

H5038

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIKZ

## Analyse en advies seiche-voorspellingen en methodiek seiche-statistiek

Rapport

december 2007

Opdrachtgever:

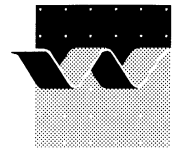
Rijkswaterstaat, RIKZ

## Analyse en advies seiche-voorspellingen en methodiek seiche-statistiek

M.P.C. de Jong, J.V.L. Beckers en J. Groeneweg

Rapport

december 2007



Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat, RIKZ				
Titel:	Analyse en advies seiche-voorspellingen en methodiek seiche-statistiek				
<b>Samenvatting:</b>					
<p>In de laatste jaren is er veel kennis op het gebied van seiches opgedaan. In recente studies van WL (2004, 2005, 2006) is een aantal aanbevelingen naar voren gekomen op het gebied van seiches-statistiek en seiches voorspelling. Daarnaast zijn er nieuwe vragen naar voren gekomen vanuit de opdrachtgever RWS-DZH. Deze hebben enerzijds betrekking op de methode waarmee de seiche-statistiek en maatgevende seiche worden bepaald. Anderzijds is er behoefte aan een verbetering van de operationele seiche-voorspelling.</p> <p>In dit rapport zijn de resultaten beschreven van een verkennende studie naar de mogelijkheden tot een verbetering van seiche-voorspelling (beter: verwachting) en maatgevende seiche-amplitude te komen. Daarbij zijn experts op het gebied van seiches en meteorologie naar hun mening gevraagd. De literatuurstudie, de inbreng van eigen kennis en het consulteren van externe experts hebben geleid tot een Plan van Aanpak om te komen tot: verbetering van seiche-verwachting en vernieuwing van de methode ter bepaling van de maatgevende seiche-amplitude.</p> <p>De meest kansrijk geachte trajecten richten zich op de fysica. Teneinde te komen tot verbeteringen van de bepaling van maatgevende seiche-amplitudes richten we ons op de begrenzingen van de aandrijvende kracht van de seiches, in het bijzonder de meteorologische verschijnselen buiten het havengebied. Ook om te komen tot een kwantitatieve methode van seiche-amplitude prognoses, binnen de operationele context van het KNMI en het HMCN, lijkt fysische modellering in combinatie met uitgebreide analyse van meteorologische aspecten het meest kansrijk. Dit houdt in dat, voor een succesvolle uitwerking van het Plan van Aanpak, een intensieve samenwerking met het KNMI noodzakelijk is.</p>					
Referenties:	offerte-aanvraag (kenmerk RIKZ/2007/05474, d.d. 27 juni 2007) offerte (kenmerk: MCI-26655/H5038/JG/pt, d.d. 6 augustus 2007) aanvulling op offerte (kenmerk MCI-26682/H5038/JG, d.d. 29 augustus 2007) opdrachtbon (bestelnummer 4500097467, d.d. 6 september 2007)				
<b>Ver</b>	<b>Auteur</b>	<b>Datum</b>	<b>Opmerk.</b>	<b>Review</b>	<b>Goedkeuring</b>
1	M.P.C. de Jong et al.	oktober 2007	voorlopig		
2	M.P.C. de Jong et al.	november 2007	concept	A.R. van Dongeren	M.R.A. van Gent
3	M.P.C. de Jong, J.V.L. Beckers, J. Groeneweg	december 2007	definitief	A.R. van Dongeren	M.R.A. van Gent
Projectnummer:	H5038				
Trefwoorden:	seiches, statistiek, voorspelling				
Aantal bladzijden:	42				
Classificatie:	Vertrouwelijk tot december 2009				
Status:	Definitief				

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Achtergrond.....	1-1
1.2	Doelstelling.....	1-2
1.3	Aanpak .....	1-3
1.3.1	Fase 1: Update meetdata .....	1-3
1.3.2	Fase 2: Plan van Aanpak voor verbetering bepaling maatgevende seiche-amplitude.....	1-3
1.3.3	Fase 3: Plan van Aanpak voor verbetering seiche- voorspellingen .....	1-3
1.3.4	Workshop .....	1-4
<b>2</b>	<b>Fase 1: Update meetdata en evaluatie seiche-verwachting.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Analyse meetdata en identificatie seiche-gevallen.....	2-1
2.1.1	Achtergrond data-analyse .....	2-1
2.1.2	Identificatie van seiche-gevallen .....	2-2
2.1.3	Overzicht seiche-gevallen .....	2-2
2.2	Seiche-verwachtingen .....	2-3
2.2.1	Achtergrond seiche-verwachtingen .....	2-3
2.2.2	Overzicht van seiche-verwachtingen april 2005 – augustus 2007 .....	2-4
2.3	Evaluatie seiche-verwachting .....	2-5
2.3.1	Achtergrond .....	2-5
2.3.2	Opgetreden / verwacht ( <i>hit</i> ) .....	2-6
2.3.3	Niet opgetreden / niet verwacht ( <i>correct rejection</i> ).....	2-7
2.3.4	Niet opgetreden / wel verwacht ( <i>false alarm</i> ).....	2-7
2.3.5	Wel opgetreden / niet verwacht ( <i>miss</i> ).....	2-7
2.3.6	Mogelijke verklaringen ‘ <i>misses</i> ’ en ‘ <i>false alarms</i> ’ .....	2-8
2.4	Vergelijking met Alkyon (2005) .....	2-8
2.5	Aanbevelingen .....	2-10
<b>3</b>	<b>Fase 2: Mogelijke verbeteringen bepaling maatgevende seiche-amplitude ....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Statistische methode.....	3-1
3.1.1	Methode Vrouwenvelder.....	3-1
3.1.2	Analyse .....	3-2
3.1.3	Uitbreiding dataset.....	3-4
3.1.4	Aanbevelingen ten aanzien van statistische methode .....	3-5
3.2	Fysische begrenzing .....	3-6
3.2.1	Begrenzing van de response.....	3-6
3.2.2	Begrenzing van de aandrijvende kracht.....	3-7

---

3.3	Conclusies .....	3-8
3.4	Plan van Aanpak .....	3-9
<b>4</b>	<b>Fase 3: Mogelijke verbeteringen seiche-voorspellingen .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Achtergrond bestaande methode seiche-verwachtingen.....	4-1
4.2	Huidig onderzoek bij KNMI.....	4-3
4.3	Plan van Aanpak .....	4-4
<b>5</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>5-1</b>
<b>Bijlagen</b>		
<b>A</b>	<b>Bespreekverslag workshop d.d. 29 oktober 2007.....</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Overzicht geïdentificeerde seiche-gevallen april 2004 – augustus 2007 .....</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Overzicht seiche-verwachtingen.....</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>Resultaten evaluatie seiche-verwachting.....</b>	<b>D-1</b>

# I Inleiding

## I.1 Achtergrond

Een seiche is een lange staande golf die ontstaat door resonantie in een geheel of halfgesloten bekken, zoals een haven. Het fenomeen seiches heeft in Nederland voor het eerst (jaren '40 – '50 van de vorige eeuw) bijzondere aandacht gekregen door de mogelijke negatieve effecten op de bediening van de zeesluizen van IJmuiden. Door een verbeterde constructie is dit probleem destijds verholpen.

In de jaren '90 kwam het onderwerp opnieuw in de belangstelling vanwege mogelijke problemen door een seiche tijdens het sluiten van de Maeslantkering (Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, SVKW). Bij het ontwerp van de kering en de sluitingsstrategie is rekening gehouden met een maatgevende seiche van 1.80 m amplitude. Deze waarde is gebaseerd op berekeningen van TNO Bouw uit 1994-95 en metingen tussen 1971 en 1983 (TNO Bouw 1994, 1995). De afgelopen jaren heeft WL | Delft Hydraulics in opdracht van RIKZ onderzoek uitgevoerd naar de extreme waarden statistiek van seiches (WL | Delft Hydraulics 2004, 2005, 2006). Hierbij is de rekenmethode zoals gebruikt bij het ontwerp van de kering, de zogenaamde 'Methode Vrouwenvelder' (TNO Bouw 1994, 1995), gereconstrueerd en zijn aanvullende metingen (t/m 2004) betrokken. Uitgaande van deze aanpak wordt met de nieuwe meetdata voor de Maeslantkering een maatgevende seiche met 2.10 m amplitude gevonden.

Voor het laatste decennium is veel nieuwe kennis op het gebied van seiches opgedaan (zie o.a. De Jong, 2004). Dit geeft aanleiding om deze methode opnieuw te bekijken. Zowel de wiskundige aanpak als een mogelijke fysische begrenzing van de seiche-amplitude geven aanleiding tot het verbeteren van de methode en resulterende extreme waarden statistiek.

Naast extreme waarden statistiek van seiches ten behoeve van de belastingcriteria voor keringen bestaat er ook een operationeel model om seiche-verwachtingen te bepalen. Zo houdt het Havenbedrijf Rotterdam rekening met seiches bij het toelatingsbeleid van diepstekende zeeschepen in relatie tot de mogelijke kans op bodemberoering. Ook is het voorgekomen dat laaggelegen kades overliepen als gevolg van een seiche. De huidige methode van het KNMI voor het voorspellen van seiches is gebaseerd op een aantal indirecte indicatoren zoals de mate van instabiliteit in de atmosfeer boven zee en de treksnelheid van fronten. Aan de hand van deze informatie wordt een verwachting gegeven voor het mogelijk optreden van een seiche. De verwachting bestaat uit een wel of niet (ja/nee) kans op seiche-gevoelig weer voor de komende 12 uur en voor de periode 12-24 uur vooruit. Daarnaast wordt doorgegeven welk type mechanismen men verantwoordelijk acht voor het mogelijk optreden van een seiche. Daarbij worden vier typen mechanismen onderscheiden. Er wordt dus geen uitspraak gedaan over de daadwerkelijke kans (waarde tussen 0 en 1) op een seiche of over de te verwachten seiche-amplitude. Voor de operationele toepassing is vooral een kwantitatieve amplitude verwachting wenselijk. Bij het beheer van de SVKW zou dit gebruikt kunnen worden om juiste voorspancriteria op te stellen in het geval van sluiten van de kering. In dit project wordt onderzocht welke mogelijkheden er bestaan om tot een kwantitatieve seiches voorspelling te komen.

Uit bovengenoemde studies van WL | Delft Hydraulics is een aantal aanbevelingen naar voren gekomen. Daarnaast zijn er nieuwe vragen naar voren gekomen vanuit de opdrachtgever RWS-DZH. Deze hebben enerzijds betrekking op de methode waarmee de seiche-statistiek en maatgevende seiche amplitude (MSA) worden bepaald in relatie tot de geconstateerde bandbreedte rondom de MSA. Anderzijds is er behoefte aan een verbetering van de operationele seiche-voorspelling en een eventuele uitbereiding met een kwantitatieve verwachting van de seiche amplitude.

Rijkswaterstaat / RIKZ heeft WL | Delft Hydraulics middels een offerte-aanvraag (kenmerk RIKZ/2007/05474, d.d. 27 juni 2007) verzocht offerte uit te brengen ten aanzien van seiches voorspellingen en methodiek seiche-statistiek. In een bij de offerte- aanvraag gevoegd werkplan heeft RIKZ de beoogde werkzaamheden, faseringen, producten en tijdsplanning beschreven. WL | Delft Hydraulics heeft in haar offerte (kenmerk: MCI-26655/H5038/JG/pt, d.d. 6 augustus 2007) en daarbij horende aanvulling (kenmerk MCI-26682/H5038/JG, d.d. 29 augustus 2007) deze aspecten grotendeels overgenomen. In de offerte is aangeboden de werkzaamheden te verdelen over 2007 en 2008. De huidige rapportage beschrijft de werkzaamheden voor 2007. Middels een opdrachtbon (bestelnummer 4500097467, d.d. 6 september 2007) heeft RIKZ opdracht verleend.

De inhoudelijke werkzaamheden zijn verricht door dr ir M.P.C. de Jong en dr J.V.L Beckers. Dr J. Groeneweg is projectleider, terwijl de kwaliteitsborging is verzorgd door ir A.R. van Dongeren, Ph.D. Aan de kant van opdrachtgever RIKZ is drs D. Kerkhoven de projectbegeleider.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van het project is tweeledig. Ten eerste wordt een verbeterde methode beoogd voor de bepaling van de maatgevende seiche-amplitude. Ten tweede dient de huidige methode van het voorspellen van seiches te worden verbeterd. Parallel daaraan is een update uitgevoerd van de seiche-statistiek op basis van de huidige methode, waarbij gebruik gemaakt wordt van een ge-update dataset van waargenomen seiche-amplitudes (op basis van metingen bij Rozenburgse Sluis).

In 2007 is een verkennende studie uitgevoerd, inclusief interviews met experts op het gebied van seiches, naar de mogelijkheden om tot verbetering van seiche-voorspelling en seiche-amplitude bepaling te komen. Dit leidt tot de doelstelling voor 2007: schrijven van een Plan van Aanpak om tot verbeteringen van seiche-voorspelling en methode ter bepaling van maatgevende seiche-amplitudes te komen. Dit Plan van Aanpak staat in dit rapport beschreven.

In 2007 is dus geen nieuwe methode ontwikkeld voor het bepalen van de maatgevende seiche-amplitude, noch voor het voorspellen van seiches. Deze activiteiten zijn beoogd in 2008 te worden uitgevoerd en zullen worden geoffereerd na afronding van de activiteiten voor 2007 op basis van het opgeleverde Plan van Aanpak.



## **I.3 Aanpak**

Om aan de doelstelling van het project te voldoen, zijn een aantal activiteiten uitgevoerd, die zijn verdeeld over drie fasen:

- Update meetdata
- Plan van aanpak voor verbetering bepaling maatgevende seiche-amplitude
- Plan van Aanpak verbetering seiche-voorspelling

De resultaten uit Fase 1 zijn gebruikt in de twee daaropvolgende fasen.

### **I.3.1 Fase 1: Update meetdata**

De tot voor deze studie meest recente, beschikbare dataset van waargenomen seiche-amplitudes (op basis van metingen bij Rozenburgse Sluis) betreft 12.5 jaar, loopt tot 2004 en is geanalyseerd en geëvalueerd in WL (2004). De laatste drie jaar zijn ook seiches gemeten. Uitbreiden van de bestaande dataset tot 2007, zou deze doen vergroten met 25% in aantal seiche events. Voor het seizoen 2004-2005 heeft Alkyon (2005) een analyse en evaluatie van de events gemaakt, overigens niet geheel op analoge wijze als in WL (2004). Voor verschillen verwijzen we naar Sectie 2.4. Voor de periode november 2005 - augustus 2007 moet een dergelijke analyse nog worden uitgevoerd. Om de gehele tijdreeks op consistente wijze te analyseren en evalueren is de tijdreeks vanaf januari 2004 beschouwd, dus inclusief het deel dat reeds in Alkyon (2005) is beschouwd. De analyse en evaluatie van de ge-update meetdata zijn beschreven in Hoofdstuk 2.

### **I.3.2 Fase 2: Plan van Aanpak voor verbetering bepaling maatgevende seiche-amplitude**

In deze fase zijn de mogelijkheden verkend om tot een verbeterde methode te komen voor de bepaling van maatgevende seiche-amplitudes. Hiertoe is een beperkte bureaustudie uitgevoerd en zijn in een interviewsessie experts om hun mening worden gevraagd. De uitkomsten en ideeën zijn gevat in een Plan van Aanpak en staan beschreven in Hoofdstuk 3.

In de bureaustudie zijn een drietal aspecten beschouwd:

1. De huidige methode voor bepaling van seiche-statistiek ('Methode Vrouwenvelder');
2. Het effect van uitbreiding van de dataset (uit Fase 1). Hierbij zijn de events uit 2007 buiten beschouwing gelaten, omdat de data van de scheve opzet, benodigd in de huidige methode voor het afleiden van de seiche-statistiek, slechts beschikbaar was tot en met 2006;
3. Fysische begrenzing van de seiche-amplitude en aandrijvende kracht.

### **I.3.3 Fase 3: Plan van Aanpak voor verbetering seiche-voorspellingen**

In deze fase zijn de mogelijkheden verkend om tot een verbeterde methode voor seiche-voorspellingen te komen. Om de mogelijkheid van een kwantitatieve seiche-voorspelling (beter is: verwachting) te leveren zal worden samengewerkt met KNMI. Daarbij zal o.a.



gekeken worden naar correlaties tussen meteo-parameters en seiches. Dit staat beschreven in Hoofdstuk 4.

### **1.3.4 Workshop**

De resultaten van de bureaustudies uit Fase 1-3 zijn samengevoegd in een voorlopige versie van dit rapport (d.d. 17 oktober 2007). Deze voorlopige versie heeft als input gediend voor een workshop waarin de mogelijke en onmogelijke paden voor verder onderzoek zijn geïdentificeerd. De workshop vond plaats op 29 oktober 2007 bij WL | Delft Hydraulics. Vanuit verschillende instituten waren diverse experts en belanghebbenden aanwezig:

- KNMI: Marcel van Schaik, Frank Lantsheer
- TNO: Ton Vrouwenvelder
- RWS-BD: Hans Janssen
- RWS-NZ: Marc Philippart
- RWS-WD: David Kerkhoven
- RWS-ZH: Henk de Deugd
- WL: Joost Beckers, Martijn de Jong, Jacco Groeneweg

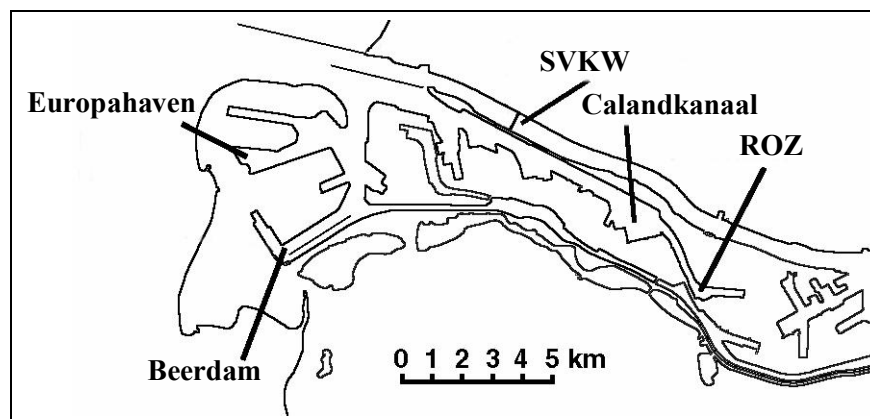
Een beknopt besprekverslag van de workshop (aangeleverd door David Kerkhoven) is bijgevoegd in Appendix A. De resultaten zijn verwerkt in voorliggend rapport.

## 2 Fase I: Update meetdata en evaluatie seiche-verwachting

### 2.1 Analyse meetdata en identificatie seiche-gevallen

#### 2.1.1 Achtergrond data-analyse

In WL | Delft Hydraulics (2004) zijn waterstandsmetingen uit het interval januari 1989 - maart 2004 geanalyseerd om seiche-gevallen, gedefinieerd als een interval met significante/toegenomen seiche-activiteit, te identificeren. Hiervoor is gebruik gemaakt van meetgegevens van meetpunt Rozenburgse Sluis (ROZ), nabij het gesloten eind van het Calandkanaal (Brittaniëhaven) in Rotterdam (zie Figuur 2.1). Inmiddels zijn er enkele aanvullende jaren aan meetdata van waterstanden beschikbaar gekomen. In de huidige studie is het interval april 2004 – augustus 2007 beschouwd voor het identificeren van seiche-gevallen (bron meetdata waterstanden: Havenbedrijf Rotterdam, HbR).



Figuur 2.1 Overzicht Europoortgebied en de locatie ROZ

De nieuwe seiche-gevallen zullen, voor het tijdsinterval waar ook gegevens voor de opzet beschikbaar zijn, worden toegevoegd aan de database voor het bepalen van de ontwerpwaarde van de seiche-amplitude voor de SVKW (zie Sectie 3.3) en zij zullen worden gebruikt voor de evaluatie van de seiche-verwachting die sinds enkele jaren, voorsnog in de vorm van een pilot-project, wordt uitgegeven door het KNMI (zie Sectie 2.3).

Ten bate van de seiche-statistiek zal voor elk seiche-geval ook de wind-geïnduceerde scheve opzet worden opgezocht (zie voor details Hoofdstuk 3). Deze scheve opzet is het verschil tussen het opgetreden hoogwater ter plaatse van Hoek van Holland en het corresponderend astronomische hoogwater (HATYAN<sup>1</sup>).

1. Het getij wordt niet voorspeld, maar bepaald aan de hand van een harmonische analyse van meerjarige tijdreeksen. HATYAN is het programma waarmee de getijanalyse wordt uitgevoerd en op basis waarvan een getijvoorspelling wordt gegenereerd.

## 2.1.2 Identificatie van seiche-gevallen

Net als in WL | Delft Hydraulics (2004) zijn in de huidige studie wavelet-analyses ingezet voor het identificeren van seiche-gevallen, opnieuw ondersteund met een visuele inspectie van de tijdreeksen en ‘expert judgement’ interpretatie. Het resultaat van een wavelet-analyse is een tijdsafhankelijk energiespectrum (wavelet-spectrum). Verscheidene voorbeelden van dergelijke spectra staan in WL | Delft Hydraulics (2004). De wavelet-spectra zijn een hulpmiddel bij het interpreteren van de meetgegevens om onderscheid te kunnen maken tussen getij-effecten, zoals aggers (niet-lineair getij-effect, die in Rotterdam zichtbaar zijn als een wiggle in de waterstand rondom het moment van laag-water), en seiche-bewegingen.

Er is sprake van een seiche-geval als er rondom een eigenperiode van het Calandkanaal een episode met verhoogde energie optreedt. De belangrijkste eigenperioden van het Calandkanaal zoals die bij ROZ gemeten worden zijn: 5400 s, 3000 s en 1250 s. Over het algemeen domineert de langste periode in de response van de haven, maar in sommige gevallen zijn ook andere eigenperioden zichtbaar. Dit is reeds geïllustreerd in WL | Delft Hydraulics (2004).

Net als in WL | Delft Hydraulics (2004) is de maximale seiche-amplitude per geval gebaseerd op gefilterde tijdreeksen voor het frequentiebereik 0.1-2.0 mHz. In navolging van de aanpak tijdens het ontwerp van de SVKW (zie Janssen, 1994, 1995) is voor de amplitude de helft van de maximale top-dalwaarde aangehouden. Aangezien voor enkele van de seiche-gevallen de maximale amplitude samen (leek) te vallen met een agger, is voor sommige gevallen ‘expert judgement’-interpretatie toegepast voor het afleiden van de daadwerkelijke maximale seiche-amplituden (resulterende in een kleinere amplitude dan direct in de gefilterde tijdreeks aanwezig was).

In WL | Delft Hydraulics (2004) is beschreven dat het identificeren van seiche-gevallen in sommige gevallen geen triviale zaak is, aangezien het meetsignaal fluctuaties in een groot bereik aan tijdschalen laat zien. Ondanks de nuttige toepassing van wavelet-analyse blijven er twijfelgevallen bestaan, welke op basis van interpretatie en ervaring al dan niet aangeduid kunnen worden als seiche-beweging. Deze ‘twijfelgevallen’ hebben altijd een relatief kleine amplitude (< 10-15 cm). Het feit dat in het gefilterde signaal doorgaans sprake is van een ‘achtergrondruis’ van ca. 5-10 cm amplitude, mede als gevolg van aggers, geeft aan dat het niet triviaal is om (zeer kleine) seiche-gevallen te isoleren/identificeren. Daarentegen zijn deze gevallen met kleine amplitude voor de voorspelling van seiches naar verwachting niet significant.

Op basis van de wavelet-spectra, samen met interpretatie van de tijdreeksen, is uiteindelijk een zo compleet mogelijk overzicht van opgetreden seiche-gevallen afgeleid.

## 2.1.3 Overzicht seiche-gevallen

### Compleet overzicht van seiche-gevallen

In de meetdata van april 2004 – augustus 2007 zijn in totaal 57 (ruwe) seiche-gevallen geïdentificeerd. Een overzicht van deze gevallen is opgenomen in Appendix B. De kleinste amplituden zijn ca. 10 cm, het hoogste geval is ruim 1 m (het hoogste geval in de gehele

dataset, vanaf 1989). In tegenstelling tot de seiche-statistiek, waarvoor een uitgedunde selectie aan seiche-gevallen zal worden toegepast (zie onder: “dataselectie voor seiche-statistiek”), zullen voor de evaluatie van de seiche-verwachting alle gevallen binnen het te analyseren tijdsinterval worden beschouwd. Op die manier wordt de betrouwbaarheid van de seiche-verwachting bepaald, zonder in deze fase van de analyse daarbij een minimale seiche-amplitude voor praktisch relevante gevallen te hanteren.

Voor 2004 en 2005 waren ten tijde van deze studie gecontroleerde waarden van de scheve opzet beschikbaar. Voor elk seiche-geval in dat tijdsinterval is de maximale scheve opzet gedurende het geval opgezocht. Deze wind-geïnduceerde opzetten variëren van -25 cm tot 116 cm.

## **Dataselectie voor seiche-statistiek**

Voor het bepalen van de seiche-statistiek voor de SVKW is in Janssen (1994, 1995) gebruik gemaakt van een ondergrens voor de wind-geïnduceerde opzet van 30 cm, om op die manier alleen significante opzetsituaties te beschouwen. Om onafhankelijke situaties te beschouwen zijn destijds bovendien gevallen die binnen 48 uur (duur van tijdvak is historisch bepaald) van elkaar vielen als één geval aangenomen, waarbij de maximale waarden van seiche-amplitude en van de opzet van de samengevoegde gevallen werden geselecteerd. Deze aanpak is in recente studies om reden van consistentie ook aangehouden (WL | Delft Hydraulics, 2005, 2006 en referenties daarin). Ook in de huidige studie is deze aanpak gehanteerd, zodat de nieuwe data toegevoegd kunnen worden aan de bestaande dataset (startend in 1989, toegepast in WL | Delft Hydraulics, 2006).

De resulterende selectie van nieuwe seiche-gevallen voor de seiche-statistiek (17 gevallen) is opgenomen als het tweede deel van Appendix B. Van deze 17 gevallen in ca. 1.5 jaar hebben 10 gevallen een amplitude boven 25 cm, hetgeen globaal overeenkomt met het in eerdere studies (bijvoorbeeld WL | Delft Hydraulics, 2004) bepaalde gemiddelde van ca. 7-8 van dergelijke seiche-gevallen per jaar.

## **2.2 Seiche-verwachtingen**

### **2.2.1 Achtergrond seiche-verwachtingen**

Het KNMI geeft sinds enkele jaren een verwachting uit van weersituaties die kunnen leiden tot seiches in o.a. de haven van Rotterdam. De seiches zelf worden dus niet voorspeld, maar de door het KNMI uitgegeven verwachting beschrijft alleen weersituaties die (naar verwachting) ‘gunstig’ (geschikt) zijn voor de opwekking van seiches. In het vervolg van dit rapport zal daarom worden gesproken over verwachting van (meteorologische) ‘*seiche-situaties*’. De verwachting van het KNMI wordt doorgezonden naar het Hydro Meteo Centrum, dat de archivering en verspreiding van de verwachting van seiche-situaties naar de gebruiker verzorgd via internet en het Landelijk Meetnet Water (LMW).

De verwachting die door het KNMI wordt uitgegeven is opgesplitst in vier verschillende opwekkingstypen (overgenomen van de HMCN-website, zie ook Alkyon, 2005):

- A: pre-frontale buienlijn: lijn met zware buien en windstoten uit richtingen tussen zuid en zuidwest voorafgaand aan koufront
- B: actief koufront uit westelijke richtingen met zware buien en windstoten en met markante windruiming na koufrontpassage
- C: regelmatig patroon van convectiecellen met lichte buien (ondiepe convectie) in noordwestelijke stroming achter koufront
- D: post-frontale buienlijn: lijn met zware buien en windstoten in stroming tussen zuidwest en noord achter koufront

Elke 6 uur geeft het KNMI een verwachting uit voor 12 uur en 24 uur vooruit. De verwachting wordt aan het gehele tijdsinterval toegeschreven (dus per venster van 12 uur of 24 uur). Dit is dus ongeacht de uiteindelijke timing van bijvoorbeeld een frontpassage; er wordt alleen aangegeven dat een seiche-situatie in dat tijdvenster (12 uur of 24 uur vooruit) naar verwachting zal plaatsvinden.

De verwachtingen worden door het HMCN (Hydro Meteo Centrum Noordzee) opgeslagen in acht 'kanalen' in de WTZ-database, dat wil zeggen acht tijdreeksen (vier fronttypen, elk voor 12 en 24 uur vooruit). Het tijdstempel in die tijdreeksen is het moment waarvoor de verwachting gemaakt is (de verwachting is dus in principe dus 12 uur of 24 uur daaraan voorafgaand aangemaakt). Het is van belang om hierbij op te merken dat nieuwe, geupdate verwachtingen (elke 6 uur dus) oude verwachtingen in de database overschrijven. Als bijvoorbeeld de 12-uursverwachting zes uur later opnieuw wordt gemaakt, dan wordt die over (het tweede deel van) de eerdere verwachting geschreven. Enerzijds betekent dit dat eigenlijk een 6-uursverwachting is opgeslagen, hetgeen mogelijk een te optimistisch beeld van de kwaliteit van de verwachting van seiche-situaties op basis van (in theorie) 12-uursverwachtingen kan geven. Anderzijds is voor de toepassing naar verwachting een 6-uursvenster ruim voldoende om de verwachting van seiche-situaties in te kunnen zetten. Desondanks wordt voor de zuiverheid van evalueren van de kwaliteit van de verwachting van seiche-situaties geadviseerd om de opslag van die verwachting te veranderen zodat oorspronkelijke/eerdere verwachtingen niet worden overschreven (mogelijk door het definiëren van aanvullende kanalen of door verwachtingen individueel op te slaan). Op die manier kan bijvoorbeeld beter worden nagegaan of tussen achtereenvolgende updates een verwachting is bijgesteld (ammenderen van verwachting).

### **2.2.2 Overzicht van seiche-verwachtingen april 2005 – augustus 2007**

Voor de huidige studie waren verwachtingen van seiche-situaties van april 2005 t/m augustus 2007 beschikbaar. In dit interval zijn in totaal 66 seiche-situaties verwacht (een overzicht is opgenomen in Appendix C). Per verwachte seiche-situatie wordt één of meerdere van de eerder genoemde front/opwekkingstypen aangegeven (op basis van een interpretatie van beschikbare gegevens door de dienstdoende KNMI meteoroloog), waarbij verschillende typen elkaar soms opvolgen, soms samenvallen. Per geval zijn deze typen opgenomen in Appendix C. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de relatieve frequentie van de verschillende opwekkingstypen in de seiche-verwachtingen. Aangezien per event meerdere typen voorspeld kunnen worden, tellen de rijen niet noodzakelijkerwijs op tot 100%.

opwekkingstype voorspelvenster	A	B	C	D
12 uur	8%	27%	42%	26%
24 uur	0%	39%	36%	18%

Tabel 2.1 Verdeling van opwekkingstypen van verwachte seiche-gevallen (april 2005 – augustus 2007)

Een aantal observaties kan gemaakt worden naar aanleiding van het overzicht van de verwachting van seiche-situaties:

- Appendix C en Tabel 2.1 geven duidelijk aan dat typen B en C het meest worden verwacht. Daarnaast blijkt dat er een duidelijk verschil bestaat tussen de 24-uurs- en de 12-uursverwachting. In sommige gevallen wordt op basis van een 24-uursvenster een seiche-situatie verwacht, terwijl dat in het 12-uursvenster niet het geval was. In veel situaties is er dan uiteindelijk ook geen seiche opgetreden (in ieder geval niet afleidbaar uit de metingen).
- In enkele situaties wordt gedurende een relatief kort interval een seiche-situatie verwacht. Dit treedt op als na 6 uur een verwachting is herzien en de oorspronkelijke 12-uurs verwachting in de database wordt overschreden door "geen verwachting". Over het algemeen treedt er in die situaties uiteindelijk geen seiche op (uiteraard is dit alleen achteraf te constateren).
- In veel gevallen wordt in de 24-uursverwachting een langer interval voor een seiche-geval aangegeven dan in de 12-uursverwachting. Dit is een logisch gevolg van de gehanteerde aanpak waarbij het gehele verwachtingsvenster een bepaalde verwachting wordt toegeschreven.
- Opmerkelijk veel seiche-verwachtingen worden in en rondom de zomermaanden uitgegeven (mei t/m augustus). Bijvoorbeeld acht van de totaal 25 verwachtingen (32%) in geheel 2006 (enige volledige kalenderjaar waarvoor op dit moment de seiche-verwachtingen beschikbaar zijn). Over het algemeen treden in de zomermaanden juist relatief weinig (tot geen) seiche-gevallen op, of seiches met relatief kleine amplituden (< ca. 10 cm). Uit ervaring en voorgaande studies is bekend dat (de hogere) seiches juist met name tijdens de wintermaanden (in het stormseizoen) optreden. In de zomermaanden worden zeer waarschijnlijk geen praktisch relevante seiches verwacht.

## 2.3 Evaluatie seiche-verwachting

### 2.3.1 Achtergrond

De geïdentificeerde seiche-gevallen, beschreven in Sectie 2.1, worden in deze sectie gecombineerd met de verwachting van seiche-situaties, beschreven in Sectie 2.2, om zo een evaluatie van de voorspellende waarde van die verwachting te kunnen maken. Hierbij zullen juiste en onjuiste verwachtingen worden geïdentificeerd.

Juiste en onjuiste verwachtingen kunnen op meerdere manieren ontstaan. Figuur 2.2 geeft dit in een schema weer. In totaal zijn vier combinaties mogelijk van wel/niet optreden en wel/niet verwacht: twee juiste, ‘*hit*’ en ‘*correct rejection*’, en twee onjuiste, ‘*false alarm*’ en ‘*miss*’. Hierbij zijn juiste verwachtingen net zo belangrijk als onjuiste verwachtingen. Uiteraard zijn gemiste gevallen van direct belang voor de toepassing van de verwachting van seiche-situaties, maar ook verwachte situaties die niet resulteren in een seiche-geval zijn onwenselijk, aangezien op termijn de gebruikers van de verwachting van seiche-situaties dan het vertrouwen in de verstrekte informatie kwijtraken. Daarom worden in het resterende deel van deze sectie alle mogelijke combinaties afzonderlijk beschouwd.

<b>opgetreden / verwacht</b> <b>(hit)</b>	<b>niet opgetreden / verwacht</b> <b>(false alarm)</b>
<b>opgetreden / niet verwacht</b> <b>(miss)</b>	<b>niet opgetreden / niet verwacht</b> <b>(correct rejection)</b>

Figuur 2.2 Schema mogelijke combinaties juiste en onjuiste verwachtingen.

### 2.3.2 Opgetreden / verwacht (hit)

Als de 12-uurs en 24-uursverwachting gecombineerd worden, dan wordt van alle seiche-gevallen 53% door de verwachting aangekondigd. Deze score ligt dicht bij de score van 50% die gevonden is in een eerste evaluatie van de verwachting (zie Alkyon, 2005, en Sectie 2.4). Voor relatief hoge seiche-gevallen (amplitude  $\geq 25$  cm) wordt 100% verwacht, waarbij vermeld moet worden dat in één geval alleen de 24-uursverwachting een seiche-situatie aangaf, te weten 9 april 2005. De reden hiervoor is vooralsnog onbekend en deze situatie zou in een vervolgstudie mogelijk een goed startpunt zijn om de verwachting nader te evalueren. Opgemerkt dient te worden dat het hier om een situatie met een beperkte seiche-amplitude van 26 cm gaat.

Over het algemeen start de verwachting van een seiche-situatie voordat een seiche-geval opgetreden is (ca. 80% van de seiche-gevallen, zie Appendix D). Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat nu met een interval van 6 uur een seiche-verwachting wordt uitgegeven en dat de gehele verwachtingsintervallen één status meekrijgen (‘ja’, of ‘nee’: 0 of 1). Daarnaast is het bepalen van de starttijd van de seiche-situaties uit de metingen (ook met behulp van wavelet-spectra) niet eenduidig; door de grote tijdschalen van het fenomeen betekent een halve golfperiode verschuiving in de schatting al snel orde een uur verschil in de geschatte starttijd.

Gezien de karakteristieken van de bestaande verwachting is een meer gedetailleerde evaluatie voor wat betreft tijdigheid van de verwachting op dit moment niet te maken. Aangezien er nu met stappen van 6 uur een verwachting wordt aangegeven zal er uiteraard een bepaalde discrepantie (kunnen) bestaan tussen de verwachting en het uiteindelijke aanvangsmoment van het seiche-geval. Misschien is het mogelijk om op termijn de verwachting aan te passen om zo een meer specifiek tijdstip voor de aanvang van een seiche-situatie aan te geven. Uiteraard moet de fysica van de relevante fenomenen daar zich wel voor lenen (is bijvoorbeeld het tijdstip van het ontstaan van een buienlijn of het tijdstip van passage van een koufront goed te voorzien?).



### 2.3.3 Niet opgetreden / niet verwacht (*correct rejection*)

Seiche-gevallen treden in Rotterdam episodisch (en sporadisch) op. Uiteraard is, voor wat betreft seiches, het grootste deel van de tijd sprake van een relatief rustige situatie. Dit komt ook tot uitdrukking in de verwachtingen van de seiche-situaties, waarin gedurende het overgrote deel van de tijd (> 90%) geen seiche-situatie wordt verwacht. Voor veel weerscondities zal het betrekkelijk eenvoudig zijn om aan te geven dat er geen seiches verwacht worden. Hierbij valt te denken aan dagen zonder passage van buienlijnen, fronten of troggen over de zuidelijke Noordzee.

### 2.3.4 Niet opgetreden / wel verwacht (*false alarm*)

Uit het overzicht van verwachtingen van seiche-situaties in Appendix C (meest rechter kolom) blijkt dat in 74% van de verwachte seiche-situaties uiteindelijk geen seiche-geval optreedt. (Hierbij valt op dat veel van deze *false alarms* optreden in de zomermaanden.) Dit percentage lijkt bijzonder hoog. Aan de andere kant kan het ook zo zijn dat er uiteindelijk wel seiches zijn opgetreden, maar dat deze niet in de wavelet-spectra te identificeren waren (of bij twijfel niet als seiche-geval zijn aangeduid). Mocht er sprake zijn van dergelijke, niet-geïdentificeerde seiche-gevallen dan zullen die dus naar verwachting zeer beperkte amplituden hebben (< 5-10 cm). Verwacht wordt dat dergelijke gevallen niet significant voor de toepassing van de seiche-verwachting zullen zijn, mede omdat deze twijfelgevallen over het algemeen met een bijzonder lage wind-geïnduceerde opzet (soms zelf negatief) samenvallen.

Voor de toepassing zal het dus naar verwachting vooral van belang zijn de hogere seiche-gevallen (amplitude > 25 cm) op te nemen in de verwachting voor seiche-situaties. Probleem daarbij op dit moment is dat er nog geen kwantitatieve voorspelling beschikbaar is. Indien dat op termijn wel zo zal zijn, dan zou een waarschuwing pas uit kunnen gaan als er een weersituatie verwacht wordt waarbij een *significant* seiche-geval op kan treden, boven een minimale amplitude (bijvoorbeeld 20 cm). Tot die tijd zal een groot deel van de verwachte seiche-situaties, zeker vanuit een praktisch oogpunt, resulteren in een *false alarm*.

### 2.3.5 Wel opgetreden / niet verwacht (*miss*)

Als de ruwe verzameling van geïdentificeerde seiche-gevallen wordt beschouwd, dan wordt 47% van die situaties niet voorzien. Als een ondergrens van de seiche-amplitude wordt aangehouden van 25 cm (zoals in verscheidene eerdere studies) dan worden alle gevallen verwacht. De niet-verwachte seiche-gevallen hebben alle dus een relatief kleine amplitude en een aantal van die gevallen valt onder de noemer 'twijfelgeval'.

Gezien de over het algemeen kleine amplituden van deze *misses* zal dit naar verwachting voor de toepassing van de seiche-verwachting minder van belang zijn. Desalniettemin, zoals in Sectie 2.3.1 al werd vermeld, is het van belang om voor het vertrouwen in de verwachting zowel *false alarms* als *misses* zoveel mogelijk te vermijden. Een soortgelijk filter als genoemd in Sectie 2.3.4, met een minimum seiche-amplitude voordat een positieve verwachting wordt uitgedaan, zou deze verkeerde verwachtingen kunnen voorkomen.

### 2.3.6 Mogelijke verklaringen 'misses' en 'false alarms'

Er kunnen een aantal mogelijke redenen worden aangedragen waarom *misses* en *false alarms* optreden. Hierbij valt te denken aan:

- nog niet beschouwde parameters;

Mogelijk dat bepaalde factoren die van belang zijn voor de verwachting van seiche-situaties nog niet (volledig/op de juiste manier) kunnen worden meegenomen. Het verder ontwikkelen/complementeren van de verwachting van seiche-situaties voor het kwantificeren van de verwachting (seiche-amplitudes) zou mogelijk tegelijkertijd ook dit aspect kunnen verhelpen.

- zeer kleine seiche-amplituden;

Zoals in Sectie 2.3.4 al werd vermeld is het mogelijk dat zeer kleine seiche-gevallen niet gedetecteerd zijn, waardoor een op zich correcte seiche-verwachting beschouwd wordt als een *false alarm*. Een belangrijk punt hierbij is dat een (correcte) verwachting van een (bijna niet te detecteren) seiche-geval van 5 cm waarschijnlijk geen praktisch en operationeel nut heeft. Met andere woorden, zolang er geen kwantitatieve seiche-verwachting is, zal een *false alarm* net zo bezwaarlijk zijn als een correcte verwachting van een seiche-geval van 5 cm (zolang daar nog geen kwantificering van de amplitude vooraf voor gegeven kan worden). In beide gevallen zal namelijk door de gebruiker rekening worden gehouden met een seiche met significante amplitude, en in beide gevallen treedt er uiteindelijk geen (*significant*) seiche op.

## 2.4 Vergelijking met Alkyon (2005)

Alkyon heeft in 2005 een eerste evaluatie gemaakt van de verwachting van seiche-situaties door het KNMI (Alkyon, 2005). In die studie is het interval februari 2005 – oktober 2005 beschouwd. Het in de huidige studie beschouwde tijdsinterval omvat ook dat interval. Om de consistentie van de evaluatie uit 2005 en de huidige evaluatie te beschouwen is er een vergelijking van de huidige lijst met geïdentificeerde seiche-gevallen met die uit Alkyon (2005) gemaakt.

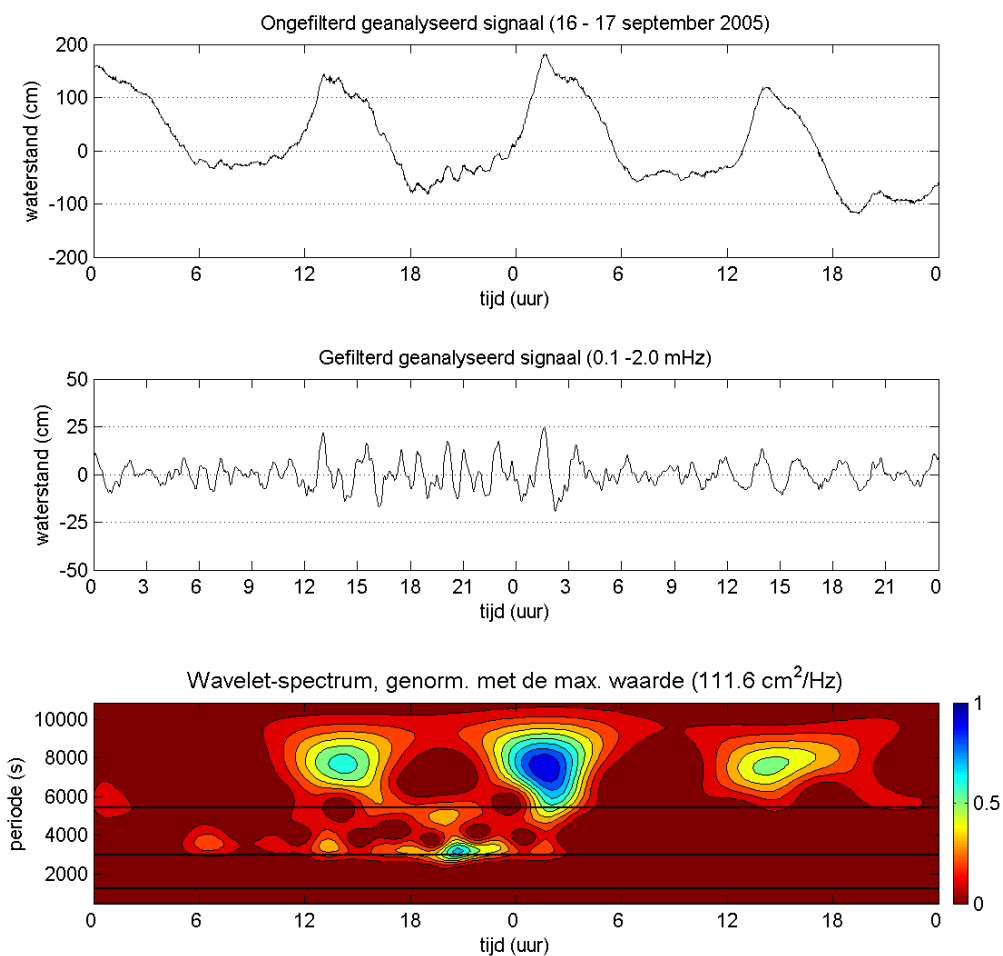
De hoogste seiche-gevallen (> 20 cm amplitude) zijn, zoals te verwachten is met uitgesproken gevallen, in beide studies geïdentificeerd<sup>2</sup>. Dit geeft aan dat vanuit praktisch oogpunt significante/relevante gevallen eenduidig uit de data zijn afgeleid in beide studies, ondanks dat daarvoor andere (filter) methoden zijn toegepast. In tegenstelling tot de huidige analyse heeft Alkyon (2005) geen wavelet analyse toegepast.

De lijst van Alkyon laat ook enkele zomergevallen zien met relatief kleine amplituden<sup>3</sup> (< 10 cm). Deze *twijfelgevallen* zijn geen onderdeel van de lijst met geïdentificeerd seiche-gevallen in de huidige studie, aangezien de maximale amplituden van deze relatief kortdurende gevallen samenvielen met het moment van hoog- of laagwater en daardoor

- 
2. Voor de eerste drie gevallen genoemd in Alkyon (2005) heeft men zich naar verwachting twee dagen verteld in de kalenderdatum t.o.v. het dagnummer (datum twee dagen te laat t.o.v. het, naar verwachting correcte, dagnummer).
  3. Te weten: 16 mei (verwachting uitgegeven op 17 mei), 3 en 4 juli en 15 augustus 2005.

eerder toegeschreven worden aan agger-gerelateerde getij-effecten dan aan seiches (uiteraard is dit een discussiepunt en blijft het afwegen van dit soort twijfelgevallen een kwestie van, deels subjectieve, interpretatie).

Omgekeerd is er één seiche-geval dat in de huidige studie wel is opgenomen dat in de studie van Alkyon niet is opgenomen: 16-17 september 2005 (14 cm amplitude). Voor dit geval is een positieve verwachting uitgegeven. De wavelet-analyse van dit seiche-geval is weergegeven in Figuur 2.3. Het bovenste paneel laat de ongefilterde tijdreeks zien; het middelste paneel de gefilterde tijdreeks (0.1-2.0 mHz); het onderste paneel laat het wavelet-spectrum zien (de horizontale zwarte lijnen geven de eigenperioden van het Calandkanaal weer zoals vermeld in Sectie 2.1.2).



Figuur 2.3 wavelet-spectrum seiche-geval 16-17 september 2005.

Aangezien het seiche-geval een relatief kleine amplitude heeft zijn de getij-invloeden in het beschouwde frequentiebereik goed zichtbaar in Figuur 2.3 (rondom een tijdschaal van ca. 8000 s met intervallen van 12 uur). Daarnaast is rondom de eigenperiode van 5400 s en met name 3000 s het seiche-geval zichtbaar (van 16-09-05, ca. 05:00 uur tot 17-09-05, ca. 04:00 uur).

De bovenstaande vergelijking van geïdentificeerde seiche-gevallen in twee afzonderlijke studies laat zien dat de hoogste seiche-gevallen in beide studies zijn geïdentificeerd. Met

name deze gevallen zullen naar verwachting van belang zijn voor de praktische toepassing. De grootste verschillen treden op voor 'twijfelgevallen' met relatief kleine amplituden (typisch in de order van 10 cm). Zoals eerder vermeld in Sectie 2.3, zou met een kwantitatieve seiche-verwachting, met een drempelwaarde<sup>4</sup> voor de seiche-amplitude, deze onzekerheden/inconsistenties kunnen worden vermeden; in dat geval zou pas boven een bepaalde minimum seiche-amplitude een positieve verwachting uitgegeven worden voor een weersituatie waarbij een *significant* seiche-geval zou kunnen optreden.

## 2.5 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de evaluatie van de seiche-verwachting kunnen een aantal praktische aanbevelingen gemaakt worden, die mogelijk met beperkte inspanning en op korte termijn doorgevoerd kunnen worden.

De eerste aanbeveling, zoals reeds in Sectie 2.2.1 werd genoemd, is het voorkomen dat databases worden overschreven. Indien extra kanalen worden gereserveerd voor een 6-uurs verwachtingsvenster, dan zijn de afzonderlijke verwachtingsintervallen zuiver te beoordelen. Hierdoor wordt tevens duidelijk hoe vaak een verwachting tussentijds wordt aangepast / "geamendeerd"

Momenteel wordt elke 6 uur een verwachting afgegeven voor 0- 12 uur en 12- 24 uur vooruit, waardoor altijd een bepaalde discrepantie zal bestaan tussen de verwachting en het uiteindelijke aanvangsmoment van het seiche-geval. Misschien is het mogelijk om op termijn de verwachting aan te passen om zo een meer specifiek tijdstip voor de aanvang van een seiche-situatie aan te geven. Hierbij zal de nauwkeurigheid waarmee het optreden van relevante meteorologische fenomenen verwacht kan worden een bepalende factor zijn: korte intervallen hebben alleen praktisch nut als ook daadwerkelijk met die nauwkeurigheid de timing van een fenomeen beschreven kan worden in meteorologische modellen. Mogelijk dat elke 6 uur een verwachting uitgegeven op basis van intervallen van 3 uur, voor een totaal voorspelvenster van bijvoorbeeld 24 uur (zoals op dit moment al het geval is), een realistische keuze kan zijn. Bij het uitwerken van de in dit rapport beschreven Plan van Aanpak zouden dergelijke keuzes beschouwd dienen te worden.

De relatief hoge opgetreden seiche-gevallen (amplitude  $\geq 25$  cm) werden ook allemaal verwacht, waarbij vermeld moet worden dat in één geval alleen de 24-uursverwachting een seiche-situatie aangaf. De reden hiervoor is vooralsnog onbekend en deze situatie zou in een vervolgstudie mogelijk een goed startpunt zijn om de verwachting nader te evalueren.

Een (correcte) verwachting van een (bijna niet te detecteren) seiche-geval van 5 cm heeft waarschijnlijk geen praktisch nut heeft. Daarom wordt aanbevolen om in overleg met de gebruikers de drempelwaarde te kwantificeren en hiermee vervolgens de populatie uit te dunnen

---

4. Er zou een praktische drempelwaarde met de gebruikers van de seiche-verwachting afgesproken kunnen worden. Dit kan een harde, algemeen geldende ondergrens zijn (0,20 m - 0,30 m).

## 3 Fase 2: Mogelijke verbeteringen bepaling maatgevende seiche-amplitude

### 3.1 Statistische methode

De huidige aanpak ('methode Vrouwenvelder') voor het bepalen van de maatgevende seiche amplitude (MSA) voor de SVKW wordt in dit hoofdstuk beschouwd om na te gaan of er verbeteringen mogelijk zijn. De MSA is de seiche amplitude met een overschrijdingsfrequentie van  $10^{-7}$  per jaar, bepaald op basis van de maximale faalkans van de kering en een overall risico-analyse. Hieronder volgt eerst een beknopte beschrijving van de methode en de aannames die daarbij gemaakt worden. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de methode wordt verwezen naar WL (2005) en referenties daarin. Daarna wordt de methode geëvalueerd en worden enkele conclusies getrokken ten aanzien van mogelijke verbeteringen.

#### 3.1.1 Methode Vrouwenvelder

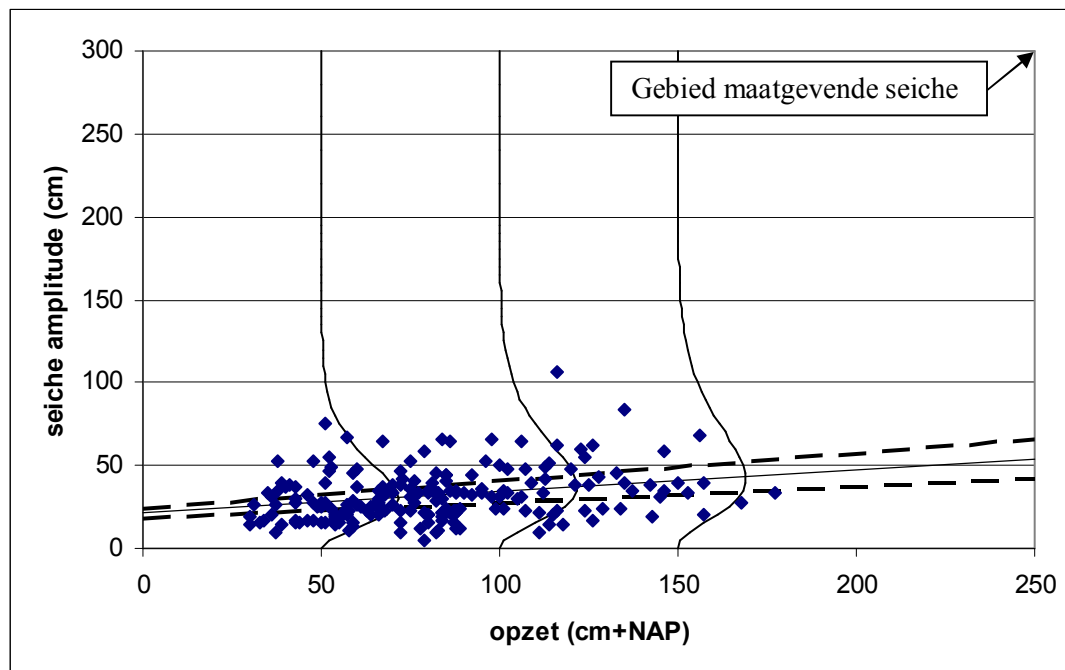
De huidige methode voor het bepalen van seiche-statistiek en de daarvan afgeleide maatgevende seiche amplitude (MSA) gaat uit van een correlatie tussen de maximale seiche-amplitude en de grootte van de scheve opzet bij de Maasmond tijdens het optreden van de seiche. Dit uitgangspunt is op basis van de destijds beschikbare kennis en inzichten aangehouden om twee redenen:

- De waarnemingen geven aan dat seiches meestal optreden tijdens stormen, waarbij ook een hoge opzet wordt waargenomen.
- Ten behoeve van de faalkansberekening en sluitingsstrategie van de SVKW is men met name geïnteresseerd in het optreden van seiches tijdens een extreem hoge opzet, namelijk wanneer de kering gesloten wordt. Als er een verband is tussen opzet en seiche-amplitude, dan is dit zeer van belang voor de maatgevende seiche voor de kering. De seiches statistiek tijdens normale omstandigheden is voor dit doel minder relevant.

Vervolgens wordt aangenomen dat de spreiding van seiche-amplituden bij een bepaalde opzet gegeven wordt door een twee-parameter Gamma-verdeling. De parameters worden zo gekozen dat het gemiddelde van de Gamma-verdeling overeen komt met de lineaire regressie. De spreiding van de Gamma-verdeling wordt bepaald op basis van de waargenomen spreiding van seiche-amplituden. Vervolgens wordt de relatieve spreiding (ten opzichte van de gemiddelde amplitude) constant verondersteld zodat de spreiding toeneemt bij grote opzetten (zie ook Figuur 3.1).

De lineaire regressie en de Gamma-verdelingen leveren een twee-dimensionale kansdichtheidsfunctie van de seiche-amplituden. De kansverdeling van seiches bij opzetten boven het toetspeil wordt bepaald door middel van Riemann integratie van de kansdichtheid in dit gebied, waarbij rekening wordt gehouden met de met onzekerheden in de regressiecoëfficiënten. Uit deze kansverdeling volgt vervolgens de MSA bij een gegeven overschrijdingsfrequentie. De amplitude bij ROZ wordt vervolgens vertaald naar een

amplitude bij de SVKW met behulp van een factor 0.64 (Janssen, 1994, verificatie beschreven op p.33/34 van De Jong, 2004).



Figuur 3.1 Gemeten seiche-amplituden (ROZ) en opzetten (1972-2005). Lineaire regressie met onzekerheden (1 std) en een schets van de Gamma verdelingen van seiche-amplituden bij gegeven opzet. De maatgevende seiche voor de SVKW (210 cm) correspondeert met een seiche rond de 300 cm bij ROZ.

### 3.1.2 Analyse

De lineaire regressie tussen opzet en seiche-amplitude levert inderdaad een positief en statistisch significant verband op (zie Tabel 3.1). De waarde van de correlatiecoëfficiënt  $R$  is weliswaar klein, hetgeen een zwakke correlatie aangeeft, maar als de waarde van de correlatiecoëfficiënt  $R$  groter is dan een kritische waarde  $R_{\text{kritisch}}$  dan berust de gevonden correlatie tussen opzet en seiche-amplitude niet op toeval en is er dus een (statistisch) verband. De waarde van  $R_{\text{kritisch}}$  is afhankelijk van het aantal metingen en het gewenste betrouwbaarheidsniveau en wordt veelal opgezocht in statistische handboeken (Triola, 1989). De nieuwe series metingen (1989-2004/2005), alsmede de oude en nieuwe data samen (1971-2005) leveren significante correlaties op. Alleen de oude data (1971-1983) laten geen significant verband zien tussen opzet en seiche-amplitude, waarschijnlijk als gevolg van het kleine aantal metingen en de diversiteit van databronnen (o.a. gedigitaliseerde pen-plots). De aanname dat er een positief verband bestaat tussen opzet en seiche-amplitude houdt dus stand vanuit een statistisch perspectief. Verder is het, gezien de zwakke correlatie, niet mogelijk om een andere verband dan een lineaire correlatie meer aannemelijk te achten. Het gekozen lineaire verband is derhalve de best mogelijke aanname.

	N	R	R <sub>kritisch</sub>
data 1971-1983	64	0.01	0.21
data 1989-2004	110	0.39	0.16
data 1971-2004	174	0.22	0.12
data 1971-2005	191	0.26	0.12
data 1989-2005	126	0.42	0.15

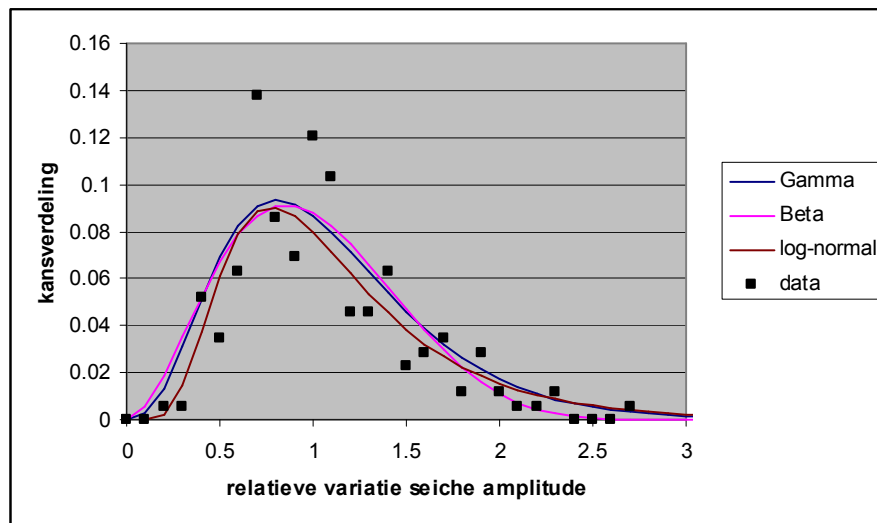
Tabel 3.1 Coëfficiënten (R) voor de correlatie tussen opzet en seiche-amplitude voor de verschillende datasets en de gecombineerde set. Seiche gevallen van 2006-2007 konden nog niet in deze analyse worden meegenomen omdat ten tijde van deze studie hier geen opzetwaarden beschikbaar waren. NB In deze analyse zijn zgn. dummywaarden buiten beschouwing gelaten.

Een groter probleem vormt de extrapolatie naar extreem hoge opzetten. Uit Figuur 3.1 blijkt dat het sluitpeil (opzet ca. 2.5 m) en de maatgevende seiche-amplitude voor de SVKW (2 m bij de kering is ongeveer 3 m bij ROZ) ver buiten het bereik van de reeks waarnemingen vallen. De maatgevende seiche wordt bepaald door de kansdichtheid in het gebied met opzetten groter dan 2.5 m en seiche-amplituden groter dan 3 m (het gebied rechtsboven de rechterbovenhoek in Figuur 3.1). Een seiche amplitude van 2 m bij de SVKW correspondeert immers met een seiche van 3 m bij ROZ. Deze kansdichtheid wordt in feite bepaald door de staart van de Gamma verdelingen in het extreme bereik. Maar omdat hier geen metingen beschikbaar zijn is de onzekerheid zeer groot.

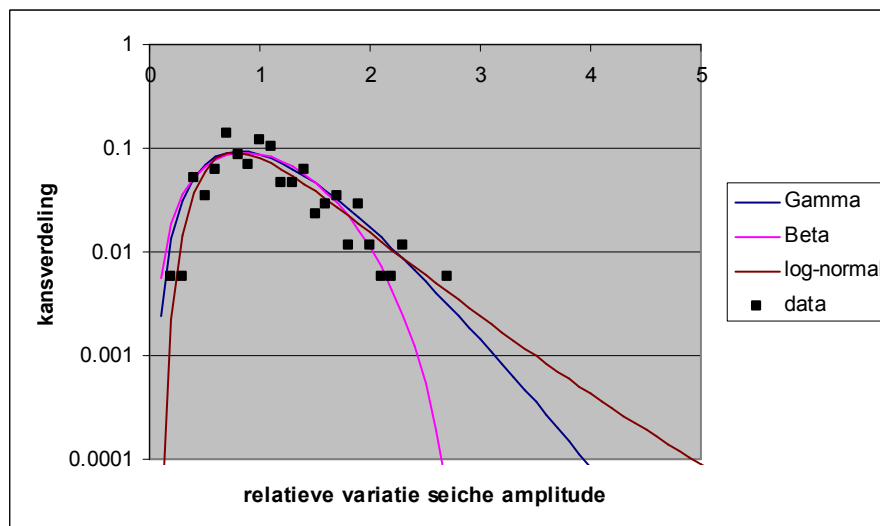
Om dit te illustreren zijn in Figuur 3.2 en Figuur 3.3 drie verschillende functies gefit aan de spreiding van seiche-amplituden rond de verwachtingswaarde. Naast de Gamma-verdeling zijn ook een Beta-verdeling en een log-normale verdeling gebruikt. In Figuur 3.2 lijken alle verdelingsfuncties de dataset redelijk goed te beschrijven. Echter, in de logaritmische Figuur 3.3 is duidelijk dat de staarten van de drie functies grote verschillen vertonen. De maatgevende seiche-amplitude, die afhangt van de kansdichtheid in de staart van deze verdeling, komt daardoor zeer verschillend uit. Een inschatting op basis van de kansverdelingen in Figuur 3.3 geeft aan dat er verschillen van rond de 30% in de maatgevende seiche-amplitude kunnen ontstaan als gevolg van het gebruik van een andere kansverdeling<sup>5</sup>. Merk op dat deze gevoeligheid een schatting betreft, geen nauwkeurig berekende waarde.

5. NB De maatgevende frequentie van  $10^{-7}$  correspondeert met ongeveer  $10^{-4}$  in deze grafiek.





Figuur 3.2 Kansverdeling van de seiche-amplitude rond de verwachtingswaarde met drie gefitte kansverdelingsfuncties. NB Deze analyse is slechts ter indicatie van de gevoeligheid.



Figuur 3.3 Idem als Figuur 3.2, nu op logaritmische schaal. Ter indicatie van de gevoeligheid van de waarde van de seiche amplitude bij kleine kansen.

### 3.1.3 Uitbreiding dataset

Het effect van uitbreiding van de dataset is nader bekeken. Er zijn de laatste twee jaar 17 nieuwe seiche-events gemeten bij een opzet van 30 cm of meer. Een bijzonder sterke seiche met een amplitude van 106 cm werd gemeten op 16 december 2005. Toevoegen van deze metingen aan de totale meetreeks heeft tot gevolg dat de correlatiecoëfficiënt van de lineaire regressie toeneemt (zie Tabel 3.1). De helling van de regressielijn neemt ook toe, vooral als gevolg van de genoemde seiche van december 2005. Hierdoor neemt de waarde van de maatgevende seiche toe met enkele decimeters ten opzichte van de 2.10 m zoals

gerapporteerd in (WL, 2006). We zien dat een enkele extreem geval de waarde van de maatgevende seiche-amplitude sterk kan beïnvloeden.

De dataset kan ook worden uitgebreid met de oude meetdata (1971-1983). Op dit moment is gekozen om deze data, die van mindere kwaliteit is, niet te gebruiken voor de statistiek (WL, 2006). Ook werd in deze periode geen statistisch verband gevonden tussen opzet en seiche-amplitude. Toevoegen van deze data levert een kleinere maatgevende seiche op ten opzichte van de 2.10 m zoals gerapporteerd in (WL, 2006).

Onderstaande tabel geeft aan welke waarde de maatgevende seiche zou hebben, uitgaande van de metingen uit verschillende periodes. Deze waarden zijn berekend volgens de methode zoals beschreven in (WL, 2006). Deze tabel geeft aan hoe groot de gevoeligheid van het resultaat van de berekening is voor statistische toevalligheden.

Periode	Omschrijving	MSA (m)
1971-1983	Metingen gebruikt tijdens het ontwerp van de SVKW	1.80
1989-2004	Nieuwe berekeningen (WL,2006)	2.10
1989-2007	Uitbreiding dataset met metingen 2005-2007	2.37
1989-2007*	Dataset waaruit de extreme seiche van 106 cm is verwijderd	2.17
1971-2007	Uitbreiding dataset met metingen 1971-1983	1.80

Tabel 3.2 Variatie van de maatgevende seiche amplitude (MSA) als gevolg van wijzigingen in de gebruikte dataset. NB Deze berekeningen zijn uitsluitend bedoeld om aan te geven hoe groot de gevoeligheid van de MSA is voor variaties in de meetdata.

De dataset uit 1971-1983 is opgenomen in Tabel 3.2 om de gevoeligheid van de waarde van de maatgevende seiche-amplitude (MSA) aan te geven. Zij wordt verder buiten beschouwing gelaten (zie WL, 2006). Op basis van de aanbevelingen in (WL, 2006) zou op dit moment de waarde van 2.37 m de beste schatting van de maatgevende seiche zijn. Echter, een berekening na het volgende stormseizoen met nieuwe seiche gevallen zal wederom een andere waarde opleveren. De natuurlijke variatie in het optreden van seiches veroorzaakt telkens een ander resultaat van de lineaire regressie. Door de grote onzekerheid van de extrapolatie naar extreme waarden wordt deze variatie sterk uitvergroot. Uit Tabel 3.2 blijkt dat het verwijderen van een enkel seiche geval met een grote amplitude van 106 cm een verschil van 20 cm in de MSA oplevert. Alleen door veel meer metingen mee te nemen zou deze gevoeligheid verkleind kunnen worden. Helaas zal dat de komende decennia nog niet mogelijk zijn.

### 3.1.4 Aanbevelingen ten aanzien van statistische methode

De maatgevende seiche bevindt zich in een gebied dat zo ver van de metingen verwijderd is dat puur statistische methoden niet toereikend zijn om een nauwkeurige waarde te produceren. De waarde van de maatgevende seiche hangt sterk af van het lineaire verband tussen opzet en seiche-amplitude en van de keuze van de kansverdelingsfunctie. De huidige Gamma-functie is, gegeven de dataset, geen slechte keuze, maar alternatieven laten zien dat de maatgevende seiche hiervan te sterk afhankelijk is. De grootste gemeten seiche is veel kleiner dan de maatgevende seiche waardoor het niet mogelijk is om te bepalen welke kansverdelingsfunctie de beste beschrijving geeft van het extreme bereik. De extrapolatie naar de maatgevende seiche wordt hierdoor zeer onzeker.

Door middel van een probabilistische aanpak, zoals in de ‘methode Vrouwenvelder’, wordt deze onzekerheid weliswaar verdisconteerd, maar het resultaat blijft een beste schatting gegeven de zeer onzekere omstandigheden. Ook een Bayesiaanse aanpak, waarbij meerdere kansverdelingsfuncties tegelijk worden meegewogen zal naar verwachting geen grote verbetering opleveren. Door de beperkte dataset blijft er een grote onzekerheid bestaan over de kans van voorkomen van extreme seiche-amplituden. Het resultaat van een dergelijke aanpak zal hierdoor naar verwachting rond dezelfde waarde liggen als de huidige maatgevende seiche.

De huidige waarde van rond de 2 m is de beste schatting die met statistische methoden en de beschikbare meetdata te bereiken is. Voor een structurele verbetering van de nauwkeurigheid zal een andere benadering, zoals fysische modellering, gebruikt moeten worden. In Sectie 3.2 wordt hier verder op ingegaan.

## 3.2 Fysische begrenzing

De huidige methode om de maatgevende seiche-amplitude voor de SVKW te bepalen is een puur statistische benadering. Er is geen rekening gehouden met een mogelijke fysische begrenzing van de seiche-amplitude, bijvoorbeeld door het onderlopen van kades. Ook de aandrijvende kracht van de seiche kan een fysische limiet hebben. Hieronder worden beide vormen van fysische begrenzing besproken. Vervolgens zullen aanbevelingen gedaan worden om in een vervolgstudie deze grenzen vast te stellen.

### 3.2.1 Begrenzing van de response

De sterkste seiche die tot nu toe werd waargenomen is gemeten op 16 december 2005. De maximale amplitude was 106 cm bij ROZ. Het is niet bekend in hoeverre een seiche met een nog grotere amplitude in de Rotterdamse haven fysisch mogelijk is, maar het zou zeer toevallig zijn dat in de korte meetperiode precies één keer het fysisch maximum is opgetreden. De statistische methode gaat uit van geen enkele beperking.

De amplitude van een seiche kan bijvoorbeeld beperkt worden door de hoogte van de kades rond het bekken waarin zij ontstaat. De kades en dijken in het Europoortgebied zijn niet extreem hoog. De Europoortkering is zelfs niet ontworpen als een doorlopende dijk, maar omvat stukken hoger gelegen gebied die officieel als waterkering worden aangemerkt. In tegenstelling tot de meeste andere keringen hoeft de Europoortkering geen volledig kerende dijk te zijn. Er mag een bepaalde hoeveelheid water overheen stromen ([www.keringhuis.nl](http://www.keringhuis.nl)).

Bij zeer hoge seiches en hoge waterstanden zullen een aantal kades in het havengebied onderlopen waardoor de seiche gedempt wordt. Het effect is te vergelijken met een schommel die boven een bepaalde uitslag afgeremd wordt. De grootste uitslagen worden hierdoor afgezwakt. In de huidige aanpak is de invloed van dit soort fysische effecten die optreden bij extreme seiche-amplituden niet expliciet meegenomen<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> De keuze van de Gamma verdeling is overigens wel deels gebaseerd op enige demping van de meest extreme amplituden (zie TNO Bouw, 1994).

In WL (1991, 1994) is reeds melding gemaakt van de dempende werking van het onderlopen van kades. Deze demping wordt vooral veroorzaakt door de verstrooiing van de golfenergie over een brede frequentieband en het verschuiven van de fase door het vertraagd terugbezorgen van watermassa aan het kanaal. Met behulp van numerieke simulaties (PHAROS en TRISULA) is onderzocht hoe groot deze dempende werking kan zijn. Reducties van de amplificatiefactor<sup>7</sup> met een factor 2 tot 3 werden berekend voor de locatie ROZ. Dat zou betekenen dat de seiche-amplitude een factor 2 tot 3 kleiner is dan wanneer er geen demping optreedt.

Echter, voor de SVKW is met name de seiche maatgevend die optreedt op het moment dat de kering net gesloten is. De waterstand heeft dan nog niet zijn hoogste waarde bereikt, want de kering sluit ruim daarvoor. Vanwege deze relatief lage waterstand zullen seiches met een maatgevende amplitude op dat moment nog geen kades doen overstromen. Bovendien bevinden de laagste kades (hoogte 4.5 m+NAP) zich niet langs de Nieuwe Waterweg, maar diep in het havengebied. De dempende werking van eventueel onderlopen van kades zal daarom naar verwachting geen invloed hebben op de hoogte van de maatgevende seiche voor de SVKW.

### 3.2.2 Begrenzing van de aandrijvende kracht

De meest extreme opzetten en waterstanden in de meetreeks vallen niet samen met de grootste seiches. Op 14 februari 1989 werd bij Hoek van Holland een opzet van 177 cm gemeten (de waterstand was 279 cm+NAP). De amplitude van de seiche die toen werd opgewekt was slechts 33 cm. Op 3 januari 1976 werd een nog hogere waterstand van 298 cm+NAP gemeten (de opzet was 168 cm). Ook toen werd een relatief kleine seiche met een amplitude van 28 cm waargenomen.

Hoewel we op basis van twee voorbeelden geen conclusies kunnen trekken, geeft dit wel aan dat een hoge opzet niet noodzakelijkerwijs samenvalt met een sterke seiche. Resultaten in De Jong (2004) gaven aan dat onder extreme omstandigheden wellicht geen seiches of slechts seiches met een beperkte amplitude zullen optreden. De cellenpatronen en buienfronten die tijdens een normale storm voor een resonantie in het havenbekken zorgen worden bij extreme stormen uiteen geblazen of anderszins vervormd zodat zij minder effectief zijn in het opwekken van seiches.

Op basis van de berekende amplificatiefactoren (WL, 1991) zou een periodiek signaal van 50 tot 70 cm op zee nodig zijn om een seiche-amplitude van orde 2 m bij SVKW te genereren. Een niet-periodiek signaal (een enkele puls) zal nog groter moeten zijn. In het Parapludocument (1999, pagina 24) wordt een schatting gemaakt van de benodigde sterkte van buistoten voor een seiche van 2 m bij de SVKW. Deze schattingen kwamen uit op een benodigde fluctuatie in de waterstand van 130 cm. Het verdient aanbeveling om na te gaan of de bekende opwekkingsmechanismen van seiches een dergelijke kracht kunnen hebben.

Uitgangspunt voor deze analyse zou kunnen zijn de indeling van weertypes die seiches kunnen veroorzaken in vier klassen (A, B, C, D). Van deze vier is type A wellicht al snel uit

<sup>7</sup>. De amplificatiefactor is gedefinieerd als de helft van de amplitude van de seiche ten opzichte van de aandrijvende golf buiten de haven.

te sluiten: de pre-frontale buienlijn is een fenomeen dat voor zover bekend alleen in de zomer optreedt. Bovendien zal een zuid-zuidwestelijke stroming geen extreme opzet bij Hoek van Holland veroorzaken. Als dit bevestigd kan worden is het uit te sluiten dat een type A seiche optreedt tijdens een sluiting van de SVKW.

Type C betreft een regelmatig patroon van convectiecellen. De wind- en drukfluctuaties in de voorbijtrekkende cellen is daarbij de aandrijvende kracht van de seiche. In een opgetreden geval werd bij windfluctuaties van  $\pm 2$  m/s een seiche-amplitude van 40 cm bij ROZ waargenomen. Voor een seiche-amplitude van 200 cm bij de SVKW zouden aanzienlijk grotere fluctuaties nodig zijn. De vraag kan gesteld worden of convectiecellen met dergelijke circulatie mogelijk zijn. Daarnaast is het zo dat bij zeer zware stormen doorgaans veel windschering optreedt. Door deze verticale gradiënt in de windsnelheid zouden cellenpatronen mogelijk uiteen geblazen worden. Ook deze hypothese behoeft nadere onderbouwing.

De overige typen, B en D, betreffen koufront situaties, waarbij de drukval, windruiming en windstoten de krachten vormen die seiches kunnen opwekken. Nagegaan zou moeten worden hoe groot deze krachten moeten zijn om een waterstandsfluctuatie van 130 cm buiten de haven te veroorzaken en of dit fysisch mogelijk is.

### 3.3 Conclusies

De statistische methoden die tot nu toe gebruikt zijn voor het bepalen van de maatgevende seiche kunnen op dit moment niet structureel verbeterd worden. De beschikbare set van metingen is te beperkt om een hoge nauwkeurigheid in het extreme bereik van de maatgevende seiche te bereiken. De maatgevende omstandigheden liggen ver buiten het bereik van de beschikbare metingen waardoor een zeer onzekere extrapolatie moet worden uitgevoerd.

Als gevolg hiervan is de waarde van de maatgevende seiche-amplitude zeer gevoelig voor een uitbreiding van de set van metingen. Uitbreiding van de dataset met de metingen van de afgelopen twee jaar leidt tot een verhoging van de MSA. Aanpassing van de maatgevende seiche-amplitude voor de SVKW wordt op dit moment echter niet zinvol geacht, aangezien een volgende berekening in 2008 wederom een nieuwe waarde zal opleveren. Wij adviseren om uit te gaan van een MSA van rond de 2.1 m. De enige daadwerkelijke verbetering van deze waarde is te bereiken door meer fysica in de methode te betrekken. Om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheid of onmogelijkheid van het optreden van extreem hoge seiches wordt daarom aanbevolen om een fysische benadering te kiezen.

De mogelijk dempende werking van onderlopen van kades zal naar verwachting geen invloed hebben op de hoogte van de maatgevende seiche voor de SVKW. Wel is er mogelijk een begrenzing aan te geven van de aandrijvende kracht van de seiches: de meteorologische verschijnselen buiten het havengebied. Aanbevolen wordt om na te gaan of en welke beperkingen gelden voor de opwekking van de lange golven op zee en deze te vertalen naar beperkingen in de resulterende seiche-amplitude bij de SVKW. De fysische grenzen van meteorologische fenomenen op zee die seiches opwekken zouden gekwantificeerd moeten worden. Voor elk type seiche zou nagegaan kunnen worden of de opwekkende krachten groot genoeg kunnen zijn om de maatgevende seiche voor de SVKW te veroorzaken.

### 3.4 Plan van Aanpak

Teneinde te komen tot verbeteringen van de bepaling van maatgevende seiche-amplitudes richten we ons op de begrenzings van de aandrijvende kracht van de seiches, in het bijzonder de meteorologische verschijnselen buiten het havengebied.

Daarbij kunnen de volgende vragen gesteld worden:

- Kunnen de krachten van de genoemde weersystemen groot genoeg worden om een maatgevende seiche te veroorzaken?
- Zo nee: kan er een fysische grens worden aangegeven aan de aandrijvende krachten?
- Hoe groot is de maximale seiche die opgewekt kan worden door deze krachten?

De fysische begrenzing dient met de nodige terughoudendheid en conservatisme te worden aangegeven. Immers, als deze begrenzing wordt geaccepteerd zal hieruit direct de maatgevende seiche voor de SVKW volgen. Bovendien gaan we bij deze analyse noodgedwongen uit van de bekende opwekkingsmechanismen. We kunnen op voorhand niet uitsluiten dat onder extreme omstandigheden andere mechanismen een rol kunnen spelen.

In Sectie 3.2 is de aanbeveling genoemd om na te gaan welke fluctuaties in de waterstand de bekende opwekkingsmechanismen buiten de haven kunnen opwekken:

- Type A betreft een pre-frontale buienlijn en zuidwestelijke stroming. Dit is voor zover bekend een fenomeen dat alleen in de zomer optreedt. Bovendien zal een zuid-zuidwestelijke stroming geen extreme opzet bij Hoek van Holland veroorzaken. Type A kan daarom worden uitgesloten als aandrijvende kracht van de maatgevende seiche voor de SVKW.
- Type C betreft een regelmatig patroon van convectiecellen. Onderzocht zou moeten worden of convectiecellen kunnen optreden die leiden tot een periodieke fluctuatie van 50 - 70 cm buiten het havengebied. Mogelijk zijn de (noordwestelijke) stormen die extreme opzetten veroorzaken dermate zwaar dat de sterke verticale gradiënt in de windsnelheid de cellenpatronen uiteen blazen. Bovendien moet de frequentie van de fluctuaties buiten de haven overeenkomen met een eigenfrequentie van het havenbekken. De treksnelheid en de grootte van de convectiecellen moeten daarvoor een bepaalde verhouding hebben. Ook hier kunnen fysische beperkingen gelden.
- De typen B en D betreffen koufront situaties, waarbij de drukval, windruiming en buistoten de krachten vormen een seiche kunnen opwekken. Omdat de aandrijvende krachten van deze opwekkingsmechanismen niet bestaan uit een oscillatie, maar uit een enkele puls zal deze fluctuatie zeer sterk moeten zijn. In het Parapludocument (1999) wordt een buistoot bij een windveld van 45 m/s nodig geacht om een waterstandsfluctuatie van 130 cm buiten de haven te veroorzaken (leidend tot een seiche van 2 m bij de SVKW). Er is echter nog niet onderzocht of dergelijke meteorologische fenomenen realistisch zijn.

Bij deze analyse zouden ook metingen (wind, druk en waterstanden) gebruikt kunnen worden om na te gaan of er een verband is tussen de seiche-amplitude en het type opwekkingsmechanisme.

We stellen de volgende werkpakketten voor:

### **Werkpakket 1**

*Doel:* Onderzoeken welke fysische grenzen te stellen zijn aan de meteorologische krachten die seiches opwekken. In eerste instantie zal dit een kwalitatieve inventarisatie betreffen op basis van gesprekken met deskundigen en analyse van een aantal seiche gevallen met de bijbehorende meteorologische omstandigheden (met name wind en drukvelden).

*Uitvoerende instantie:* Samenwerking KNMI - Deltares

*Activiteiten:*

- Interviews met meteorologen en hydrologen (KNMI en Deltares)
- Analyse van een aantal historische, karakteristieke gevallen.
- Kwalitatief aangeven waar de begrenzing door gevormd kan worden en hoe deze gekwantificeerd zou kunnen worden.

*Tijdpad:* Deze activiteit kan in de eerste helft van 2008 worden uitgevoerd.

### **Werkpakket 2**

*Doel:* Omzetten van de kwalitatieve begrenzing naar een kwantitatieve. Dit moet zorgvuldig gebeuren op basis van een groot aantal extreme weersituaties.

*Uitvoerende instantie:* Samenwerking KNMI- Deltares

*Activiteiten:*

- Analyse van een groot aantal metingen (hydrologie en meteorologie). Hierbij kan goed gebruik gemaakt worden van de onderzoeksset die in werkpakket 1 van Fase 3 wordt voorgesteld.
- Modelling van opgeschaalde weersituaties (HIRLAM).
- Kwantificeren van de grenzen aan aandrijvende krachten (meteorologie).
- Vertalen van deze begrenzing naar een begrenzing van de seiche-amplitude. Dit zal moeten gebeuren met behulp van fysische modellering van de response (TRISULA/Delft3D).
- Terugkoppeling van resultaten met deskundigen, draagvlak creëren.

*Tijdpad:* Uitvoering zal tenminste 6 maanden vergen, waarschijnlijk langer. Aangeraden wordt om een gedetailleerde planning te maken na uitvoering van werkpakket 1.



## 4 Fase 3: Mogelijke verbeteringen seiche-voorspellingen

### 4.1 Achtergrond bestaande methode seiche-verwachtingen

Uit Sectie 2 is gebleken dat het voorspellen van seiches, of beter gezegd het afgeven van verwachtingen voor seiche-gevoelig weer, moeilijk is. Het is van belang om betrouwbare seiche-verwachtingen te verkrijgen, zodat belanghebbenden tijdig ingelicht kunnen worden. Daarbij valt te denken aan (citaat website HMCN):

Tijdig ontruimen van havengebieden bij optreden van seiches.

- Eenvoudiger sluitmechanisme Measlantkering en daarmee kleinere faalkans bij sluiting.
- Beter inzicht in ontstaan, vóórkomen en grootte van seiches en daarmee beter ontwerp havens (Maasvlakte II) en waterkeringen.
- Minder kans op schade bij nautische activiteiten zoals kritische doorvaart bruggen en sluizen, en kans op bodemberoering.
- Voorkomen onnodig sluiten Oosterscheldekering door afkeur verstoorde waterstandsmeting bij optredende seiches.
- Bij een gekwantificeerde seichesverwachting kan een toeslag op de waterstandsverwachting gegeven worden.

Seiches worden veroorzaakt door kenmerkende meteorologische omstandigheden. De volgende twee (hoofd)opwekkingsmechanismen van seiches kunnen worden onderscheiden.

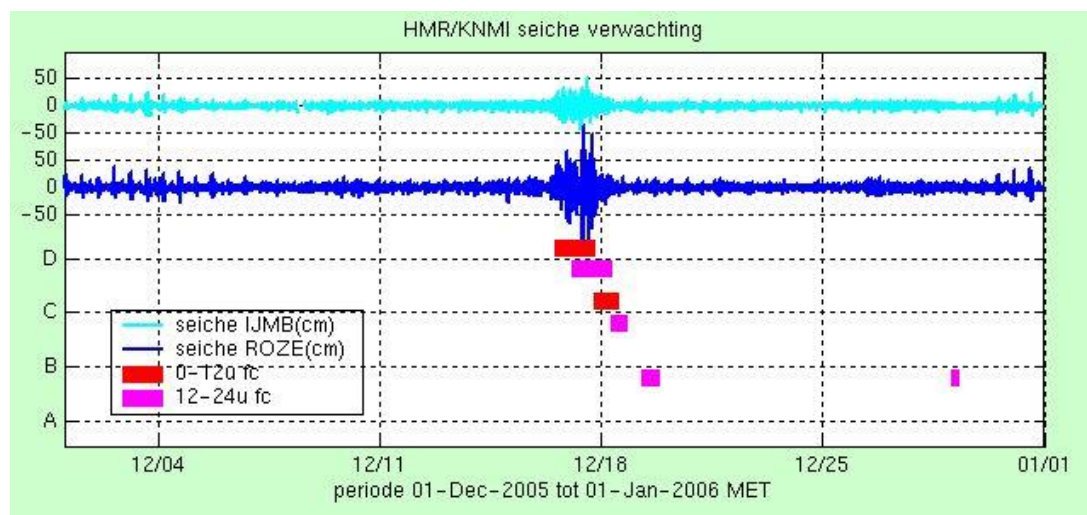
Het eerste type hoofdmechanisme treedt op in de Nederlandse havenbekkens bij een noordwestelijke luchtstromingen waarin door ondiepe convectie een cellenpatroon ontstaat. Bij bepaalde advectionnelheden leidt het passeren van convectiecellen tot een fluctuatie van de windrichting die past bij een eigenfrequentie van (delen van) het havenbekken. De hoogte van de seiche wordt bepaald door de sterkte (amplitude) van de fluctuaties in de windsnelheid (bij tijdschalen in de seiche-frequentieband) en de gemiddelde windsnelheid, of eigenlijk de treksnelheid van het weersysteem. Bij treksnelheden die liggen rondom de fasesnelheid van ondiepwatergolven in de zuidelijke Noordzee treedt er op de Noordzee al een vorm van resonantie op (zogenaamde 'Proudman resonance') en worden relatief hoge amplituden van de lange golven op zee opgewekt. Als de frequentie van deze lange golven bij aankomst bij de havenmond overeenkomt met een eigenfrequentie van het havenbekken treedt er resonantie op, met een seiche als gevolg. Daarentegen, bij zeer hoge gemiddelde windsnelheden treden er mogelijk geen (significante) seiches op, doordat convectiecellen deformerend en het gelijkmatige patroon van structuur verandert (vorming van parallelle buienstraten) of zelfs verdwijnt. De door convectiecellen opgewekte seiches worden ook wel seiches van het type C genoemd.

Het tweede type hoofdmechanisme treedt op bij een plotselinge windtoename bij de passage van een buienlijn of koufront. Deze windtoename kan als een enkele impuls worden gezien waarin (theoretisch gesproken) alle frequenties voorkomen. In dergelijke situaties wordt een bekken een keer uit evenwicht gebracht ('aangeslagen'), waarna die beweging uitdempt. Bij een dergelijke pulsresponsie is er een verband tussen de zwaarte van de windstoot en de

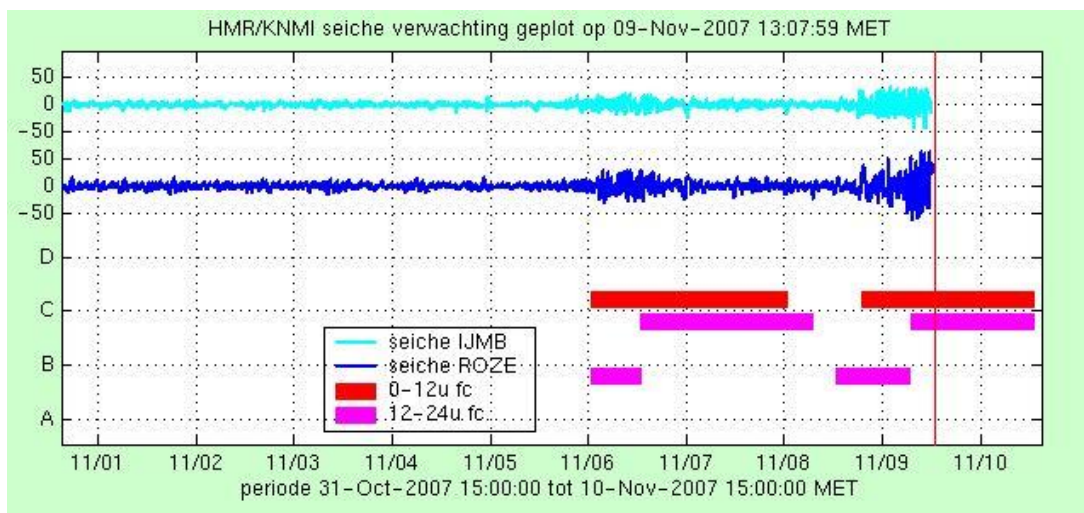
amplitude van de seiche, maar ook hier speelt de treksnelheid van het systeem een grote rol. Ook voor dit type is de effectiviteit van de opwekking afhankelijk van de treksnelheid, soortgelijk als voor type C. Bij dit type wordt verder onderscheid gemaakt in post- en pre-frontale buienlijnen. Zoals reeds in Sectie 2.2.1 is genoemd, zijn de volgende drie aanvullende klassen gedefinieerd:

- A: pre-frontale buienlijn: lijn met zware buien en windstoten uit richtingen tussen zuid en zuidwest voorafgaand aan koufront
- B: actief koufront uit westelijke richtingen met zware buien en windstoten en met markante windruiming na koufrontpassage
- D: post-frontale buienlijn: lijn met zware buien en windstoten in stroming tussen zuidwest en noord achter koufront

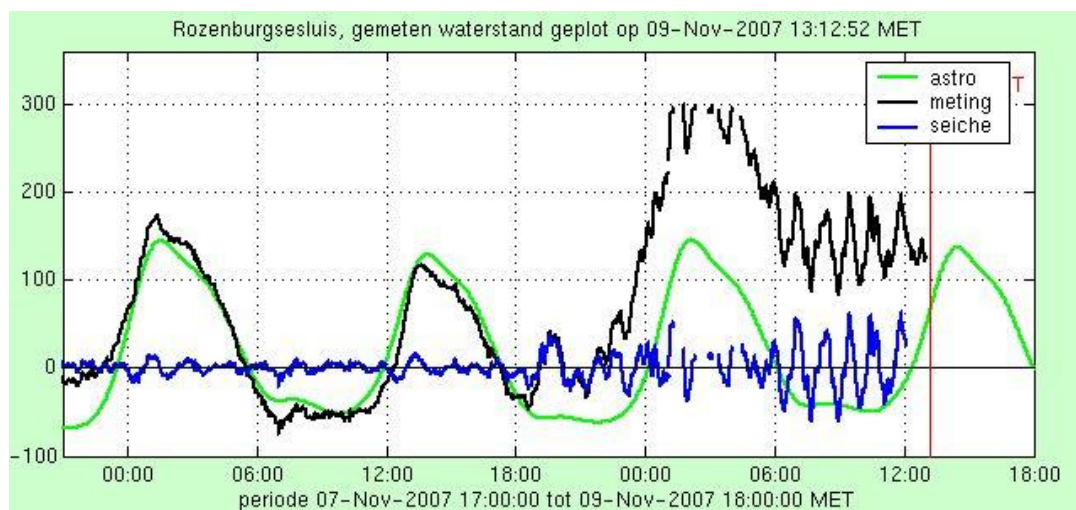
Het KNMI doet geen voorspellingen van seiches maar brengt verwachtingen uit van weerscondities/weersituaties die kunnen leiden tot seiches ('seiche-gunstig' weer). Aan twee tijdvakken 0-12 uur en 12-24 uur wordt hetzij een 0, hetzij een 1 toegekend (zie resultaat in Figuur 4.1). De waarde 0 betekent dat er geen seiche-gunstig weer wordt verwacht, de waarde 1 als die weersituaties wel worden verwacht (en er dus kans bestaat op het optreden van een seiche). Aan deze waarden wordt ook een type toegekend (A, B, C of D).



Figuur 4.1 Tijdsreeksen van seiches bij Rozenburg en IJmuiden, gekoppeld aan seiche- verwachting in 12-uurs en 24-uurs venster voor december 2005.



Figuur 4.2 Tijdsreeën van seiches bij Rozenburg en IJmuiden, gekoppeld aan seiche- verwachting in 12-uurs en 24-uurs venster voor november 2007.



Figuur 4.3 Gemeten waterstand en berekende seiche bij Rozenburgsesluis op 9 november 2007.

## 4.2 Huidig onderzoek bij KNMI

De verwachtingen van het KNMI zijn zuiver kwalitatief. Op basis van gekozen weerpatronen wordt ingeschat of er een kans is dat een seiche kan optreden. Dat proces leidt niet tot een kwantitatieve verwachting in termen van seiche-amplitudes. In Sectie 4.1 zijn een aantal redenen genoemd waarom het wenselijk is een kwantitatieve verwachting af te geven.

Bij het opstellen van de verwachting wordt momenteel al een aantal vuistregels gehanteerd voor advectie, windruiming, treksnelheid, convectie en stabiliteit bij het opstellen van een seichesverwachting. Dit heeft geleid tot de eerder genoemde seiche-trigger typen A-D.

De KNMI-meteoroloog in de weerkamer geeft bij het uitgeven van de kans op seiches ook aan om welk triggermechanisme het gaat. De 4 onderscheiden triggermechanismes zijn meteorologisch duidelijk onderscheiden, maar in de praktijk geldt vooral het type C als meest herkenbaar. Ook in termen van objectieve benadering is type C het meest praktisch te benaderen en verder te verfijnen (door bijvoorbeeld ook te kijken naar parameters die van belang zijn voor het fysische opwekkingsmechanisme, zoals treksnelheid, windschering, grootte en sterkte van de convectiecellen). Voor de kering is type C vanwege de bijbehorende hoge opzet wellicht het belangrijkste.

In de onlangs gehouden workshop heeft het KNMI (via Frank Lantsheer en Marcel van Schaik) aangegeven dat het opstellen van de seichesprognose niet valt in het primaire aandachtsgebied van de meteorologen. Dat is immers weerbewaking. In de periferie van de weersverwachting wordt door de maritiem meteoroloog ook aandacht gegeven aan waterstanden, (zee)golven en seiches. Hoewel er dus binnen de weerkamer wel expertise aanwezig is op genoemde 'natte' onderwerpen, ligt de focus meer op de meteorologische aspecten.

Naast dit gegeven, is het KNMI bezig om het verwerkingsproces van gegevens en prognoses op te splitsen in 2 delen. Basisuitgangspunt is daarbij: zo veel mogelijk automatisch geproduceerde verwachting, zodat meer tijd overblijft voor advisering en finetuning. In het kader daarvan onderzoekt Van Schaik momenteel een aantal seiche-gevallen van het type C, waaronder ook een aantal recente, zoals 16-12-2005 (zie Figuur 4.1). Daarbij wordt onderzocht of er meteorologische parameters aan te wijzen zijn die een causaal verband hebben met het optreden van seiches. Vooralsnog is gekeken naar windsnelheid aan het aardoppervlak, gemiddelde wind in de onstabiele laag, windrichting, temperatuurverschillen tussen lucht en zeewater, windschering, onstabieleindex (Boyden) en vochtigheid aan de top van de onstabiele laag. Verwacht wordt dat dit onderzoek eind 2007 zal leiden tot een voorlopige rapportage van bevindingen en conclusies.

### **4.3 Plan van Aanpak**

Om te komen tot een kwantitatieve methode van seiche-amplitude prognoses op basis van fysica is meteorologische kennis onontbeerlijk. Het ontstaan van een seiche is immers direct gekoppeld aan bepaalde weerscondities. In verband met de benodigde kennis en expertise op het gebied van weer (synoptisch, modellen, waarnemingen) ligt het bij het onderzoek betrekken van een meteorologisch instituut als het KNMI in het verlengde hiervan.

Bij de verkenning naar de mogelijkheden van fysische modellering dient onderscheid gemaakt te worden in de eerder aangegeven typen (A-D). Voor wat betreft het type C vindt binnen het KNMI (van Schaik) momenteel een verkenning plaats. Gezien de beperkte tijd die binnen het KNMI voor dit onderzoek beschikbaar is, wordt gewerkt met een (te) smalle onderzoeksset. Onderzocht zal worden of deze set nog uit te breiden valt met nieuwere (significante) seiche gevallen, zodat beter kan worden vastgesteld of een causaal verband aanwezig is tussen meteorologische parameters en het optreden van seiches.

## Werkpakket 1

*Doel:* Onderzoeken van causaal verband tussen meteorologische parameters en het optreden van seiches met bijbehorende amplitude.

*Uitvoerende instantie:* Samenwerking KNMI - Deltares

*Activiteiten:*

- Uitbreiden van de onderzoeksset zoals momenteel door KNMI wordt gebruikt;
- Vanuit de gedefinieerde parameters volgens de beschikbare vuistregels een automatische koppeling maken met NWP-uitvoer (NWP=Numerical Weather Prediction);
- Verkennend onderzoek naar keuze van de te koppelen modelparameters. Daarbij zullen correlaties worden gezocht tussen de seiche-amplitude en andere (naar verwachting) relevante parameters, waaronder in ieder geval:
  - treksnelheid van het grootschalig weersysteem, op basis van radarbeelden, weerkaarten en meteorologische interpretatie;
  - trekrichting van het grootschalig weersysteem, op basis van radarbeelden, weerkaarten en meteorologische interpretatie;
  - trajectories buienlijnen/fronten, op basis van radarbeelden, weerkaarten en meteorologische interpretatie;
  - temperatuurverschillen (gradiënten) in de verticaal (temperatuur van lucht in verschillende lagen uit KNMI model(len) of op zeeniveau, op basis van meet- en/of modeldata);
  - windschering (verkregen uit modeldata).

Er bestaan al diverse hypothesen (en daarop gebaseerde vuistregels) over verbanden tussen seiche-amplitude en een aantal van bovenstaande parameters. Deze exercitie zal leiden tot een verificatie en kwantificatie van deze hypothesen (vuistregels).

*Tijdpad:* Deze activiteit kan in 2008 worden uitgevoerd.

Voor de andere typen (A, B, D) is nader verkennend onderzoek nodig. Daarbij is a priori geen uitspraak mogelijk over de haalbaarheid. Het zorgvuldig kiezen van de te koppelen modelparameters is daarbij aandachtspunt, maar ook het oplossend vermogen van de huidige generatie NWP modellen is een kritisch gegeven. De in ontwikkeling zijnde mesoschaalmodellen (fijner grid, meer fysische berekening i.p.v. parametrisatie) zijn mogelijk nodig om te komen tot een voldoende resultaat.

## Werkpakket 2

*Doel:* Onderzoeken van relaties tussen meteorologische parameters en amplitudes van type A, B en D seiches.

*Scope beperking:* Het is à priori onduidelijk of de doelstelling haalbaar is.

*Uitvoerende instantie:* Samenwerkingsverband KNMI - Deltares

*Activiteiten:*

- Verkenning bruikbaarheid van (operationele) weermodellen (NWP) voor het weergeven van de relevante meso-schaal verschijnselen (onweerslijnen);
- Verkenning van de toepasbaarheid en geschiktheid van de in ontwikkeling zijnde mesoschaalmodellen. De mesoschaalmodellen hebben een toegevoegde waarde ten aanzien van de operationele weermodellen aangezien mesoschaalmodellen de tijd- en ruimteschalen van de relevante fenomenen in principe kunnen beschrijven.
- Verkennend onderzoek naar keuze van de te koppelen modelparameters. Daarbij zullen correlaties worden gezocht tussen de seiche-amplitude en relevante parameters, zoals in werkpakket 1 beschreven. Het betreft hier seiches van type A, B en D.

*Tijdpad:* Deze activiteit kan in 2008 worden uitgevoerd. De beschikbaarheid van de mesoschaalmodellen vormt een risico voor het tijdpad.

Verder onderzoek om te komen tot meer detaillering van een fysische modellering heeft een scope van meerdere jaren. De uit te voeren activiteiten met bijbehorend tijdpad kunnen echter pas ingevuld worden na afronding van werkpakketten 1 en 2. Pas dan is het benodigde inzicht verkregen in de mogelijkheden en onmogelijkheden van een voorspellingen van seiches op basis van fysica. Eventueel zou na afronding van werkpakket 1 de fysische modellering zich kunnen richten op type C seiches.

## 5 Literatuur

- Alkyon (2005), *Evaluatie seiches voorspellingen 2005*, december 2005 (A1588, G.Ph. van Vledder).
- Janssen, J.P.F.M. (1994), *Gevoeligheid overdracht seiches voor spectrum op zee*, Rijkswaterstaat, SVKW-TOC-94.0015.
- Janssen, J.P.F.M. (1995), *Aanpassing seichestatistiek t.p.v. de SVKW voor open- en sluitcondities*, Rijkswaterstaat, SVKW-TOC-95.xxx.
- Jong, de, M.P.C. (2004), *Origin and prediction of seiches in Rotterdam harbour basins*. Ph.D Thesis, Fac. of Civil Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Parapludocument (1999), *Paraplu document seiches, een overzicht en verantwoording van de activiteiten van de projectgroep seiches 1995-1999*. Rijkswaterstaat document nummer A-14-0021.
- TNO Bouw (1994), *Statistisch model voor seichehoogten ten behoeve van de kering in de Nieuwe Waterweg*, 4.21.3.8581 (A.C.W.M. Vrouwenvelder), 17 p.
- Triola, M (1994), *Elementary Statistics*, 4<sup>th</sup> edition, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- WL | Delft Hydraulics (1991), *Trisula berekeningen seiches Europoort*, november 1991 (Z434, H.W.J. Kernkamp).
- WL | Delft Hydraulics (1994), *Seiches Europoort : analyse en betrouwbaarheid van seiches-berekeningen met PHAROS en TRISULA ; onderlopende kades - fase 3 : met onderlopen*, december 1994 (Z568, H.W.J. Kernkamp, A. Otta, R.E. Uittenbogaard, J.J. Veldman).
- WL | Delft Hydraulics (2004), *Statistiek seiches Rotterdam, Identificatie seiche-gevallen Rozenburgse Sluis 1989-2004*, december 2004 (H4540, M.P.C. de Jong).
- WL | Delft Hydraulics (2005), *Seiche Statistiek Rotterdam, Deel 2, Beschrijving methode voor ontwerp SVKW en toepassing van nieuwe meetgegevens*, november 2005 (H4678, M.P.C. de Jong).
- WL | Delft Hydraulics (2006), *Seiche Statistiek Rotterdam, Deel 3, Selectie dataset metingen en bepaling nieuwe ontwerpwaarde seiche-amplitude SVKW*, juli 2006 (H4678, M.P.C. de Jong).
- [www.keringhuis.nl](http://www.keringhuis.nl): Website van het Keringhuis bij de Maeslantkering, Publiekscentrum Water in Zuid-Holland.
- [www.hmc-noordzee.nl](http://www.hmc-noordzee.nl): Internetsite van het Hydro Meteo Centrum van Rijkswaterstaat Noordzee



# A Bespreekverslag workshop d.d. 29 oktober 2007

## Aanwezig:

- KNMI: Marcel van Schaik, Frank Lantsheer
- TNO: Ton Vrouwenvelder
- RWS-BD: Hans Janssen
- RWS-NZ: Marc Philippart
- RWS-WD: David Kerkhoven
- RWS-ZH: Henk de Deugd
- WL: Joost Beckers, Martijn de Jong, Jacco Groeneweg

## Besproken zaken:

- KNMI attendeert de groep, dat er bij de seicheverwachting sprake is het optreden van meteorologisch condities die van dien aard zijn, dat er een kans van voorkomen van het optreden van seiches is. Dat is iets anders dan of een seiche wel of niet zal optreden en dus dient dit genuanceerd te worden.
- Verfijning van de methodiek: Kijken naar fysische mechanisme, resolutie van weermodellen verfijnen zodat ook cellen van type C waarneembaar worden.
- Nu wordt bij de voorspelling van A->D zijdelings door de meteoroloog naar de uitvoer van weermodellen gekeken. Bij noordelijke stroming in combinatie met neerslag wordt bijvoorbeeld vrijwel altijd naar seiche type C vertaald.
- KNMI geeft aan dat seicheverwachting geen hoge prioriteit bij de meteorologen heeft en dat er vanuit KNMI vooral interesse bestaat in een geautomatiseerde verwachting voor seiches binnen de PGM. Dit is ook de opdracht die Marcel van Schaik vanuit het KNMI heeft meegekregen.
- Marc Philippart benadrukt dat de rol van HMCN niet wordt genoemd in het verslag. Deze rol is zowel voor de distributie als voor de opslag van data voor evaluatie wel essentieel. HMCN verzorgt tevens de uitgave van de "Seicheflits". Graag noemen dus.
- Discussie over tijdigheid van seichesvoorspelling: Het is moeilijk om uitspraak te doen over de tijdigheid van de seichesvoorspelling. Dit is o.a. gerelateerd aan de bepaling van het tijdstip van een frontpassages. Verfijning van deze methodiek mogelijk door: kijken naar fysische mechanisme, resolutie van weermodellen. Idee om vensters verder op te splitsen in forecast vensters van 6 uur: 0-6, 6-12, 12-18, 18-24. Dit is wel relevant voor de bepaling van tijdstip van passage van fronten, maar niet voor buienlijnen. De laatste zijn moeilijker te bepalen door het dynamische gedrag in de atmosfeer.
- Momenteel tijdigheid moeilijk te bepalen en te evalueren door overschrijven oude verwachting door de nieuwe verwachting. Informatie over tijdigheid oudere verwachting gaat verloren. Wens is om alle voorspelde events als geheel te bewaren en te evalueren vanuit de eisen van de gebruiker. Wanneer is een bepaalde seicheamplitude kritisch voor gebruiker?
- Bij elke berekening van het BOS-SVKW wordt de kans op een seiche meegenomen en worden de consequenties van negatief verval over de kering doorgerekend en gekoppeld aan het voorspanbeheer.
- Onduidelijkheid tijdzone van HbR data. Ondertussen bij HbR nagevraagd:

- Tijdzone =MET
- Moeilijkheid van huidig project zit met name in fase 2 en de daaraan gekoppelde planning. Koppeling extremen waarden statistiek en fysische waarden.
- Toename van maatgevende amplitude is direct gerelateerd aan toename van de faalkans. (2,10 Rozenburg, 1.50 bij de kering. 1.50 is kritische amplitude)
- Onderzoek doen naar de fysische bovengrenzen/beperkingen in het buitengebied welke zou kunnen zorgen voor het genereren van seiches. Er wordt als voorbeeld de luchtdruk genoemd.
- In statistiek focus leggen op die gevallen die gevaarlijk zijn, dus waar de kering zou moeten gaan of gaat sluiten.
- Onderzoek naar invloed van keuze van kansdichtheidfunctie: Gamma-verdeling destijds door Vrouwenvelder, redelijk snelle keuze geweest tijdens ontwerp van de kering. Keuze is toegelicht in stuk van TNO.
- Interpretatie van Plaatje 3.1. uit concept rapport levert discussie op. Mogelijk de toelichting bij het plaatje aanpassen en/of verder uitwerken.
- WL geeft aan dat dit een moeilijk klus is waarbij samenwerking met KNMI essentieel is. KNMI geeft aan dat zeer helder moet worden geformuleerd waarom het onderwerp seiches van belang is, omdat het vrijmaken van capaciteit anders niet mogelijk is. Er dient urgentie en belang onderkent te kunnen worden vanuit veiligheid en water.
- Input uit presentatie van Marcel van Schaik zal worden meegenomen in rapport. Marcel is nog bezig met een inhoudelijke memo, maar het is niet duidelijk of deze tijdig zal kunnen worden opgeleverd om nog in het rapport te worden meegenomen. Marcel wil nog een aantal situaties (10 stuks) nader onderzoeken. Ook een aantal recente situaties (16-12-2005) zal worden onderzocht. De presentatie geeft aan dat de meteorologen momenteel al een aantal vuistregels voor advectie, windruiming, treksnelheid, convectie en stabiliteit (onweer) hanteren bij het opstellen van verwachting. Deze zullen ook worden genoemd in hoofdstuk 4 (fase 3) van rapport.
- Er wordt een aantal opties voor verder onderzoek genoemd: relatie treksnelheid vs amplitude, trajectories buienlijnen/fronten, meso-schaal modellen, temperatuurverschillen, windschering, kwantificeren ranges gekoppeld praktische drempelwaarde.
- De wisselwerking tussen voorspelbaarheid en fysische begrenzing vraagt om een intensieve samenwerking tussen WL en KNMI.
- HMCN zal amenderingen ook gaan opslaan, zodat ook deze in de toekomst geëvalueerd kunnen worden.
- RWS-BD: Wat is de consequentie voor het beheer van SVKW als je de seicheamplitude kwantitatief gaat voorspellen? Levert dit bijvoorbeeld een vereenvoudiging van de oprijfscenarios op? Heeft dit mogelijk consequenties voor de gewenste capaciteit van de pompen? Moet er beheersmatige zaken anders ingericht worden? Consequenties bij vernieuwing van BOS?
- Het KNMI geeft aan dat er onder meteorologen ook behoefte leeft over de ontwikkelingen op het gebied van seiches. Zeker nu het kennisplatform niet meer bestaat. Er wordt afgesproken dat WL bij het rapport ook een korte algemene samenvatting (maximaal 2 A4) zal maken over de laatste inzichten, evaluaties en plannen (eventueel gecombineerd met een "Seicheflits" door HMCN). Dit om met name de kaders, bevindingen en de ontwikkelingen met een brede groep te kunnen communiceren en te laten zien dat seiches nog steeds relevant zijn.
- Invloed van de dempende werking door onderlopen van kades gaat pas een rol spelen als waterstand +opzet+seicheamplitude > 4.50 meter.

- Idee wat op 31-10-2007 genoemd werd in een gesprek met Robert Vos: probabilistisch en fysisch doorrekenen zoals bij OSK ook al gebeurd met HYDRA-K?

## B Overzicht geïdentificeerde seiche-gevallen april 2004 – augustus 2007

### Ruwe data/alle geïdentificeerde seiche-gevallen

Jaar	maand	dag	opzet (cm)	seiche- amplitude (cm)	begintijd begindatum	begintijd (uur)	einddatum	eindtijd (uur)
2004	5	15	1	19	15-05-2004	10	15-05-2004	16
2004	8	19	18	22	19-08-2004	8	19-08-2004	14
2004	9	14	25	25	14-09-2004	14	14-09-2004	20
2004	9	21	84	17	21-09-2004	18	22-09-2004	16
2004	9	23	70	17	23-09-2004	9	25-09-2004	0
2004	10	4	6	20	04-10-2004	13	04-10-2004	21
2004	10	6	18	16	06-10-2004	6	07-10-2004	12
2004	10	21	-25	13	21-10-2004	13	22-10-2004	4
2004	10	24	20	10	24-10-2004	9	25-10-2004	6
2004	11	5	33	15	03-11-2004	18	08-11-2004	0
2004	11	12	85	44	12-11-2004	18	14-11-2004	0
2004	11	19	82	33	18-11-2004	23	20-11-2004	17
2004	12	23	58	11	21-12-2004	18	24-12-2004	22
2004	12	30	55	16	29-12-2004	2	30-12-2004	9
2005	1	8	54	18	08-01-2005	12	09-01-2005	10
2005	1	21	85	21	20-01-2005	12	21-01-2005	6
2005	1	23	77	41	23-01-2005	16	24-01-2005	23
2005	2	1	20	15	01-02-2005	5	01-02-2005	18
2005	2	14	86	35	13-02-2005	10	14-02-2005	23
2005	2	19	43	30	19-02-2005	8	20-02-2005	18
2005	3	11	70	26	11-03-2005	18	12-03-2005	12
2005	4	9	60	26	09-04-2005	2	09-04-2005	10
2005	6	3	-15	15	03-06-2005	10	03-06-2005	20
2005	6	29	0	16	29-06-2005	0	29-06-2005	10
2005	7	17	-7	11	17-07-2005	7	17-07-2005	13
2005	9	13	-22	11	13-09-2005	2	13-09-2005	12
2005	9	16	30	14	16-09-2005	5	17-09-2005	4
2005	10	25	51	15	24-10-2005	13	26-10-2005	21
2005	11	14	2	14	14-11-2005	18	15-11-2005	9
2005	11	16	39	39	16-11-2005	8	17-11-2005	2
2005	11	24	109	39	24-11-2005	17	25-11-2005	21
2005	12	16	116	106	16-12-2005	21	17-12-2005	21
2005	12	26	-6	16	26-12-2005	7	28-12-2005	11
2006	1	9	niet besch.	14	09-01-2006	21	10-01-2006	10
2006	1	20	niet besch.	33	20-01-2006	13	20-01-2006	19
2006	2	8	niet besch.	40	08-02-2006	11	10-02-2006	10
2006	3	6	niet besch.	25	05-03-2006	16	07-03-2006	0
2006	5	20	niet besch.	11	20-05-2006	16	21-05-2006	2
2006	7	20	niet besch.	11	20-07-2006	0	21-07-2006	8
2006	10	30	niet besch.	15	30-10-2006	1	30-10-2006	13

2006	10	31	niet besch.	19	31-10-2006	11	31-10-2006	23
2006	11	1	niet besch.	52	01-11-2006	0	02-11-2006	2
2006	11	11	niet besch.	28	11-11-2006	17	12-11-2006	21
2006	12	7	niet besch.	15	07-12-2006	15	08-12-2006	5
2006	12	31	niet besch.	18	30-12-2006	18	31-12-2006	14
2007	1	2	niet besch.	20	01-01-2007	0	02-01-2007	5
2007	1	11	niet besch.	32	11-01-2007	12	13-01-2007	0
2007	1	14	niet besch.	16	14-01-2007	0	16-01-2007	3
2007	1	18	niet besch.	44	18-01-2007	15	18-01-2007	21
2007	1	20	niet besch.	26	20-01-2007	10	21-01-2007	6
2007	1	26	niet besch.	38	26-01-2007	22	27-01-2007	13
2007	3	1	niet besch.	20	01-03-2007	19	02-03-2007	3
2007	3	18	niet besch.	50	18-03-2007	8	19-03-2007	6
2007	3	20	niet besch.	25	20-03-2007	12	21-03-2007	5
2007	6	25	niet besch.	14	25-06-2007	13	26-06-2007	8
2007	7	24	niet besch.	11	24-07-2007	6	24-07-2007	15
2007	8	22	niet besch.	13	20-08-2007	15	25-08-2007	19

Tijdstippen op basis van MET.

**Selectie voor seiche-statistiek (opzet > 30 cm en gevallen opgetreden binnen twee dagen samengevoegd)**

Jaar	maand	dag	opzet (cm)	seiche-amplitude (cm)
2004	9	21	84	17
2004	11	5	33	15
2004	11	12	85	44
2004	11	19	82	33
2004	12	23	58	11
2004	12	30	55	16
2005	1	8	54	18
2005	1	23	85	41
2005	2	14	86	35
2005	2	19	43	30
2005	3	11	70	26
2005	4	9	60	26
2005	9	16	30	14
2005	10	25	51	15
2005	11	16	39	39
2005	11	24	109	39
2005	12	16	116	106

Tijdstippen op basis van MET.

## C Overzicht seiche-verwachtingen

begindatum	begintijd	einddatum	eindtijd	A12	B12	C12	D12	A24	B24	C24	D24	seiche
07-04-05	02:00	08-04-05	13:50			1	1			1	1	0
09-04-05	02:10	09-04-05	07:50						1			1
26-04-05	02:00	26-04-05	13:50				1					0
27-04-05	02:10	27-04-05	07:50				1					0
07-05-05	02:00	08-05-05	13:50			1		1		1		0
09-05-05	02:10	09-05-05	13:50								1	0
17-05-05	02:10	17-05-05	13:50					1				0
03-07-05	02:00	03-07-05	13:50	1								0
04-07-05	08:00	04-07-05	13:50					1				0
18-07-05	14:00	19-07-05	13:50		1			1				0
02-08-05	14:00	03-08-05	02:00		1			1				0
15-08-05	02:10	15-08-05	07:50				1					0
16-09-05	02:00	18-09-05	01:50			1				1		1
22-09-05	14:00	23-09-05	02:00		1			1				0
01-11-05	13:00	01-11-05	18:50				1					0
16-11-05	07:00	19-11-05	06:50			1	1			1	1	1
24-11-05	19:00	26-11-05	18:50			1	1				1	1
27-11-05	01:00	27-11-05	06:50							1		0
16-12-05	13:00	18-12-05	18:50			1	1			1	1	1
19-12-05	07:00	19-12-05	18:50					1				0
29-12-05	01:00	29-12-05	06:50					1				0
11-01-06	07:00	11-01-06	12:50		1							0
20-01-06	07:00	21-01-06	18:50			1				1		1
08-02-06	07:00	11-02-06	00:50			1	1	1	1	1		1
15-02-06	07:00	15-02-06	18:50	1								0
28-02-06	01:00	02-03-06	18:50			1		1	1	1		0
05-03-06	07:00	07-03-06	06:50			1		1	1			1
11-03-06	19:00	12-03-06	06:50			1						0
02-04-06	02:00	04-04-06	13:50			1	1			1		0
12-04-06	02:10	12-04-06	13:50					1				0
29-04-06	02:10	29-04-06	07:50				1	1				0
22-05-06	14:00	23-05-06	13:50				1				1	0
30-05-06	02:00	30-05-06	13:50			1						0
31-05-06	02:10	31-05-06	07:50							1		0
02-08-06	02:00	03-08-06	13:50			1	1			1	1	0
04-08-06	02:10	04-08-06	13:50							1		0
08-08-06	02:10	08-08-06	13:50					1				0
28-08-06	02:00	29-08-06	13:50			1				1		0
30-08-06	02:10	30-08-06	07:50							1		0
31-10-06	13:00	04-11-06	18:50		1	1		1	1			1
09-11-06	01:00	10-11-06	00:50			1		1	1			0
12-11-06	01:00	12-11-06	21:00			1		1				1
20-11-06	07:00	20-11-06	12:50		1			1				0
03-12-06	07:00	03-12-06	18:50			1				1		0
09-12-06	01:00	10-12-06	06:50		1							0

begindatum	begintijd	einddatum	eindtijd	A12	B12	C12	D12	A24	B24	C24	D24	seiche
30-12-06	19:00	31-12-06	00:50		1							1
02-01-07	01:00	03-01-07	12:50		1	1			1		1	1
08-01-07	07:00	08-01-07	12:50		1							0
11-01-07	01:00	11-01-07	18:50	1	1				1			1
17-01-07	07:00	17-01-07	18:50		1				1			0
18-01-07	01:00	19-01-07	18:50		1				1			1
20-01-07	01:00	22-01-07	12:50		1	1	1		1		1	1
26-01-07	13:00	27-01-07	12:50			1			1	1		1
28-01-07	01:10	28-01-07	06:50			1				1		0
02-02-07	07:00	02-02-07	12:50			1						0
02-02-07	19:00	03-02-07	00:50							1		0
05-02-07	13:00	07-02-07	18:50			1				1		0
11-02-07	07:00	11-02-07	12:50		1							0
12-02-07	07:00	13-02-07	12:50				1				1	0
27-02-07	01:00	27-02-07	06:50			1						0
05-03-07	01:10	05-03-07	06:50				1					0
09-03-07	13:00	10-03-07	00:50			1						0
18-03-07	01:00	22-03-07	12:50	1	1	1	1		1	1		1
15-06-07	02:20	15-06-07	07:50	1								0
23-07-07	02:00	23-07-07	13:50		1							0
15-08-07	02:00	15-08-07	13:50		1							0
Totaal				8%	27%	42%	26%	0%	39%	36%	18%	26%

Tijdstippen op basis van MET.

## **D Resultaten evaluatie seiche-verwachting**

Het overzicht van de resultaten van de evaluatie van de seiche-verwachting is opgesplitst in twee delen:

1. op basis van de uitgegeven verwachtingen (wel of niet daadwerkelijk opgetreden)
2. op basis van geïdentificeerde seiche-gevallen (wel of niet verwacht)

Deel 1 is vanwege beknoptheid opgenomen onder Appendix C (meest rechter kolom). Deel 2 is opgenomen op de volgende pagina. Start- en eindtijd van de 12-uurs- en 24-uursverwachting zijn hierin afzonderlijk opgenomen.



datum	seiche amp. (cm)			start, 12-uur		start, 24 uur		eind, 12 uur		eind, 24 uur			
		begindatum	tijd	einddatum	tijd	datum	tijd	datum	tijd	datum	tijd		
09-04-05	26	09-04-2005	2	09-04-2005	10	-	-	09-04-2005	02:10	-	-	09-apr-05	07:50
03-06-05	15	03-06-2005	10	03-06-2005	20	-	-	-	-	-	-	-	-
29-06-05	16	29-06-2005	0	29-06-2005	10	-	-	-	-	-	-	-	-
17-07-05	11	17-07-2005	7	17-07-2005	13	-	-	-	-	-	-	-	-
13-09-05	11	13-09-2005	2	13-09-2005	12	-	-	-	-	-	-	-	-
16-09-05	21	16-09-2005	5	17-09-2005	4	16-sep-05	02:00	16-sep-05	14:00	17-sep-05	19:50	18-sep-05	01:50
25-10-05	15	24-10-2005	13	26-10-2005	21	-	-	-	-	-	-	-	-
14-11-05	14	14-11-2005	18	15-11-2005	9	-	-	-	-	-	-	-	-
16-11-05	39	16-11-2005	8	17-11-2005	2	16-nov-05	07:00	16-nov-05	19:00	18-nov-05	18:50	19-nov-05	06:50
24-11-05	39	24-11-2005	17	25-11-2005	21	24-nov-05	19:00	25-nov-05	19:00	26-nov-05	18:50	26-nov-05	18:50
16-12-05	106	16-12-2005	21	17-12-2005	21	16-dec-05	13:00	17-dec-05	01:00	18-dec-05	12:50	18-dec-05	18:50
26-12-05	16	26-12-2005	7	28-12-2005	11	-	-	-	-	-	-	-	-
09-01-06	14	09-01-2006	21	10-01-2006	10	-	-	-	-	-	-	-	-
20-01-06	33	20-01-2006	13	20-01-2006	19	20-jan-06	07:00	20-jan-06	19:00	21-jan-06	06:50	21-jan-06	18:50
08-02-06	40	08-02-2006	11	10-02-2006	10	08-feb-06	07:00	08-feb-06	13:00	10-feb-06	12:50	11-feb-06	00:50
06-03-06	25	05-03-2006	16	07-03-2006	0	05-mrt-06	07:00	05-mrt-06	13:00	07-mrt-06	06:50	07-mrt-06	00:50
20-05-06	11	20-05-2006	16	21-05-2006	2	-	-	-	-	-	-	-	-
20-07-06	11	20-07-2006	0	21-07-2006	8	-	-	-	-	-	-	-	-
30-10-06	15	30-10-2006	1	30-10-2006	13	-	-	-	-	-	-	-	-
31-10-06	19	31-10-2006	11	31-10-2006	23	31-okt-06	13:00	01-nov-06	01:00	04-nov-06	06:50	04-nov-06	18:50
01-11-06	52	01-11-2006	0	02-11-2006	2	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem
11-11-06	28	11-11-2006	17	12-11-2006	21	12-nov-06	07:00	12-nov-06	01:00	12-nov-06	18:50	12-nov-06	12:50
07-12-06	15	07-12-2006	15	08-12-2006	5	-	-	-	-	-	-	-	-
31-12-06	18	30-12-2006	18	31-12-2006	14	30-dec-06	19:00	-	-	31-dec-06	00:50	-	-
02-01-07	20	01-01-2007	0	02-01-2007	5	-	-	-	-	-	-	-	-
11-01-07	32	11-01-2007	12	13-01-2007	0	11-jan-07	01:00	11-jan-07	07:00	11-jan-07	18:50	11-jan-07	18:50
14-01-07	16	14-01-2007	0	16-01-2007	3	-	-	-	-	-	-	-	-

					start, 12-uur		start, 24 uur		eind, 12 uur		eind, 24 uur		
18-01-07	44	18-01-2007	15	18-01-2007	21	17-jan-07	07:00	17-jan-07	13:00	19-jan-07	06:50	19-jan-07	18:50
20-01-07	26	20-01-2007	10	21-01-2007	6	20-jan-07	01:00	22-jan-07	12:50	20-jan-07	13:00	22-jan-07	00:50
26-01-07	38	26-01-2007	22	27-01-2007	13	26-jan-07	13:00	26-jan-07	13:00	27-jan-07	00:50	27-jan-07	12:50
01-03-07	20	01-03-2007	19	02-03-2007	3	-	-						
18-03-07	50	18-03-2007	8	19-03-2007	6	18-mrt-07	01:00	18-mrt-07	07:00	22-mrt-07	00:50	22-mrt-07	12:50
20-03-07	25	20-03-2007	12	21-03-2007	5	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem	idem
25-06-07	14	25-06-2007	13	26-06-2007	8	-	-						
24-07-07	11	24-07-2007	6	24-07-2007	15	-	-						
22-08-07	13	20-08-2007	15	25-08-2007	19	-	-						



## **WL | Delft Hydraulics**

Rotterdamseweg 185  
postbus 177  
2600 MH Delft  
telefoon 015 285 85 85  
telefax 015 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

Rotterdamseweg 185  
p.o. box 177  
2600 MH Delft  
The Netherlands  
telephone +31 15 285 85 85  
telefax +31 15 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

