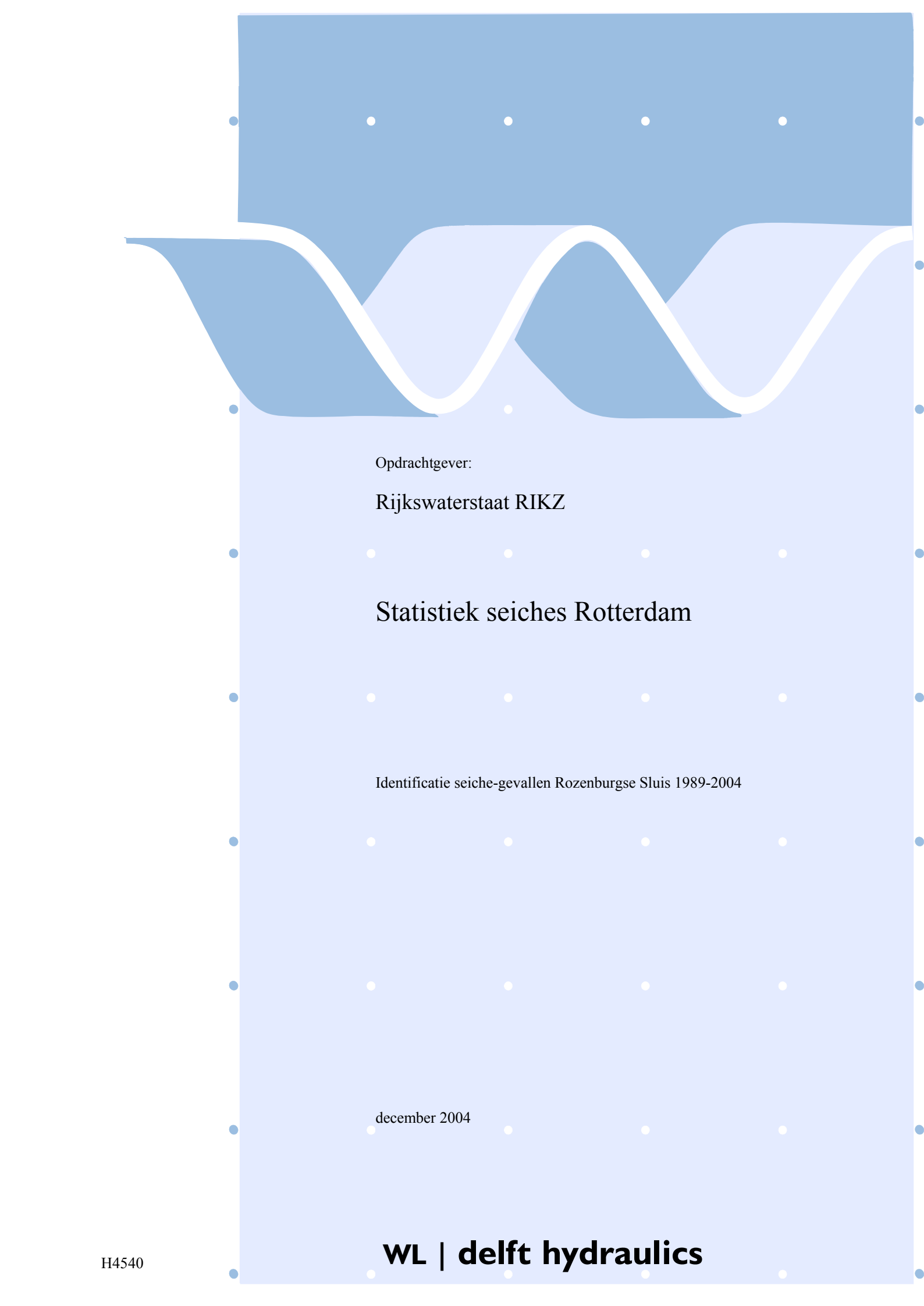




Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIKZ

Statistiek seiches Rotterdam

Identificatie seiche-gevallen Rozenburgse Sluis 1989-2004

december 2004

Opdrachtgever:

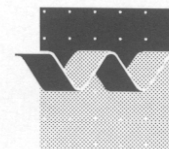
Rijkswaterstaat RIKZ

Statistiek seiches Rotterdam

Identificatie seiche-gevallen Rozenburgse Sluis 1989-2004

M.P.C. de Jong

december 2004



OPDRACHTGEVER:	Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)				
TITEL:	Statistiek seiches Rotterdam; Identificatie seiche-gevallen Rozenburgse Sluis 1989-2004				
SAMENVATTING:	Tijdens het inzetten van de Maeslantkering (StormVloedKering nieuwe Waterweg, SVKW) kan de belasting op deze constructie worden beïnvloed door seiches. In de ontwerpfasen van deze kering is rekening gehouden met het optreden van deze seiches. Destijds is de seiche-statistiek voor de kering gebaseerd op waterstandmetingen (1971 t/m 1983) van de locatie Rozenburgse Sluis (ROZ), gelegen nabij het gesloten einde van het Calandkanaal, die vervolgens vertaald is naar de (destijds nog toekomstige) locatie van de SVKW. Aangezien de kering nog niet is gesloten in een situatie van een stormvloed, zijn op dit moment geen aanvullende gegevens ter plaatse van de SVKW beschikbaar. Daar komt bij dat de sluitingsfrequentie van de kering te laag is om binnen afzienbare tijd een database op te bouwen die voldoende groot is voor het bepalen van locale seiche-statistiek. Dit betekent dat de combinatie van het bepalen van seiche-statistiek op een locatie in de haven waar lange-termijn meetgegevens beschikbaar zijn, in combinatie met de vertaling van deze statistiek naar de locatie van de SVKW, noodzakelijk zal blijven. Tijdens het promotiewerk van De Jong (2003, 2004) is de vertaling van de statistiek bij ROZ naar de locatie van de SVKW geverifieerd op basis van nieuwe meetgegevens (1995 t/m 2001) en nieuwe inzichten. De vertaalfactor die destijds is toegepast bleek binnen 5% (aan de conservatieve kant) nauwkeurig. Om de betrouwbaarheid/onderbouwing van de statistiek voor de SVKW verder te vergroten zijn in dit onderzoek aanvullende waterstandmetingen bij ROZ geanalyseerd (januari 1989 t/m maart 2004). Hierin zijn seiche-gevallen geïdentificeerd en is de maximale top-dalwaarde per geval bepaald. Aangezien gedurende het bestudeerde tijdinterval aanpassingen aan de havenlay-out gemaakt zijn bestaat de mogelijkheid dat deze nieuw verkregen data inconsistent zijn. Daarom is de consistentie van de gegevens geverifieerd op basis van statistische kentallen en op basis van een statistische test. De deelreeksen met seiche-amplituden voor en na de aanpassingen bleken, wanneer een bepaalde drempelwaarde voor de seiche-amplitude wordt toegepast, consistent. Na de keuze van een definitieve drempelwaarde kunnen, in een vervolgonderzoek, deze gegevens dus worden gebruikt om de bestaande seiche-statistiek verder te onderbouwen.				
REFERENTIES:	Offerteaanvraag: RIKZ/2004/06318 Offerte: MCI-06359/H4540/MDJ Opdrachtbon: RIKZ 73041412				
VER	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	M.P.C. de Jong	29-11-2004	concept	J. Dekker	W.M.K. Tilmans
2	M.P.C. de Jong	03-12-2004	definitief	J. Dekker	W.M.K. Tilmans
PROJECTNUMMER:	H4540				
TREFWOORDEN:	Maeslantkering, Rotterdam, Rozenburgse Sluis, seiches, statistiek, stormvloedkeringen, Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, SVKW, waterstandslingeringen				
AANTAL BLADZIJDEN:	23 + appendices				
VERTROUWELIJK:	☐ JA, tot (datum)			☒ NEE	
STATUS:	☐ VOORLOPIG	☐ CONCEPT		☒ DEFINITIEF	

Inhoud

Lijst met figuren.....	iii
Lijst met tabellen	iii
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Opdracht/projectomschrijving	2
1.3 Doelstelling.....	2
1.4 Opzet van het onderzoek.....	2
1.5 Indeling rapport	3
2 Beschikbare gegevens	4
2.1 Meetlocatie	4
2.2 Tijdinterval.....	4
3 Gegevensverwerking.....	5
3.1 Bestandsopmaak tot 1995	5
3.2 Bestandsopmaak vanaf 1995	5
3.3 Kwaliteit van de gegevens	6
4 Seiche-amplituden.....	8
4.1 Wavelet-analyse van tijdreeksen.....	8
4.1.1 Inleiding.....	8
4.1.2 Voorbeelden van wavelet-spectra	9
4.2 Geïdentificeerde seiche-gevallen.....	12
5 Consistentie van de gegevens	14
5.1 Inleiding.....	14
5.2 Beschrijvende statistische kentallen	14

5.2.1	Vergelijking deelreeksen op basis van statistische kentallen	14
5.2.2	Vergelijking met resultaten uit voorgaande studies	16
5.3	Run-test.....	17
5.3.1	Beknopte omschrijving run-test.....	17
5.3.2	Resultaten run-test	17
6	Samenvatting en conclusies.....	19
6.1	Inleiding.....	19
6.2	Voorbereiden meetgegevens Rozenburgse Sluis.....	19
6.3	Bepalen seiche-amplituden	19
6.4	Bepalen mate van consistentie gegevens	20
6.5	Puntsgewijs overzicht conclusies en aanbevelingen.....	21
	Referenties	23
A	Memo ‘quickscan’ meetgegevens.....	A-1
B	Overzicht alle geïdentificeerde seiche-gevallen (30 januari 1989 t/m 31 maart 2004).....	B-1

Lijst met figuren

Figuur 1: Overzicht Europoortgebied en de locatie ROZ.	4
Figuur 2: voorbeeld sprongen in slechte data.	7
Figuur 3: Voorbeeld van een waterstandsmeting inclusief een seiche-geval bij meerdere eigenperioden (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).	9
Figuur 4: Voorbeeld van een tijdreeks met seiche-geval (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).	10
Figuur 5: Voorbeeld van een maand waterstandgegevens zonder seiche-gevallen (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).	11
Figuur 6: Voorbeeld van een tijdreeks met seiche-gevallen met een relatief lage amplitude (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).	11
Figuur 7: Voorbeeld twijfelgeval.	12
Figuur 8: Histogrammen van de reeksen met seiche-amplituden.	16

Lijst met tabellen

Tabel 1: Overzicht beschrijvende statistische parameters deelreeksen (zonder drempelwaarde voor de seiche-amplituden).	15
Tabel 2: Overzicht beschrijvende statistische parameters deelreeksen, amplitude > 25 cm.	16
Tabel 3: overzicht resultaten run-test.	17

I Inleiding

I.1 Achtergrond

Seiches zijn waterstandslingeren die optreden bij een eigenperiode van (semi-) afgesloten bekkens, zoals havenbekkens. De krachten op de Maeslantkering in Rotterdam (Stormvloedkering Nieuwe Waterweg, SVKW) kunnen tijdens een sluiting voor een deel worden beïnvloed door deze seiches, die kunnen optreden in het tijdelijke bekken dat tijdens een sluiting aan de zeezijde van de kering wordt gecreëerd.

Tijdens het ontwerp van de SVKW is rekening gehouden met de aanvullende belasting die seiches kunnen veroorzaken. Aangezien alleen op locatie Rozenburgse Sluis (ROZ) lange termijngegevens beschikbaar waren, is ten tijde van het ontwerp van de kering de beschikbare seiche-statistiek voor ROZ ‘vertaald’ naar de (destijds nog toekomstige) locatie van de kering (zie Janssen, 1994, 1995). Door relatief grote aanpassingen in de havenlay-out waren de beschikbare data niet consistent over het gehele beschikbare tijdsinterval (12 jaar, december 1971 t/m december 1983) en zijn destijds slechts 8 jaar data hiervan gebruikt voor het bepalen van de seiche-statistiek bij ROZ.

Op dit moment zijn er geen aanvullende gegevens beschikbaar voor de locatie van de SVKW omdat deze nog niet tijdens een stormvloedsituatie is ingezet. Bovendien zijn relatief veel seiche-gevallen benodigd voor het afleiden van betrouwbare statistiek, waardoor het gebruik van gegevens op de locatie van de SVKW geen reële optie is. Dit betekent dat een aanpak op basis van de combinatie van het bepalen van seiche-statistiek op een andere locatie in de haven, en vervolgens de vertaling van deze statistiek naar de locatie van de SVKW, noodzakelijk zal blijven.

Recentelijk is door De Jong (2003, 2004), in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Zuid Holland, een verificatie uitgevoerd van de tijdens het ontwerp gemaakte vertaling van ROZ naar de SVKW. Hierbij is gebruik gemaakt van nieuwe gegevens (waterstanden en seiches in de haven) en nieuwe inzichten (o.a. het aanbodspectrum op zee). De destijds gehanteerde ‘vertaalmethode’ bestaat uit het afleiden van een *overall* verhouding van seiche-amplituden op basis van een gezamenlijk aanbodspectrum aan de havenmond en de lokale amplificatiespectra van de beschouwde locaties. Door deze methode toe te passen voor het vertalen van seiche-amplituden van ROZ naar een andere locatie in de haven waar ook gemeten seiche-gegevens beschikbaar zijn (Europahaven), is aangetoond dat de vertaalmethode betrouwbare resultaten op kan leveren. Bovendien bleek dat, ondanks dat destijds slechts een beperkte hoeveelheid meetgegevens beschikbaar waren op zee voor het bepalen van het aanbodspectrum, voor het ontwerp van de SVKW een correcte factor gebruikt is voor het vertalen van de seiche-statistiek naar de locatie van de SVKW (binnen 5%, aan de conservatieve kant).

Om de betrouwbaarheid (en de onderbouwing) van de seiche-statistiek voor de SVKW verder te vergroten kan, naast de reeds uitgevoerde verificatie van de vertaling van ROZ naar de locatie van de kering, ook de betrouwbaarheid van de seiche-statistiek zelf (op de

locatie ROZ) worden verhoogd. Sinds het ontwerp van de kering zijn namelijk meer waterstandsmetingen beschikbaar gekomen (30 januari 1989 t/m 31 maart 2004). Op basis van deze data kunnen aanvullende seiche-gevallen worden geïdentificeerd. Deze kunnen vervolgens in een vervolgonderzoek worden opgenomen in de beschikbare seiche-statistiek.

1.2 Opdracht/projectomschrijving

In een brief op 15 november 2004 heeft Rijkswaterstaat RIKZ opdracht verleend aan WL | Delft Hydraulics om, conform de door WL | Delft Hydraulics uitgebrachte offerte op 8 november 2004 (ref. MCI-06359/H4540/MDJ), een studie uit te voeren naar de seiche-amplituden op de locatie 'Rozenburgse Sluis' (ROZ) op basis van waterstandsmetingen van deze locatie van januari 1989 t/m maart 2004. In opdracht van Rijkswaterstaat RIKZ is voorafgaand aan de huidige studie door WL | Delft Hydraulics reeds een 'quickscan' van de meetgegevens gemaakt. De beschikbaarheid en verwerkbaarheid van de gegevens is hiervoor beschouwd. Deze bleek voldoende om de huidige studie uit te voeren. De resultaten van de quickscan zijn eerder al gerapporteerd in de vorm van een memo (MCI-06339/H4540/MDJ). Een kopie van deze memo is opgenomen in Appendix A.

1.3 Doelstelling

Het doel van de huidige studie is als volgt op te delen:

- het verwerken (homogeen maken, geschikt maken voor verdere analyse) van de tijdreeksen van waterstanden bij ROZ;
- het bepalen van amplituden (in combinatie met top-dalwaarden) van seiche-gevallen in het Calandkanaal die geïdentificeerd kunnen worden in de waterstandsmetingen van 1989 tot medio 2004;
- het bepalen van de mate van consistentie van de nieuwe dataset voor wat betreft de invloed van het aanbrengen van openingen in de Beerdam op de gemeten seiche-amplituden bij ROZ.

1.4 Opzet van het onderzoek

Voordat de beschikbare meetgegevens toegepast kunnen worden moeten de data eerst worden voorbereid. Hiervoor worden de ruwe meetgegevens ingelezen en worden ontbrekende dagen (of delen van dagen) opgevuld met dummy-waarden (typisch 9999). Deze dummy-waarden zijn duidelijk fysisch onrealistische waarden die gebruikt worden voor de identificatie van de locaties van de gaten. De gaten worden vervolgens op basis van lineaire interpolatie opgevuld. Als laatste stap in deze voorbereiding worden de reeksen opgedeeld in bestanden per maand (hierbij is aandacht besteed aan de mogelijkheid dat seiche-gevallen over de maandgrens heen op kunnen treden).

Wavelet-analyse wordt ingezet voor de verdere analyse van de gegevens, in het bijzonder voor het bepalen van intervallen waarin seiches zijn opgetreden. Deze analysemethode levert informatie over de verdeling van energie over de frequenties (tijdschalen) en het verloop van deze verdeling in de tijd, in de vorm van zogenaamde wavelet-spectra (zie voor details over deze methode en verdere referenties De Jong, 2004). Gezien het episodische, niet-stationaire karakter van de seiches is deze methode uitermate geschikt voor het

analyseren van dit fenomeen. Standaard energiespectra leveren voor de analyse van het vóórkomen van de seiches weinig toegevoegde waarde, aangezien die geen informatie geven over het verloop van de energie in de tijd.

Op basis van de wavelet-spectra kunnen seiches worden gedetecteerd en kan per seiche-geval de globale start- en eindtijd worden bepaald. De gaten in de data die met lineaire interpolatie zijn opgevuld vormen hierbij geen probleem: de wavelet-spectra worden alleen lokaal (in de tijd) beïnvloed door deze onregelmatigheden in de tijdreeksen. Zij zijn weliswaar zichtbaar in de wavelet-spectra, maar deze effecten kunnen duidelijk van daadwerkelijke seiche-gevallen worden gescheiden.

Per geval wordt uit het wavelet-spectrum de dominante periode(n) van de seiche-beweging afgelezen en wordt de maximale seiche-amplitude afgeleid. Voor dit laatste worden (indien benodigd) gefilterde tijdreeksen van waterstanden gebruikt om de seiche-frequentieband te isoleren. Dit filter is gebaseerd op een Fast Fourier Transformatie (FFT) van de tijdreeksen, na selectie van het relevante frequentiebereik, een inverse FFT. Voorafgaand aan de FFT van het gemeten signaal wordt een *window* toegepast dat er voor zorgt dat de waarden aan de start en aan het eind van de tijdreeksen naar nul afnemen, dit om het optreden van foutieve componenten in de FFT te voorkomen.

Het resultaat van de hierboven beschreven werkzaamheden is een reeks van (maximale) seiche-amplituden, behorende bij de seiche-gevallen die geïdentificeerd zijn in de metingen van januari 1989 t/m maart 2004. Deze aanvullende gegevens kunnen alleen worden opgenomen in de statistiek van de seiche-amplituden als de data consistent zijn. Dit wil zeggen dat de seiche-karakteristieken van de haven constant moeten zijn gebleven en nog steeds op moeten gaan voor de huidige situatie. De nieuw beschikbaar gekomen gegevens voor de huidige studie (totaal ca. 16 jaar) zijn afkomstig uit een tijdinterval waarin alleen relatief beperkte aanpassingen aan de havenlay-out gemaakt zijn. Meest ingrijpende aanpassingen in het beschouwde tijdinterval zijn de openingen die gemaakt zijn in de Beerdam: van het Beerkanaal naar het Hartelkanaal (november 1997) en van de Mississippihaven naar de Hartelhaven (april 1999). Deze aanpassingen delen de nieuwe tijdreeksen op in een deel van ca. 8 jaar (geen openingen in de Beerdam), een deel van ca. 1.5 jaar (één opening) en een deel van ca. 6 jaar (twee openingen in de Beerdam). De consistentie van de resultaten verkregen voor deze deelintervallen is geverifieerd op basis van statistische kentallen. Bovendien is een aanvullende statistische test (een zogenaamde *run-test*) uitgevoerd om de consistentie van de gegevens verder te verifiëren.

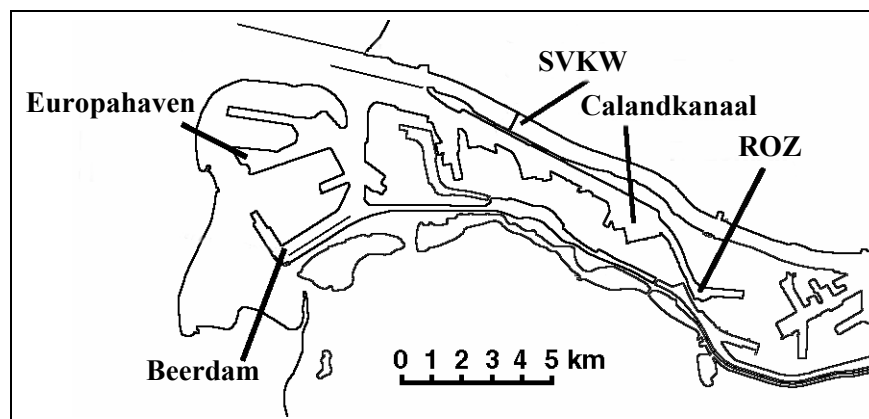
1.5 Indeling rapport

In Hoofdstuk 2 worden de meetlocatie en het tijdinterval van de beschikbare meetgegevens beschreven. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 3 de verwerking van de data besproken. Het bepalen van de seiche-gevallen en de bijbehorende maximale amplituden wordt beschreven in Hoofdstuk 4, waarna in Hoofdstuk 5 de consistentie van de gegevens wordt gecontroleerd. Als laatste worden in Hoofdstuk 6 de conclusies beschreven, samen met aanbevelingen voor het geplande vervolgonderzoek: het opnemen van de in de huidige studie verkregen gegevens in de seiche-statistiek voor de SVKW.

2 Beschikbare gegevens

2.1 Meetlocatie

De gegevens die in deze studie worden gebruikt zijn waterstandsmetingen afkomstig van locatie Rozenburgse Sluis (ROZ), nabij het gesloten einde van het Calandkanaal. In Figuur 1 staat een overzicht van het Europoortgebied, inclusief de locaties van ROZ en de SVKW.



Figuur 1: Overzicht Europoortgebied en de locatie ROZ.

Het Calandkanaal heeft een open verbinding met zee. In dit kanaal treden seiches op die een dominante eigenperiode hebben tussen 50 en 100 minuten, overwegend ongeveer 90 minuten. Deze periode komt overeen met een seiche met een knoop nabij de havenmond (Hoek van Holland) en een buik bij het gesloten einde (kwart-golflengte seiche). Nabij het gesloten einde van dit kanaal treden daarom de grootste amplituden op. Bovendien worden op deze locatie, in vergelijking met andere meetlocaties (zoals nabij het gesloten einde van de Europahaven, zie Figuur 1), in de regel de hoogste seiche-amplituden van het Europoortgebied waargenomen. Gezien deze karakteristieken en het historische gebruik van locatie ROZ zal ook in deze studie gebruik worden gemaakt van gegevens van deze locatie.

2.2 Tijdinterval

Vanaf 1989 worden door het Havenbedrijf Rotterdam waterstanden op locatie ROZ gemeten met een bemonsteringsinterval van één minuut. Via Rijkswaterstaat RIKZ zijn deze gegevens beschikbaar gesteld voor de huidige studie (t/m maart 2004). In de database die De Jong tijdens zijn promotiewerk heeft samengesteld bleken aanvullende gegevens beschikbaar te zijn gedurende enkele maanden van de beschouwde jaren (ca 5 wintermaanden die in de database van RIKZ ontbraken). Met toestemming van het Havenbedrijf Rotterdam zijn deze aanvullende gegevens aan de database toegevoegd.

3 Gegevensverwerking

3.1 Bestandsopmaak tot 1995

In Matlab zijn een aantal routines aangemaakt voor het verwerken van de bestanden met gegevens die verkregen zijn voor 1995. Deze routines verzorgen het inlezen van de bestanden, die elk één dag aan metingen bevatten. De originele bestanden hebben de volgende opmaak (8^e kolom bevat de gemeten waterstanden bij ROZ):

```
Datum  tijd  gemeten parameters
900101 0000 -58 -62 -65 -64 -74 -62 -32 -29 -24 -25 ...
900101 0001 -58 -62 -65 -64 -70 -62 -32 -29 -24 -24 ...
900101 0002 -58 -62 -65 -64 -71 -64 -32 -32 -24 -24 ...
900101 0003 -58 -62 -65 -63 -66 -64 -32 -32 -24 -24 ...
900101 0004 -58 -62 -65 -63 -66 -64 -33 -26 -24 -25 ...
900101 0005 -58 -62 -65 -60 -66 -64 -33 -26 -22 -25 ...
900101 0006 -59 -63 -65 -60 -68 -64 -32 -34 -24 -25 ...
900101 0007 -59 -63 -65 -65 -73 -65 -32 -34 -24 -26 ...
900101 0008 999 -63 -65 -65 -69 -65 -34 -30 -23 -26...
.....
```

Indien een dag ontbreekt dan worden in de routine de ontbrekende tijdstempels aangevuld, samen met dummy-waarden. Indien een deel van een dag ontbreekt dan worden de gegevens op een soortgelijke manier aangevuld. Tijdstippen (met corresponderende meetwaarden) die dubbel voorkomen worden verwijderd.

Het resultaat van de bewerking is een bestand met alle waterstandsmetingen bij ROZ voor een compleet jaar. De gaten, aangegeven door de dummy-waarden, worden opgevuld op basis van lineaire interpolatie. Voor verdere verwerking zijn vervolgens bestanden per maand aangemaakt.

3.2 Bestandsopmaak vanaf 1995

De bestanden die verkregen zijn vanaf 1995 zijn gebaseerd op de nieuwe uitvoer van de database van het Havenbedrijf Rotterdam. Deze bestanden hebben de volgende opmaak:

```
Waterstand|1 minuut waterstand|Rozenburgsesluis Calandkanaal||01-01-1995 00:00:00|30-
05-2000|68||0||||
Waterstand|1 minuut waterstand|Rozenburgsesluis Calandkanaal||01-01-1995 00:01:00|30-
05-2000|999||0||||
Waterstand|1 minuut waterstand|Rozenburgsesluis Calandkanaal||01-01-1995 00:02:00|30-
05-2000|65||0||||
.....
```

Voor deze opmaak is een routine beschikbaar in de vorm van een *Perl*-script. Ten tijde van het promotieonderzoek van De Jong is dit script aangemaakt door W. Kusters van de

Universiteit Leiden (Leiden Institute of Advanced Computer Science). Deze Perl-routine leest de complete regels van het bestand in en selecteert daaruit de datum van de meting, het juiste tijdstempel en de gemeten waterstand. Andere informatie, zoals de tweede datum die in elke regel vermeld staat, wordt genegeerd. Deze tweede datum is de dag waarop de gemeten waarde is gevalideerd. Deze informatie heeft in het huidige onderzoek geen functie omdat alleen tijdstippen met goedgekeurde waarden zijn opgenomen in de data (anders zouden zij opgenomen zijn als dummy-waarden). Ontbrekende tijdstippen worden door hetzelfde script aangevuld met de juiste tijdstempels in combinatie met dummy-waarden. Waarden die opgeslagen zijn met identieke tijdstempels worden verwijderd.

Met behulp van de voor de oude opmaak genoemde Matlab-scripts (Paragraaf 3.1) worden ook in dit geval de gaten opgevuld op basis van lineaire interpolatie. Vervolgens worden ook deze tijdreeksen opgedeeld in bestanden per maand.

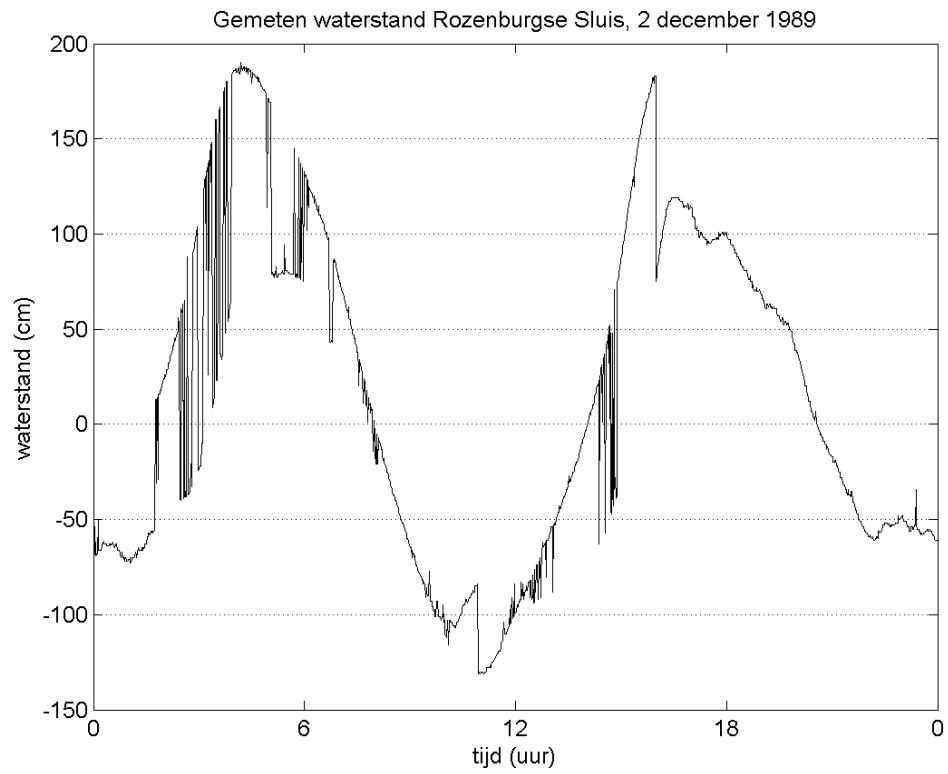
Resultaat van de verwerkingsmethoden voor de oude en de nieuwe bestandsopmaak zijn bestanden met tijdreeksen van waterstanden per maand op basis van een bemonsteringsinterval van één minuut.

3.3 Kwaliteit van de gegevens

Na voorbereiding van de gegevens in de huidige studie bleek dat de kwaliteit van de meetdata van beide typen (tot 1995 en vanaf 1995) sterk verschilde. In de data vanaf 1995 zitten weliswaar soms gaten, maar die tijdintervallen zijn beperkt en verder zitten er zeer weinig foutieve uitschieters in de waterstandgegevens ('spijkers'). Vanwege deze hoge kwaliteit kunnen deze data met behulp van de wavelet-spectra relatief efficiënt worden geanalyseerd. De wavelet-spectra maken het mogelijk om goed onderscheid te maken tussen getij-effecten en daadwerkelijke seiche-gevallen.

De gegevens van voor 1995 zijn van aanzienlijk mindere kwaliteit. Er zitten veel spijkers in de data en er treden veel sprongen in de data op, alsof de *offset* ('referentiewaarde') van de meeting tijdelijk incorrect is geweest: na de sprong lijkt het of het verloop van de waterstand vanaf het nieuwe niveau doorloopt, waarna na enige tijd de waterstand weer terugvalt tot het oude niveau en de trend in het waterstandverloop doorgaat. Een typisch voorbeeld staat in Figuur 2.

Het opzetten van een totaal softwarepakket dat dit soort foutieve waarden/sprongen detecteert en verwijdert zou een aanzienlijke studie op zich zijn. Daarnaast is het niet noodzakelijk voor het detecteren van seiches om deze fouten in de data te verwijderen: deze delen zijn toch verloren voor het seiche-onderzoek (anders worden deze delen gedetecteerd en vervangen door dummy-waarden). Daarom zijn deze sprongen niet uit de data verwijderd. Dit maakt wel een meer intensieve analyse van de gegevens noodzakelijk: voor de oude data is op basis van een visuele inspectie van de waterstandgegevens 'ingezoomd' op correcte delen van de tijdreeksen waarin mogelijk een seiche is opgetreden. Van deze deelreeksen (veelal enkele dagen rondom een mogelijk seiche-geval) is een afzonderlijk wavelet-spectrum gemaakt voor verdere analyse van de gegevens.



Figuur 2: voorbeeld sprongen in slechte data.

4 Seiche-amplituden

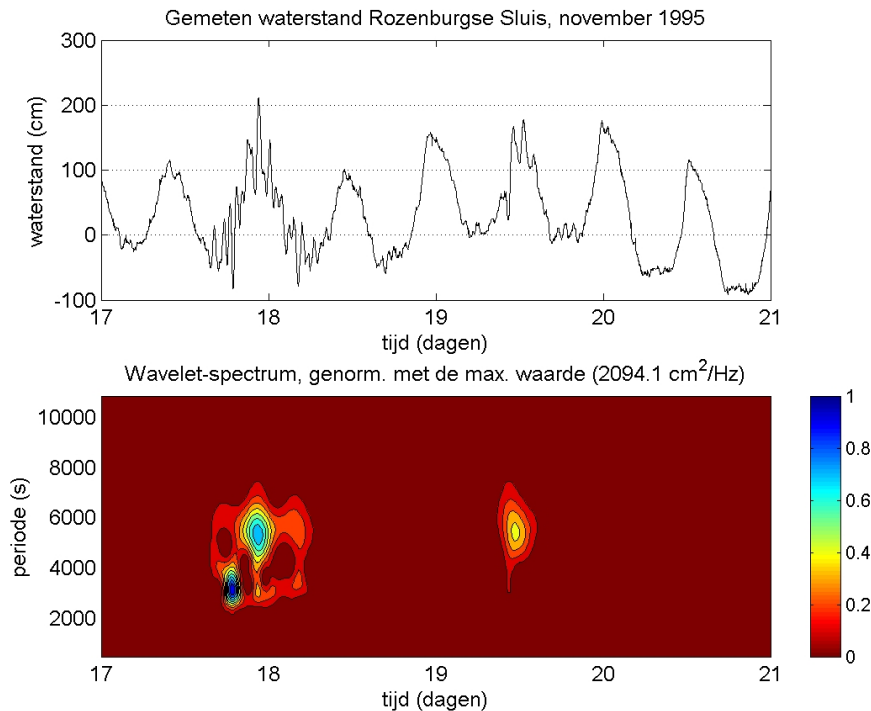
4.1 Wavelet-analyse van tijdreeksen

4.1.1 Inleiding

Voor het ‘detecteren’ van seiche-gevallen is voor elke maand meetgegevens een wavelet-spectrum gemaakt (zie voor details over wavelets en verdere referenties De Jong, 2004). Op een CD-rom behorende bij dit rapport zijn de wavelet-spectra van elke maand in het beschouwde tijdsinterval als digitale afbeeldingen bijgevoegd. In dit hoofdstuk worden een aantal uitgesproken voorbeelden gebruikt om het proces van het detecteren van seiche-gevallen verder toe te lichten en markante observaties te illustreren. Op basis van dergelijke spectra, in combinatie met een visuele inspectie van de tijdreeksen, zijn seiche-gevallen geïdentificeerd.

Een algemeen voorbeeld van de toegevoegde waarde van het gebruik van wavelet-spectra is weergegeven in Figuur 3. De opmaak van deze figuur is als volgt (deze opmaak is ook gebruikt voor de overige plots van de tijdreeksen en bijbehorende wavelet-spectra in dit rapport). In het bovenste paneel van de figuur staat de gemeten tijdreeks uit. In het onderste paneel staat het wavelet-spectrum van deze tijdreeks, met op de verticale as de periode en op de horizontale as dezelfde tijdsduur als in het bovenste paneel. De plot in het onderste paneel is genormeerd met de maximale waarde die optreedt in het getoonde tijd- en periodebereik. Bij het bepalen van deze maximale waarde is de invloed van randeffecten (in dit voorbeeld niet uitgesproken aanwezig) vermeden door de waarden nabij de randen (start en eind) van de tijdreeks niet te beschouwen. Door deze normalisatie kan de verdeling van de energie over de frequenties (in het geval van wavelets worden perioden gebruikt) en het verloop ervan in de tijd goed worden weergegeven en kunnen spectra direct worden vergeleken. Op 17 en 18 november 1995 is een seiche opgetreden waarbij duidelijk meerdere eigenperioden zichtbaar zijn. In dit geval treedt naast de grondtoon van 90 minuten ook een oscillatie op rond ca. 50 minuten. Enkele dagen later, op 19 november, treedt wederom een seiche op, nu duidelijk overheerst door de 90 minuten component. Deze laatste situatie komt het meest voor.

Alle jaren in de dataset zijn in het huidige onderzoek op bovenomschreven manier geanalyseerd, ook de tijdreeksen die in het promotieonderzoek van De Jong al waren beschouwd. Er is destijds een ondergrens voor een seiche-geval aangehouden van 25 cm amplitude. Aangezien het onderzoek van De Jong gericht was op het bestuderen van de opwekking van de seiches was dit een logische keuze. Door het stellen van een ondergrens in de amplitude worden twijfelgevallen op een eenvoudige manier uitgesloten. Voor het bepalen van de seiche-statistiek in de huidige studie kan het echter van belang zijn om ook gevallen met een kleinere amplitude op te nemen in de analyse. Er is daarom voor het totale tijdsinterval geen a-priori ondergrens aangehouden van een seiche-amplitude. Daarentegen is uitgegaan van alle seiche-gevallen die detecteerbaar waren in de wavelet-spectra.



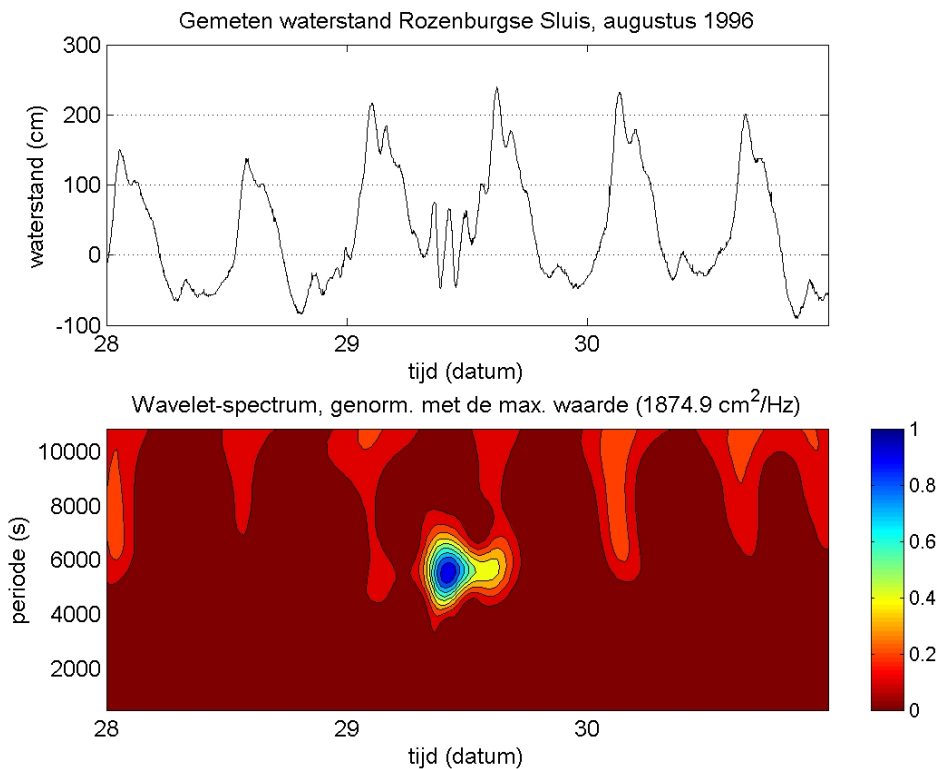
Figuur 3: Voorbeeld van een waterstandsmeting inclusief een seiche-geval bij meerdere eigenperioden (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).

Merk op dat het bepalen van tijdintervallen met seiches geen triviale zaak is, ondanks de grote verschillen tussen de dominante tijdschaal van de seiches (60-100 minuten) en die van de getijbeweging (12 uur). Dit is het gevolg van getijcomponenten bij ROZ die de energieniveaus in de seiche-frequentieband van Rotterdam kunnen beïnvloeden of die in de tijdreeksen het karakter lijken te hebben van seiches, zoals aggers (een fluctuatie in de waterstand bij laagwater). Deze laatste treden op als gevolg van niet lineaire effecten, zoals hogere harmonischen van het getij, die worden opgewekt door de beperkte diepte. Het is duidelijk dat er goed onderscheid gemaakt moet worden tussen deze getij-effecten en de daadwerkelijke seiche-gevallen. In de volgende paragraaf worden enkele karakteristieke voorbeelden beschreven om het bovenstaande te illustreren.

4.1.2 Voorbeelden van wavelet-spectra

Seiche-gevallen

Een uitgesproken voorbeeld van een tijdreeks met een seiche-geval (1.3 m top-dalhoogte) staat in Figuur 4. In het getoonde wavelet-spectrum (onderste paneel) is duidelijk het seiche te herkennen aan de piek in energie rond een eigenperiode van het Calandkanaal (90 minuten, 5400 s). Daarnaast zijn andere, lagere en langgerekte pieken in het spectrum te zien, bij grotere tijdschalen. Dit is een getij-effect, waardoor met een interval van ca. 12 uur pieken optreden in het wavelet-spectrum. Merk op dat dit een uitgesproken voorbeeld is en dat er in dit geval duidelijk onderscheid gemaakt kan worden tussen seiches en andere fenomenen. In sommige andere gevallen was het onderscheid in de tijdreeks minder eenvoudig te maken en is een wavelet-spectrum gebruikt om de mogelijkheid van een seiche nader te beschouwen.



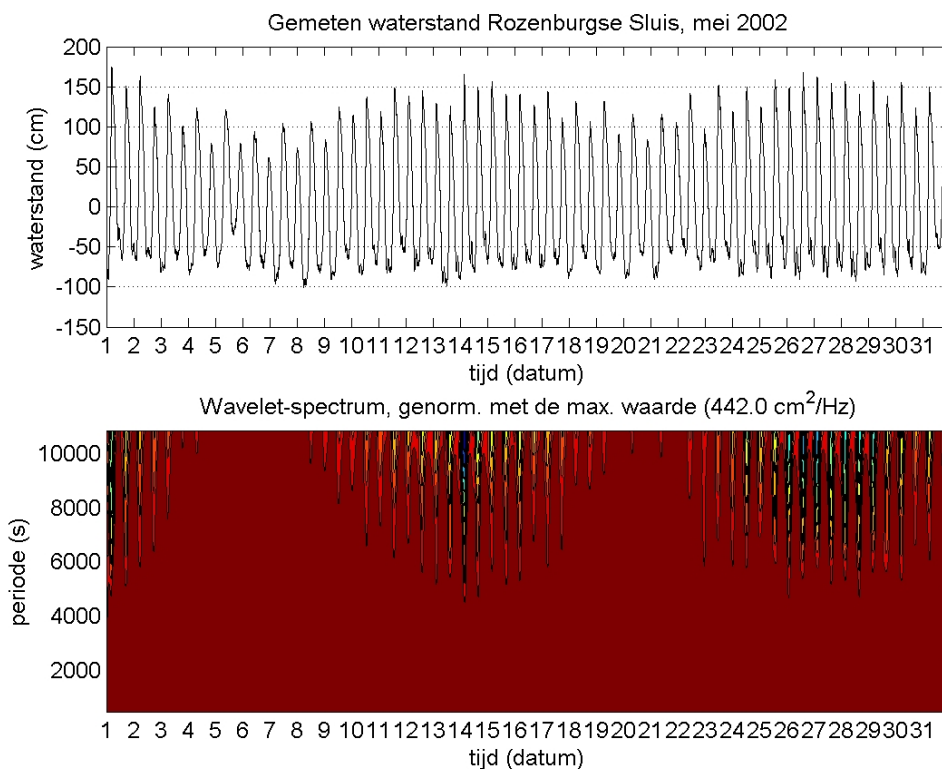
Figuur 4: Voorbeeld van een tijdreeks met seiche-geval (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).

Uitblijven van seiche-gevallen en de invloed van het getij

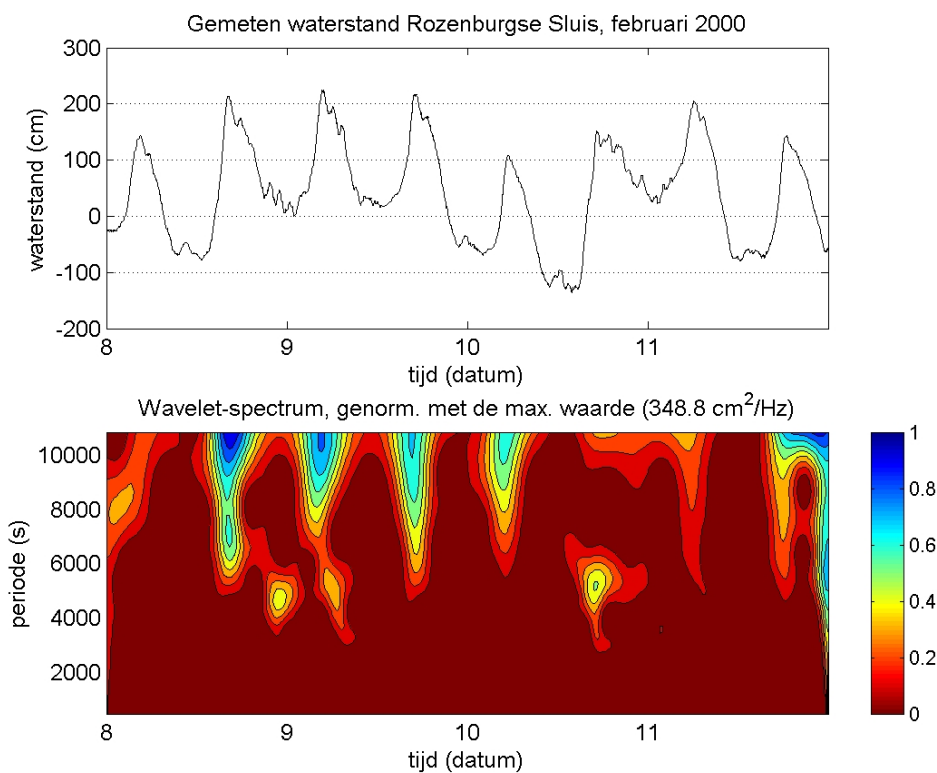
De invloed van het getij kan verder worden geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld op basis van een maand waarin geen seiche-geval is opgetreden (veelal de maanden mei t/m juli). Een voorbeeld van een dergelijke situatie (mei 2002) staat in Figuur 5. De toe- en afname van de invloed van het getij in het beschouwde frequentiebereik als gevolg van de spingtij-doodtijcyclus is in het wavelet-spectrum te zien: de invloed neemt langzaam toe tot springtij (bijvoorbeeld vanaf 6 mei t/m 14 mei) en neemt vervolgens langzaam af tot doodtij (bijvoorbeeld vanaf 14 mei tot 21 mei). Het ontbreken van seiche-gevallen is in dit voorbeeld duidelijk: er treden geen aanvullende (losse) pieken op rond de eigenperioden van het Calandkanaal. Dit is verder onderbouwd door het verloop van de tijdreeks te beschouwen.

Gevallen met relatief kleine amplituden

In Figuur 6 staat een voorbeeld van een wavelet-spectrum met daarin seiche-gevallen die in het promotieonderzoek van De Jong niet zijn beschouwd, maar nu wel worden opgenomen in het overzicht van seiche-gevallen. Rond middernacht van 8 op 9 februari en in de tweede helft van 11 februari treedt een seiche-geval op. Door de relatief kleine amplituden van deze gevallen is de invloed van de getij-effecten in het genormaliseerde wavelet-spectrum relatief groot (vergelijk Figuur 4 met Figuur 6). Desondanks geeft dit voorbeeld aan dat deze seiche-gevallen, met relatief kleine amplitude, in veel gevallen goed geïdentificeerd kunnen worden op basis van degelijke wavelet-spectra.



Figuur 5: Voorbeeld van een maand waterstandgegevens zonder seiche-gevallen (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).

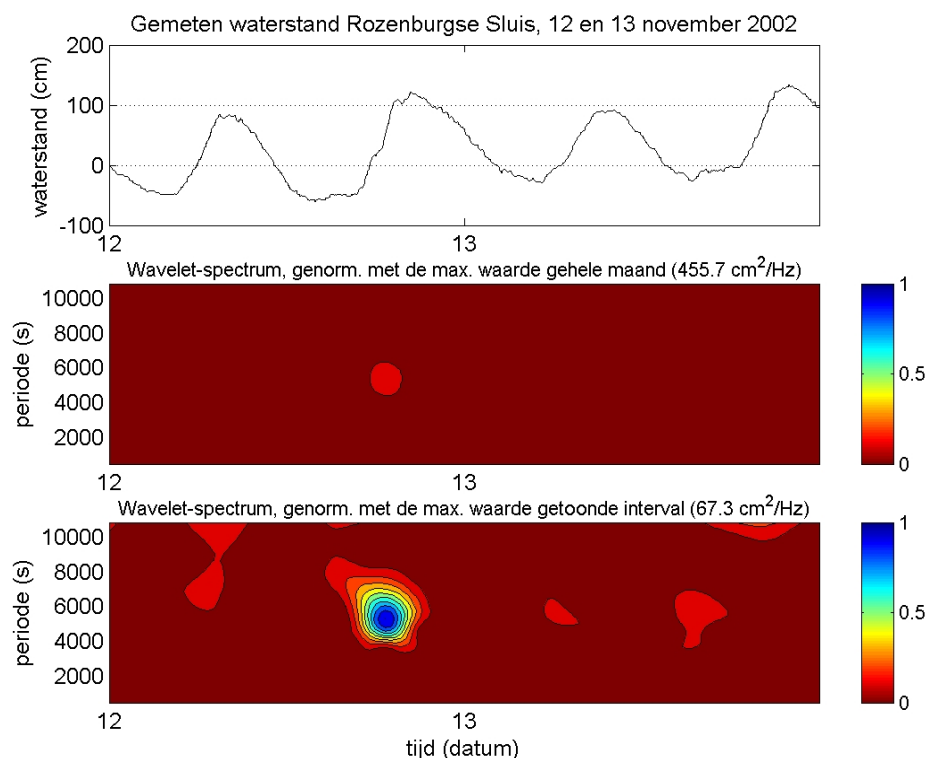


Figuur 6: Voorbeeld van een tijdreeks met seiche-gevallen met een relatief lage amplitude (boven) en het bijbehorende wavelet-spectrum (onder).

Twijfelgevallen

In een aantal gevallen laat het wavelet-spectrum niet direct een uitgesproken piek zien, terwijl in de tijdreeks van de waterstand wel mogelijke seiches te zien zijn. Andersom komt dit ook voor: het wavelet-spectrum laat soms een kleine piek nabij een eigenperiode zien, maar in de tijdreeks is niet direct een duidelijke waterstandfluctuatie te zien. In veel van deze ‘twijfelgevallen’ is dit het gevolg van het normaliseren van de spectra met de maximale waarde van de gehele maand.

In Figuur 7 staat een voorbeeld van de laatstgenoemde situatie, waarbij de tijdreeks in eerste instantie geen uitgesproken fluctuatie laat zien en er toch een seiche geïdentificeerd kan worden op basis van het wavelet-spectrum. In het bovenste paneel van deze figuur staat de tijdreeks van de gemeten waterstand op 12 en 13 november 2002. In het middelste paneel staat een deel van het totale spectrum van deze maand, inclusief normering op basis van de maximale waarde voor de gehele maand. In het onderste paneel is ‘ingezoomd’ op deze twee dagen en is de maximale waarde voor dit interval gebruikt. Op deze manier kan het optreden van een seiche (met in dit geval een amplitude van 15 cm) worden geverifieerd.



Figuur 7: Voorbeeld twijfelgeval.

4.2 Geïdentificeerde seiche-gevallen

Op basis van de visuele controle van de tijdreeksen en de resultaten van de wavelet-spectra is een overzicht gemaakt van de geïdentificeerde seiche-gevallen van januari 1989 t/m maart 2004. Dit overzicht is opgenomen in Appendix B. Een globale start- en eindtijd is per geval bepaald op basis van een visuele inspectie van de tijdreeksen. De top-dalwaarde van de seiches is afgeleid uit de tijdreeksen, eventueel onderbouwt met gefilterde tijdreeksen. Voor

de amplitude is de halve top-dalwaarde aangehouden (zoals in eerdere studies door Janssen, 1994, 1995).

Merk op dat de in Appendix B opgenomen lijst een ‘ruw’ overzicht geeft van seiche-gevallen. Voor een statistische analyse zouden gevallen die relatief snel na elkaar optreden (bijvoorbeeld binnen een venster van 48 uur) als één geval opgenomen kunnen worden, waarbij alleen de maximale amplitude wordt opgenomen in het overzicht. Verwacht wordt dat dit resulteert in een lijst met strikt onafhankelijke gebeurtenissen. Een dergelijke aanpak is ook toegepast door Janssen (1994, 1995).

Bovendien kan gekozen worden voor een ondergrens van de seiche-amplitude. In het promotieonderzoek van De Jong en voorgaande studies van RIKZ (zie bijvoorbeeld Vogel *et al.*, 1988) is een ondergrens van 25 cm aangehouden. Op basis van het overzicht van seiche-gevallen zou een soortgelijke waarde bepaald/ingeschat kunnen worden. Op deze manier kunnen de twijfelgevallen, welke overwegend een relatief kleine amplitude hebben, worden vermeden.

5 Consistentie van de gegevens

5.1 Inleiding

Zoals in Hoofdstuk 1 al aangegeven werd, zijn de nieuwe seiche-gegevens alleen geschikt om op te nemen in de seiche-statistiek als deze data consistent zijn. De aanpassingen aan de Beerdam breken de totale reeks met seiche-gevallen en bijbehorende amplituden op in drie deelreeksen: 107, 17 en 59 maanden, overeenkomend met respectievelijk geen openingen in de Beerdam, één opening en twee openingen in de Beerdam. Deze aanpassingen kunnen er mogelijk voor zorgen dat het gedrag van de seiches significant anders is voor deze deelreeksen. Indien dit daadwerkelijk het geval is, dan kunnen niet alle gegevens opgenomen worden in de seiche-statistiek. Door Rijkswaterstaat RIKZ is de verwachting uitgesproken (zie ook de offerteaanvraag met kenmerk RIKZ/2004/06318) dat de aanpassingen geen significante veranderingen in de seiche-karakteristieken in het Europoortgebied heeft veroorzaakt. Numeriek is het effect van één of twee openingen in de Beerdam al eerder geanalyseerd (zie bijvoorbeeld Veldman, 1993 en Van den Bosch en Veldman, 1995). Deze studies tonen aan dat er lokaal significante veranderingen optreden in het seiche-gedrag in de bekkens nabij de Beerdam, maar dat de openingen weinig invloed hebben op de dominante seiche-karakteristieken van het Calandkanaal.

In dit hoofdstuk wordt de consistentie van de gegevens geverifieerd op basis van de twee langste deelreeksen (het deel zonder openingen en het deel met twee openingen in de Beerdam). Indien deze langere tijdreeksen consistent blijken te zijn, dan wordt aangenomen dat ook de gegevens die verkregen zijn in het tussengelegen tijdinterval consistent zijn.

5.2 Beschrijvende statistische kentallen

5.2.1 Vergelijking deelreeksen op basis van statistische kentallen

De voorwaarde van consistente deelreeksen komt overeen met de eis dat de gegevens in de deelreeksen uit dezelfde statistische verdeling afkomstig moeten zijn. De meest eenvoudige manier om dit te controleren is het bepalen van beschrijvende statistische parameters voor beide deelreeksen en deze te vergelijken.

Van de totale deelreeksen (zonder een drempelwaarde voor te schrijven voor de seiche-amplituden) is het gemiddelde en de standaarddeviatie bepaald. Daarnaast is de scheefheid van de verdelingen beschouwd op basis van de scheefheid (*skewness*) en op basis van kwantielen (25%, 50% ofwel de mediaan, 75%). Een aanvullende vergelijking op basis van de maximale waarde per deelinterval wordt in dit geval als ongeschikt gezien omdat verwacht wordt dat deze veel variatie kan vertonen als gevolg van het relatief kleine aantal waarden per deelinterval (ook al is er geen sprake inconsistente gegevens). Tabel 1 geeft een overzicht van de verkregen resultaten.

De waarden in Tabel 1 laten over het algemeen een opvallende overeenkomst zien. Afgezien van enkele parameters zijn de statistische kentallen van de deelreeksen nagenoeg gelijk. Daarom onderbouwen deze resultaten de aanname dat de invloed van de openingen in de Beerdam beperkt is en dat de data dus consistent zijn.

Alle gevallen	reeks tot openingen	reeks vanaf openingen
aantal gevallen	98	54
duur tijdreeks (maanden)	107	59
gem. aantal per maand	0.92	0.92
gem. aantal per jaar	11	11
gemiddelde amplitude (cm)	31	31
standaarddeviatie (cm)	15	13
skewness	1.09	0.85
25% kwantiel (cm)	20	20
mediaan (cm)	30	28
75% kwantiel (cm)	36	40

Tabel 1: Overzicht beschrijvende statistische parameters deelreeksen (zonder drempelwaarde voor de seiche-amplituden).

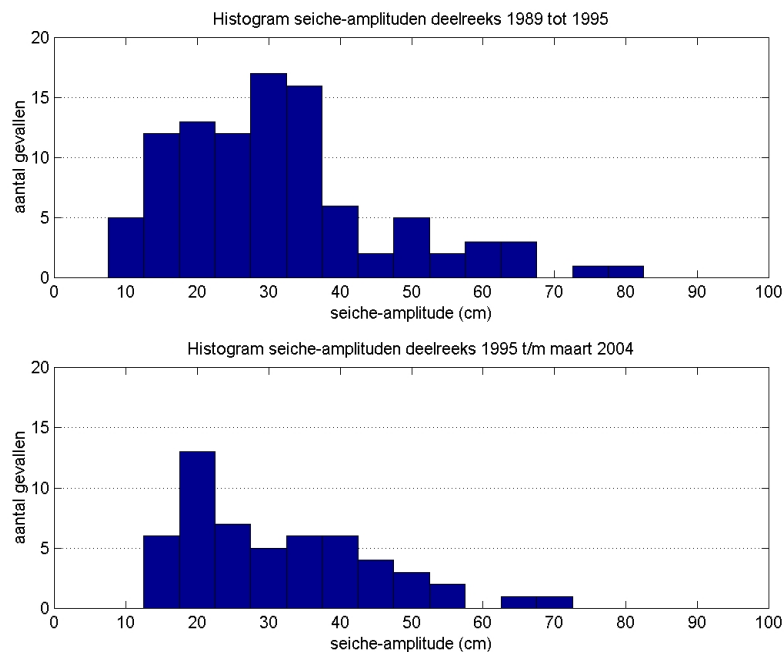
Opvallend is dat het verschil voor de skewness relatief groot is (dit volgt ook uit de waarden van de kwantielen). Uiteraard kunnen verschillen in de parameters ‘bij toeval’ gevonden worden omdat de beschouwde tijdintervallen beperkt zijn. Een mogelijke andere verklaring van dit verschil kan wellicht gevonden worden in het verschil in kwaliteit van de twee typen meetgegevens waaruit de deelreeks van voor de openingen in de Beerdam afkomstig is (de reeks van na de openingen is alleen afkomstig uit data met de nieuwe opmaak). Mogelijk dat door de relatief slechte kwaliteit van de eerste jaren van de dataset (tot 1995) minder seiche-gevallen geïdentificeerd kunnen worden met een relatief lage amplitude. In een beknopte test op basis van alleen gegevens met de nieuwe opmaak, waarin voor de deelreeks van voor de openingen in de Beerdam dus alleen seiche-amplituden zijn opgenomen vanaf 1995, wordt een veel betere overeenkomst gevonden tussen de skewness van beide deelreeksen. Dit is niet verder onderzocht. Toch is dit een aanwijzing dat de minder goede overeenkomst voor wat betreft de skewness niet noodzakelijkerwijs hoeft te betekenen dat de data inconsistent zijn in de zin dat de seiche-response van het Calandkanaal, het fysische proces, door het aanbrengen van de openingen in de Beerdam significant veranderd is. (In het verleden uitgevoerde numerieke studies, zoals Veldman 1993, gaven aan dat de invloed van de openingen in de Beerdam op het seiche-gedrag bij ROZ gering is.)

De histogrammen van de deelreeksen zijn weergegeven in Figuur 8. Het bovenste paneel geeft het histogram weer van het deelinterval voor de aanpassingen aan de Beerdam en het onderste deel toont het histogram voor de deelreeks na de aanpassingen. In de histogrammen is ook het verschil in de scheefheid van de verdelingen zichtbaar.

5.2.2 Vergelijking met resultaten uit voorgaande studies

Om een vergelijking te kunnen maken met voorgaande studies naar seiche-gevallen bij ROZ, zijn dezelfde parameters bepaald voor de deelreeksen, alleen nu voor gevallen met een minimale amplitude van 25 cm. De resultaten hiervan staan in Tabel 2.

De verschillen tussen de waarden van de statistische parameters zijn in dit geval soms groter, maar de algehele overeenkomst is nog steeds redelijk (opnieuw is het verschil het grootst voor de skewness). Het aantal gemiddelde gevallen per maand komt overeen met de waarde die in het promotieonderzoek van De Jong is gevonden (gemiddeld 0.58 gevallen per maand, 7 gevallen per jaar).



Figuur 8: Histogrammen van de reeksen met seiche-amplituden.

Gevallen met ampl. > 25 cm	reeks tot openingen	reeks vanaf openingen
aantal gevallen	61	30
duur tijdreeks (maanden)	107	59
gem. aantal per maand	0.57	0.51
gem. aantal per jaar	6.8	6.1
gemiddelde amplitude (cm)	39	40
standaarddeviatie (cm)	13	11
skewness	1.4	0.9
25% kwantiel (cm)	31	34
mediaan (cm)	34	39
75% kwantiel (cm)	47	47

Tabel 2: Overzicht beschrijvende statistische parameters deelreeksen, amplitude > 25 cm.

5.3 Run-test

5.3.1 Beknopte omschrijving run-test

De in Paragraaf 5.2 omschreven kentallen geven een goed beeld van de kenmerken van de deelreeksen met seiche-amplituden. Tot zover is de controle van consistentie beperkt gebleven tot een globale inschatting op basis van deze parameters. Om deze controle beter te onderbouwen is een aanvullende, statistische test uitgevoerd op de deelreeksen. De formeel te toetsen hypothese is dat beide deelreeksen uit dezelfde verdeling afkomstig zijn.

Voor de controle van de hypothese is gekozen voor het uitvoeren van een *run-test*. Deze test is speciaal geschikt is voor het verifiëren van de consistentie van twee deelreeksen. Een voordeel van deze methode is dat het een non-parametrische test is, dat wil zeggen dat de test niet af hangt van de verdeling van de deelreeksen (die in dit geval juist onbekend is).

Voor de test worden de beide reeksen samengevoegd en gesorteerd op toenemende hoogte. Hierbij wordt bijgehouden welke waarden uit welke reeks afkomstig zijn. Een *run* is gedefinieerd als een aaneengesloten deel in deze gesorteerde, totale reeks dat bestaat uit waarden uit één deelreeks. Runs uit beide delen staan dus om en om in de gesorteerde reeks (waarbij een run ook de lengte kan hebben van één getal). Indien de data van de deelreeksen uit dezelfde verdeling afkomstig zijn, dan zullen de waarden goed verdeeld/gemixt zijn en moeten dus relatief veel van deze runs worden gevonden.

Voor een gegeven kans (α) op het onterecht verwerpen van de nulhypothese (een *Type I fout*) kan een kritische, minimaal benodigde waarde van het aantal runs worden bepaald (zie bijvoorbeeld Mood, 1983). Deze minimale waarde voor het aantal runs is afhankelijk van het aantal waarden in de deelreeksen ten opzichte van het totale aantal waarden. Indien het aantal runs in de waargenomen reeks boven de kritische waarde ligt dan wordt de hypothese geaccepteerd.

5.3.2 Resultaten run-test

Voor de testen is gebruik gemaakt van $\alpha = 0.05$ (5% kans op het onterecht verwerpen van de hypothese). De run-test is uitgevoerd voor de gehele deelreeksen en voor deelreeksen met een ondergrens voor de seiche-amplitude. Een overzicht met de resultaten staat in Tabel 3.

parameter selectie gevallen	aantal waarden in eerste deelreeks	aantal waarden in tweede deelreeks	aantal runs waargenomen in gecombineerde reeks	kritische waarde op basis van α	resultaat run-test
alle gevallen	98	54	53 < 61	61	FALSE
ampl. ≥ 20 cm	74	43	42 < 47	47	FALSE
ampl. ≥ 25 cm	61	30	36 > 34	34	TRUE
ampl. ≥ 30 cm	48	25	30 > 28	28	TRUE

Tabel 3: overzicht resultaten run-test.

De resultaten van de test geven aan voor hogere drempelwaarden (vanaf 25 cm) de hypothese wordt geaccepteerd. Dit betekent dat, afgaande op de resultaten deze test (inclusief de bijbehorende waarde voor α), de reeksen afkomstig uit dezelfde verdeling en dus consistent.

De hypothese wordt verworpen voor reeksen waarbij geen, of een lage drempelwaarde van de seiche-amplitude wordt gebruikt. Opnieuw kan dit wellicht verklaard worden door het verschil in kwaliteit van de gegevens en de mogelijkheid om seiche-gevallen met relatief lage amplitude te identificeren. Het selecteren van seiche-amplituden op basis van alleen meetgegevens vanaf 1995 heeft tot gevolg dat de hypothese, naast voor de hogere drempelwaarden, ook voor een drempelwaarde van 20 cm wordt geaccepteerd. Indien geen drempel wordt toegepast, dan wordt op basis van deze data de hypothese nog steeds verworpen, maar het verschil tussen het waargenomen aantal runs en de kritische waarde is kleiner.

De hierboven omschreven resultaten kunnen mogelijk ook worden beïnvloed door het feit dat alle geïdentificeerde gevallen zijn opgenomen in de deelreeksen, terwijl in voorgaande studies, vanwege onafhankelijkheid, alle gevallen binnen 48 uur als één geval beschouwd zijn. Dit effect blijkt beperkt: een beknopte test op basis van een op deze manier gereduceerde dataset laat gelijke resultaten zien voor wat betreft het aannemen van de hypothese als in de originele aanpak zoals in Tabel 3 omschreven.

Een ander element dat de resultaten kan beïnvloeden is het feit dat de deelreeksen veelal bestaan uit meerdere keren dezelfde waarde. Dit is het gevolg van het bepalen van de amplitude als de helft van de top-dalwaarde en het vervolgens afronden van de seiche-amplitude op gehele cm's (ook de nauwkeurigheid van de gemeten waarden). Door het gebruik van de gemeten top-dalwaarden wordt dit probleem grotendeels vermeden. De invloed van het gebruik van afgeronde waarden voor de seiche-amplituden blijkt beperkt te zijn: de resultaten van een beknopte test op basis van top-dalwaarden laten een beter resultaat zien voor de deelreeksen, waarin ook de lagere seiche-gevallen zijn opgenomen, maar de algehele conclusie of de hypothese aangenomen wordt (beschreven in Tabel 3) blijft onveranderd.

6 Samenvatting en conclusies

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de conclusies en aanbevelingen die uit dit onderzoek naar voren zijn gekomen. Na een toelichting per onderzoeksonderdeel (Paragraaf 6.2 t/m 6.4) wordt in Paragraaf 6.5 een puntsgewijs overzicht gegeven van de conclusies en aanbevelingen van deze studie.

6.2 Voorbereiden meetgegevens Rozenburgse Sluis

Voor deze studie zijn meetgegevens van 30 januari 1989 t/m 31 maart 2004 verwerkt. De data van voor 1995 waren beschikbaar in een andere opmaak dan de gegevens vanaf 1995. Voor beide delen zijn afzonderlijke routines gebruikt om de gegevens in te lezen, de gaten te identificeren en op te vullen door lineaire interpolatie.

De kwaliteit van de gegevens vanaf 1995 bleek veel hoger te zijn dan die van de gegevens van eerdere jaren. In de oudere data zitten veel scherpe, fysisch onrealistische pieken ('spijkers'). Bovendien zijn er delen die in zijn geheel zijn verschoven, wellicht omdat de referentiewaarde (*offset*) van het meetinstrument tijdelijk niet juist afgesteld stond. De scherpe pieken zijn over het algemeen geen probleem voor de wavelet-spectra, maar de delen met de verkeerde offset verstoren wel de resultaten. Het maken van een softwarepakket dat deze intervallen met verkeerde data detecteert en invult met dummywaarden is een groot project op zich en levert geen toegevoegde waarde voor dit seiche-onderzoek. In plaats daarvan is gekozen voor een meer intensieve analyse van bruikbare delen van de data. Hiervoor is de totale tijdreeks visueel geïnspecteerd, ondersteund met aanvullende informatie uit wavelet-spectra. Vervolgens is in de tijdreeksen en in de wavelet-spectra 'ingezoomd' op correcte delen die mogelijk een seiche konden bevatten.

Uiteindelijk zijn alle gegevens ingelezen en omgezet naar tijdreeksen per jaar. In deze reeksen zijn de gaten opgevuld. Vervolgens zijn de tijdreeksen opgedeeld in maanden voor verdere analyse.

6.3 Bepalen seiche-amplituden

Wavelet-spectra van de gehele tijdreeks (opgedeeld in maanden) zijn gebruikt voor het identificeren van seiche-gevallen. Hierbij is ook een visuele inspectie van de tijdreeksen gemaakt. Wavelet-spectra leveren informatie over de verdeling van energie over de frequenties (tijdschalen) en het verloop van deze verdeling in de tijd. Gezien het episodische, niet-stationaire karakter van de seiches is deze methode uitermate geschikt voor het analyseren van dit fenomeen.

Een deel van de dataset die gebruikt is in de huidige studie is reeds gecontroleerd op seiches door De Jong (2004). Deze gegevens zijn opnieuw beschouwd aangezien het voor het

bepalen van betrouwbare seiche-statistiek van belang kan zijn om ook de kleinere seiche-amplituden op te nemen. Met behulp van de wavelet-spectra zijn nu aanvullende gevallen geïdentificeerd met een beperkte amplitude (onder de drempel die aangehouden is in het proefschrift van De Jong).

In totaal zijn 177 seiche-gevallen geïdentificeerd. Indien een identieke drempelwaarde wordt aangehouden voor de seiche-amplitude als in het proefschrift van De Jong, dan wordt in deze studie een gemiddeld aantal seiche-gevallen per jaar gevonden (gemiddeld ca. 6.6 gevallen per jaar) dat ongeveer gelijk is aan de waarde die gevonden werd tijdens het promotiewerk van De Jong (gemiddeld ca. 7 gevallen per jaar).

De in de huidige studie verkregen lijst met seiche-gevallen kan gezien worden als een ruwe verzameling van seiche-amplituden. Om onafhankelijke seiche-gevallen op te nemen in de seiche-statistiek moet de ruwe lijst met seiche-gevallen worden aangepast zodat gevallen die opgetreden zijn binnen bijvoorbeeld 48 uur als één geval worden gezien (maximale amplitude wordt opgenomen). Bovendien zou een drempelwaarde van de seiche-amplitude gehanteerd moeten worden om eventuele twijfelgevallen uit te sluiten (eventueel ook vanuit het oogpunt van consistentie, zie Paragraaf 6.4). Dit zijn betrekkelijk eenvoudige bewerkingen die, na een onderbouwde keuze, bij aanvang van het vervolg van deze studie uitgevoerd kunnen worden.

6.4 Bepalen mate van consistentie gegevens

De nieuw verkregen gegevens kunnen alleen worden gebruikt voor het bepalen van seiche-statistiek indien de data consistent zijn. Dit wil zeggen dat de seiche-karakteristieken van de haven constant moeten zijn gebleven en nog steeds op moeten gaan voor de huidige situatie. Door aanpassingen in de haven gedurende het beschouwde tijdsinterval is het mogelijk dat dit niet meer het geval is. Door Rijkswaterstaat RIKZ is de verwachting uitgesproken dat de invloed van de aanpassingen in de haven lay-out beperkt is en dat de data dus consistent zijn. Deze verwachting is geverifieerd.

De eis dat de gegevens consistent moeten zijn komt overeen met de voorwaarde dat de waarden in de deelreeksen voor en na de aanpassingen aan de haven lay-out uit dezelfde verdeling afkomstig zijn. Dit is gecontroleerd door het bepalen van beschrijvende statistische kentallen (zoals het gemiddelde en de standaarddeviatie) voor de deelreeksen van voor en na de aanpassingen. De algehele overeenkomst van de voor deze parameters bepaalde waarden was goed, wat impliceert dat de data consistent zijn. Alleen de scheefheid van de verdelingen van de afzonderlijke deelreeksen kwam minder goed overeen. Dit is wellicht het gevolg van het minder nauwkeurig kunnen bepalen van seiche-gevallen met een relatief kleine amplitude in het oudere deel van de gegevens, dat van veel mindere kwaliteit is dan de meer recente gegevens. Dit wordt onderbouwd door een test waarin alleen nieuwe gegevens zijn gebruikt. In dat geval is de overeenkomst in de scheefheid van de deelreeksen veel beter. Dit is een aanwijzing dat de minder goede overeenkomst voor wat betreft de skewness niet noodzakelijkerwijs hoeft te betekenen dat de data inconsistent zijn in de zin dat de reactie van de haven, het fysische proces, door het aanbrengen van de openingen in de Beerdam veranderd is. Dit laatste wordt bevestigd door eerder gemaakte studies waarin met een numeriek model de invloed van de openingen in de Beerdam is beschouwd (zie bijvoorbeeld Veldman, J.J., 1993).

Op basis van de statistische kentallen kan dus geconcludeerd worden dat de data consistent zijn, in het bijzonder als de deelreeksen opgebouwd zijn uit gevallen met een relatief hoge amplitude. Om deze conclusie verder te verifiëren is een statistische test uitgevoerd. Een zogenaamde *run-test* is toegepast op de deelreeksen. In het kort kan deze test beschreven worden als een controle op de verwevenheid van de waarden uit de twee deelreeksen. Hiervoor worden de deelreeksen samengevoegd en worden de waarden op oplopende grootte gesorteerd. Indien de deelreeksen uit dezelfde verdeling afkomstig zijn, dan moeten de waarden uit beide deelreeksen goed gemixt zijn. Ook deze test geeft aan dat juist voor de deelreeksen die opgebouwd zijn uit gevallen met een relatief hoge amplitude (> 25 cm) de hypothese geaccepteerd wordt en dat de data dus als consistent gezien kunnen worden.

In een vervolgonderzoek kunnen de nieuw verkregen gegevens dus gebruikt worden voor het aanvullen van seiche-statistiek. Daarbij is het van belang dat niet alleen de consistentie van deze gegevens gewaarborgd is, maar dat zij ook consistent zijn ten opzichte van de oude gegevens. Daarom zal, voorafgaand aan het opnemen van deze gegevens in de seiche-statistiek, ook de consistentie van de complete dataset beschouwd moeten worden.

6.5 Puntsgewijs overzicht conclusies en aanbevelingen

Dataverwerking

- De oudere meetgegevens van Rozenburgse Sluis (tot 1995) hebben een verschillende opmaak ten opzichte van meer recentere gegevens. Beide typen bestanden zijn ingelezen en verwerkt.
- De meetgegevens verkregen voor 1995 zijn van aanzienlijk mindere kwaliteit dan de gegevens die vanaf 1995 zijn verkregen.
- Door ‘in te zoomen’ op goede delen uit de tijdreeksen van voor 1995 is het toch mogelijk gebleken om ook deze oudere meetgegevens te gebruiken in deze studie.

Identificeren seiche-gevallen

- Wavelet-spectra van de tijdreeksen, in combinatie met een visuele inspectie van de reeksen zijn gebruikt voor het identificeren van seiche-gevallen. Door deze beide bronnen van informatie gelijktijdig te gebruiken is het goed mogelijk gebleken om het optreden van seiches te identificeren en tegelijkertijd andere fenomenen, zoals getij-invloeden, uit te sluiten.
- Er is geen a-priori drempelwaarde voor de seiche-amplitude gebruikt, hetgeen geresulteerd heeft in het identificeren van 177 seiche-gevallen (in ca. 15.5 jaar).
- Voor verdere statistische verwerking wordt aanbevolen om:
 - een drempelwaarde aan te houden voor de seiche-amplitude (alleen gevallen met een hogere amplitude worden opgenomen in de seiche-statistiek);
 - gevallen die binnen één dag of binnen 48 uur zijn opgetreden te beschouwen als één geval (maximale amplitude wordt gebruikt) om zo strikt onafhankelijke gevallen over te houden.

Consistentie van de gegevens

- Voor het controleren van de consistentie van de gegevens zijn statistische kentallen bepaald voor de reeksen van amplituden van seiche-gevallen die opgetreden zijn voor en na het aanbrengen van de twee openingen in de Beerdam. De kentallen van deze beide reeksen laten een redelijke overeenkomst zien. Dit geeft aan dat de gegevens consistent zijn.
- Het verschil in de scheefheid van de verdelingen van de deelreeksen is minder groot indien alleen gevallen uit de nieuwe gegevens (vanaf 1995) worden beschouwd. Verwacht wordt dat juist in de oudere gegevens, met mindere kwaliteit, minder seiche-gevallen geïdentificeerd kunnen worden met een relatief kleine amplitude. Het verschil in scheefheid hoeft dus niet noodzakelijkerwijs te duiden op inconsistente data.
- Om de consistentie van de data verder te verifiëren is een aanvullende statistische test, een zogenaamde *run-test* uitgevoerd. Deze test is uitgevoerd voor deelreeksen zonder en met toenemende drempelwaarde voor de seiche-amplitude. Voor de reeksen boven een specifieke drempelwaarde (25 cm, gelijk aan voorgaande seiche-studies voor ROZ) geven ook de resultaten van deze test aan dat de gegevens consistent zijn. De resultaten van een test die gebaseerd was op alleen nieuwe gegevens (vanaf 1995) gaf al bij een lagere drempelwaarde dat de data als consistent beschouwd kunnen worden.
- De bovenstaande resultaten geven aan dat de reeks met amplituden van de seiche-gevallen van 1989 t/m 2004 als consistent kunnen worden gezien. Indien in een vervolgstudie deze nieuw verkregen gegevens worden toegevoegd aan de bestaande dataset dan moet ook de consistentie van deze beide reeksen (1971-1983 en 1989-2004) beschouwd worden.

Referenties

- Bosch, Van den P. en J.J. Veldman (1995), *Europoortkering-Beerdam, seiches-berekeningen in het kader van het project: "Europoortkering met Open Beerdam"*, WL | Delft Hydraulics, Tech. Rap. H2438.
- 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. (2003). *Onderzoek karakteristieken seiches Maeslantkering, analyse van metingen met betrekking tot het vóórkomen en de voorspelbaarheid van seiches bij de Maeslantkering*. TU Delft, in opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland (Tech. rap. ZHA 23735).
- Jong, de M.P.C. (2004). *Origin and prediction of seiches in Rotterdam harbour basins*. Ph.D. Thesis. Technische Universiteit Delft, ISBN 90-9017925-9.
- Mood, A.M. et al. (1983), *Introduction to the theory of statistics*, Auckland, McGraw-Hill, 564 p.
- Veldman, J.J. (1993), *Europoortkering, seiches-berekeningen in het kader van het project "Europoortkering met open Beerdam"*, WL | Delft Hydraulics, Tech. Rep. H1409-10.
- Vogel, J.A. et al. (1988), *Statistiek seiches; Rapportage van de derde fase van het seiches-onderzoek t.b.v. een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg*. Tech. Report GWAO-88.038.

A Memo ‘quickscan’ meetgegevens

MCI-06339/H4540/MDJ

Aan: J. Andorka Gál (RIKZ)
Van: M.P.C. de Jong (WL | Delft Hydraulics)
Betreft: Memo resultaten 'quickscan' meetdata Rozenburgse Sluis
(opdrachtnummer 71029003)
Datum: 25 oktober 2004

Inleiding

De basis voor de lange termijn seichestatistiek t.b.v. de Maeslantkering is de statistiek van de seiches die gemeten worden bij de Rozenburgsesluis (ROZ). Aangezien alleen op locatie ROZ lange termijngegevens beschikbaar waren (8 jaar data is gebruikt) is ten tijde van het ontwerp van de kering de seiche-statistiek voor ROZ ‘vertaald’ naar de locatie van de kering (zie Janssen, 1994). Recentelijk is door De Jong (2003, 2004) deze vertaling geverifieerd op basis van nieuwe gegevens (waterstanden en seiches in de haven) en nieuwe inzichten (o.a. het aanbodspectrum op zee). Hieruit bleek dat een correcte vertaalfactor gebruikt was voor het vertalen van de seiche-statistiek naar de locatie van de Maeslantkering (binnen 5%, aan de conservatieve kant).

Naast de vertaling van ROZ naar de locatie van de kering kan ook de betrouwbaarheid van de seiche-statistiek op de locatie ROZ verhoogd worden. Sinds het ontwerp van de kering zijn namelijk meer meetgegevens beschikbaar gekomen in de vorm van waterstandsmetingen met een bemonsteringsinterval van 1 minuut. Op basis van deze data kunnen seiches worden bepaald die in de statistiek opgenomen kunnen worden. Hiermee zal indirect ook de betrouwbaarheid van de beschikbare seiche-statistiek voor de Maeslantkering worden verhoogd.

Vooruitlopend op een offerteaanvraag van Rijkswaterstaat, RIKZ aan WL | Delft Hydraulics heeft RIKZ in het kader van het Nautilus-Atlantis project (onderdeel DCSM) WL | Delft Hydraulics een mondelinge opdracht gegeven (bevestigd per e-mail van 7 oktober 2004) om een ‘quickscan’ te maken van de nieuw beschikbare meetgegevens. Het doel van deze quickscan is een overzicht aan te maken van de beschikbaarheid en kwaliteit van de gegevens. Daarnaast zal de bruikbaarheid van de meetdata beschouwd worden. Deze memo beschrijft de resultaten van deze quickscan.

Overzicht beschikbare data en formats

De nieuwe meetgegevens zijn beschikbaar van 1987 t/m medio 2004. Tot 1995 zijn de gegevens beschikbaar als losse bestanden per dag. Daarna zijn zij beschikbaar in de vorm van één bestand per jaar.

1987 t/m 1994

Een review van de gegevens t/m 1994 laat zien dat een aantal bestanden (dagen) ontbreken in de eerste jaren van de tijdreeks. Hieronder staat een overzicht van de ontbrekende gegevens en dagen waarop de bestanden een afwijkende bestandsgrootte hebben. Dit laatste wordt gezien als een indicatie van het ontbreken van gegevens.

Jaartal	start data	overige ontbrekende dagen	dagen met afwijkende bestands grootte
1987	6 maart	18 maart 17 t/m 20 april 1 mei 1 juni	-
1988	6 januari	1 t/m 5 feb 1 t/m 6 maart 1 t/m 5 17 t/m 20 april 1 t/m 5 mei 1 t/m 5 juni 1 t/m 5 27 t/m 31 juli 1 t/m 4 9 t/m 14 19 t/m 21 24 t/m 31 aug 1 t/m 11 23 25 26 29 sep 1 t/m 6 8 t/m 10 17 t/m 23 okt 1 t/m 5 12 t/m 14 16 27 t/m 30 nov 1 t/m 4 dec	-
1989	30 januari	31 jan 1 t/m 5 feb 2/5 maart 8/9 23 april 13 juni 9/10 dec	12 juli
1990	1 januari	26 t/m 28 jan 3/4 maart 3/4 juni 11 27 nov 9 dec	2 jan
1991	1 januari	26 t/m 28 april 26 mei 25 juli 15 sep 2 t/m 6 okt 29 dec	7 sept
1992	1 januari	-	-
1993	1 januari	15/16 mei 23 t/m 25 juli 23 aug 1 8 sep	2, 4 t/m 7 sept
1994	1 januari	23/24 juli 27 dec	27 maart, 18 sept, 10 nov (alle onbruikbaar)

In de beschikbare gegevens staan ook dummywaarden en komen tijdstippen soms meerdere keren voor (met dezelfde waterstand, voor zover nu is waargenomen). In deze quickscan is nog niet in detail gekeken naar het uiteindelijke percentage gaten/dummy's in deze data. Zij moeten daarom een nauwkeurige verwerking en kwaliteitscontrole ondergaan voorafgaand aan verdere bestudering (wellicht meer dan de data voor de jaren vanaf 1995, zie onder).

1995 t/m 2004

Voor een aantal jaren is er een overlap in beschikbare gegevens en zijn de meetwaarden in twee formats beschikbaar. Voor zover beschikbaar (vanaf 1995) wordt de voorkeur gegeven aan het nieuwe format zoals dat door het havenbedrijf is opgeslagen (één bestand per jaar).

De beschikbare bestanden zijn niet allemaal compleet. Afgaande op het totale aantal waarden in een bestand (dus dummy-waarden worden nu meegerekend als een tijdstip waarop data/informatie beschikbaar is) kan het volgende afgeleid worden:

1995, 1996: compleet
1997: januari t/m december (ca. <1% gaten)
1998: januari t/m december (ca. <1% gaten)
1999: januari t/m december (ca. <1% gaten)
2000: januari t/m december (ca. 16% gaten)
2001: augustus t/m december
2002: januari t/m december (ca. 10% gaten)
2003: januari t/m augustus
2004: januari t/m maart

De beschikbaarheid van de meetgegevens is voor veel van deze jaren dus relatief goed (uiteindelijk aantal dummy-waarden moet nog bepaald worden). In overige gevallen ontbreken enkele maanden. Het lijkt alsof er minder gegevens beschikbaar zijn dan tijdens het promotieonderzoek van De Jong (in ieder geval voor 2001, wellicht ook voor latere jaren). Bij het Havenbedrijf kan nagevraagd worden of ondertussen aanvullende gegevens beschikbaar zijn. De jaren dat gegevens in beide formats beschikbaar zijn, zijn juist jaren dat de data van het havenbedrijf (nagenoeg) compleet zijn. Eventueel nagaan of beide formats elkaar aan kunnen vullen heeft dus geen zin.

Inzetbaarheid voor vervolgstudie

De gegevens moeten worden opgeschoond. Vervolgens moeten zij worden omgezet in een format dat bruikbaar is voor de programma's waar de analyse mee wordt uitgevoerd. Voor deze verwerking zijn voor het nieuwe format (vanaf 1995) een aantal *tools* beschikbaar die in het kader van de promotie van De Jong (2004) zijn ontwikkeld. Op basis van deze tools kunnen de bestanden relatief efficiënt worden geverifieerd en klaar worden gemaakt voor verdere analyse. Hierbij valt te denken aan het toevoegen van dummy-waarden in gaten en het verwijderen van tijdstempels die meerdere keren voorkomen. Voor de oudere gegevens zal een soortgelijke, aanvullende verwerkingsroutine opgezet moeten worden.

Na verwerken van de bestanden zullen de gegevens van alle beschikbare jaren in hetzelfde aangepaste format staan. Met wavelet-analyse kunnen deze data vervolgens worden geanalyseerd. Deze analysemethode levert informatie over de verdeling van energie over de frequenties (tijdschalen) en het verloop van deze verdeling in de tijd (zie voor details over deze methode en verdere referenties De Jong, 2004).

Er moet nagegaan worden of gaten door lineaire interpolatie opgevuld zullen worden (relatief kleine gaten) of dat een andere methode ingezet zal worden. Voor de analyse zijn gaten in de data geen probleem: de wavelet-spectra worden alleen lokaal (in de tijd) beïnvloed door een gat. De onregelmatigheden in de tijdreeks kunnen weliswaar zichtbaar zijn in de wavelet-spectra, maar deze effecten kunnen duidelijk van daadwerkelijk seiche-gevallen worden gescheiden. Met behulp van deze spectra kunnen de seiches daarom efficiënt worden gedetecteerd. Indien een seiche opgetreden is dan zal deze in de spectra zichtbaar zijn als een piek in energie rond een eigenperiode van het Calandkanaal.

Conclusies

De beschikbaarheid van de meetgegevens van de waterstand bij ROZ is redelijk. Er moet rekening gehouden worden met ontbrekende dagen en overige gaten in de data (eventueel op te vullen op basis van interpolatie). Ook dubbele gegevens moeten verwijderd worden. De beschikbare data kunnen mogelijk nog aangevuld worden (voor 2001 en wellicht ook voor latere jaren) met extra gegevens van het Havenbedrijf. Eventueel kunnen ook gegevens

uit de dataset van De Jong ingezet worden. Er zal nagegaan moeten worden in hoeverre dit mogelijk is.

Uiteindelijk zullen de verwerkte meetgegevens worden gebruikt voor het detecteren van de opgetreden seiche-gevallen in de jaren 1987 t/m medio 2004. Deze gegevens vormen de basis voor het verhogen van de betrouwbaarheid van de seiche-statistiek voor de locatie Rozenburgse Sluis en, via de reeds geverifieerde vertaalslag, uiteindelijk voor de Maeslantkering.

Referenties

Janssen, J.P.F.M. (1994). *Gevoeligheid overdracht seiches voor spectrum op zee*. Tech. Rap. SVKW-TOC-94.0015, Rijkswaterstaat.

Jong, de M.P.C. (2003). *Onderzoek karakteristieken seiches Maeslantkering, analyse van metingen met betrekking tot het vóórkomen en de voorspelbaarheid van seiches bij de Maeslantkering*. TU Delft, in opdracht van Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland (Tech. rap. ZHA 23735).

Jong, de M.P.C. (2004). *Origin and prediction of seiches in Rotterdam harbour basins*. Ph.D. Thesis. Technische Universiteit Delft, ISBN 90-9017925-9.

B Overzicht alle geïdentificeerde seiche-gevallen (30 januari 1989 t/m 31 maart 2004)

volgnummer	Jaar	maand	dag	starttijd (hh:mm)	eindtijd (hh:mm)	dominante eigenperiode (min)	top-dal waarde (cm)	amplitude (cm)
1	1989	2	14	08:00	14:00	85	50	25
2	1989	2	15	14:00	18:00 (16e)	90	65	33
3	1989	3	22	18:00	08:00 (23e)	85	65	33
4	1989	8	27	10:00	08:00 (28e)	90	37	19
5	1989	10	6	00:00	08:00 (7e)	90	55	28
6	1989	10	9	02:00	18:00	90	36	18
7	1989	11	22	06:00	12:00 (23e)	50	61	31
8	1990	2	3	12:00	00:00 (4e)	95	71	36
9	1990	2	11	00:00	00:00 (12e)	95	46	23
10	1990	2	14	23:00	03:00 (15e)	75	59	30
11	1990	2	15	12:00	00:00 (16e)	95	34	17
12	1990	2	26	09:00	15:00 (27e)	95	80	40
13	1990	3	2	03:00	geen data	50-90	79	40
14	1990	3	9	05:00	18:00	75	40	20
15	1990	3	24	18:00	03:00 (25e)	60-90	82	41
16	1990	9	19	16:00	22:00	90	38	19
17	1990	9	21	02:00	14:00	100	67	34
18	1990	10	7	18:00	03:00	50	20	10
19	1990	12	4	19:00	07:00	90	57	29
20	1990	12	12	08:00	00:00	80	79	40
21	1990	12	26	15:00	06:00 (27e)	60-90	128	64
22	1991	1	9	00:00	23:00 (11e)	85	45	23
23	1991	4	16	18:00	12:00 (17e)	50	33	17
24	1991	4	22	12:00	00:00 (23e)	90	37	19
25	1991	10	17	12:00	06:00 (20e)	55	65	33
26	1991	11	9	10:00	06:00 (10e)	55-90	49	25
27	1991	11	13	18:00	00:00 (14e)	90	61	31
28	1991	12	18	02:00	09:00	85	95	48
29	1991	12	20	18:00	06:00 (21e)	100	38	19
30	1991	12	23	14:00	16:00 (24e)	95	70	35
31	1992	2	3	07:00	12:00	55	56	28
32	1992	2	16	12:00	23:00	75	98	49
33	1992	3	10	12:00	06:00 (11e)	90	55	28
34	1992	3	13	00:00	12:00 (14e)	90	65	33
35	1992	3	15	00:00	09:00	105	56	28
36	1992	3	27	04:00	18:00	50-90	61	31
37	1992	7	21	03:00	12:00	75	108	54
38	1992	10	9	06:00	03:00 (10e)	55-90	53	27
39	1992	10	15	18:00	06:00 (16e)	95	63	32
40	1992	11	2	16:00	12:00 (3e)	50-90	25	13
41	1992	11	19	12:00	14:00 (20e)	50-85	30	15

volgnummer	Jaar	maand	dag	starttijd (hh:mm)	eindtijd (hh:mm)	dominante eigenperiode (min)	top-dal waarde (cm)	amplitude (cm)
42	1992	12	2	18:00	22:00 (3e)	90-105	40	20
43	1993	1	24	12:00	22:00	85	89	45
44	1993	2	19	10:00	18:00	90	66	33
45	1993	2	21	00:00	08:00	70-90	118	59
46	1993	2	27	08:00	18:00 (28e)	55-90	71	36
47	1993	8	12	17:00	00:00	75	57	29
48	1993	9	26	03:00	15:00	50-90	32	16
49	1993	10	21	00:00	00:00 (22e)	65-90	52	26
50	1994	1	23	00:00	06:00 (24e)	90	39	20
51	1994	1	25	22:00	20:00 (26e)	85	59	30
52	1994	1	27	20:00	12:00 (28e)	50-90	62	31
53	1994	4	4	09:00	00:00 (5e)	95	76	38
54	1994	9	16	06:00	20:00	60-90	63	32
55	1994	10	3	12:00	18:00 (4e)	95	53	27
56	1994	11	13	14:00	12:00 (14e)	95	25	13
57	1994	11	27	18:00	20:00 (28e)	90	30	15
58	1995	1	1	14:00	23:00	85	164	82
59	1995	1	2	04:00	18:00	80	121	61
60	1995	1	10	00:00	18:00 (11e)	85	78	39
61	1995	1	26	14:00	06:00 (27e)	60	66	33
62	1995	2	15	14:00	00:00 (16e)	95	61	31
63	1995	2	23	12:00	00:00 (24e)	100	34	17
64	1995	3	17	18:00	00:00	80	118	59
65	1995	3	25	07:00	18:00	90	44	22
66	1995	3	27	05:00	17:00	95	132	66
67	1995	3	29	00:00	06:00	60	101	51
68	1995	4	7	15:00	03:00 (8e)	90	42	21
69	1995	6	8	06:00	22:00	90	19	10
70	1995	8	27	02:00	08:00	90	110	55
71	1995	9	27	13:00	12:00 (28e)	85	67	34
72	1995	10	1	15:00	02:00 (2e)	90	43	22
73	1995	10	17	18:00	12:00 (18e)	90	28	14
74	1995	10	19	03:00	12:00	80	24	12
75	1995	11	3	10:00	03:00 (4e)	60-100	45	23
76	1995	11	17	15:00	09:00 (18e)	50-90	149	75
77	1995	11	19	07:00	17:00	90	103	52
78	1996	2	14	00:00	10:00 (15e)	90	25	13
79	1996	2	18	06:00	21:00	90	69	35
80	1996	2	28	22:00	08:00	85	28	14
81	1996	8	29	06:00	18:00	90	130	65
82	1996	9	12	09:00	02:00 (10e)	90	74	37
83	1996	11	5	06:00	18:00 (6e)	90	37	19
84	1996	11	13	13:00	00:00 (14e)	55-90	33	17
85	1996	11	21	06:00	15:00	75	65	33
86	1996	12	29	10:00	06:00 (30e)	95	51	26
87	1997	2	10	22:00	12:00	95	40	20
88	1997	2	18	10:00	03:00 (19e)	90	68	34
89	1997	2	20	00:00	19:00	100	47	24

volgnummer	Jaar	maand	dag	starttijd (hh:mm)	eindtijd (hh:mm)	dominante eigenperiode (min)	top-dal waarde (cm)	amplitude (cm)
90	1997	3	2	12:00	18:00	90	49	25
91	1997	3	18	17:00	22:00	90	64	32
92	1997	4	3	20:00	07:00 (4e)	90	64	32
93	1997	4	5	21:00	06:00	90	94	47
94	1997	8	25	12:00	20:00	90	71	36
95	1997	8	29	03:00	09:00	75	24	12
96	1997	10	10	00:00	00:00 (11e)	80	45	23
97	1997	10	12	12:00	12:00 (14e)	80	104	52
98	1997	10	22	04:00	17:00	90	22	11
99	1997	12	25	11:00	00:00	85	28	14
100	1998	1	4	21:00	09:00 (5e)	90	45	23
101	1998	1	7	18:00	08:00 (8e)	100	35	18
102	1998	1	19	18:00	04:00 (20e)	50-80	61	31
103	1998	1	24	00:00	18:00	85	21	11
104	1998	2	3	00:00	06:00	50	58	29
105	1998	2	28	09:00	14:00	90	31	16
106	1998	3	1	09:00	12:00	55	52	26
107	1998	3	11	18:00	06:00(12e)	100	45	23
108	1998	6	6	06:00	15:00	95	26	13
109	1998	6	20	14:00	22:00	95	54	27
110	1998	9	13	14:00	03:00 (14e)	95	70	35
111	1998	10	12	15:00	00:00 (13e)	85	45	23
112	1998	10	24	20:00	00:00 (25e)	90	48	24
113	1998	10	27	06:00	18:00	95	43	22
114	1998	10	30	10:00	17:00	90	29	15
115	1998	12	4	12:00	06:00 (6e)	60-95	96	48
116	1998	12	13	00:00	12:00	90	50	25
117	1998	12	27	00:00	10:00	90	29	15
118	1999	2	5	06:00	18:00	85	123	62
119	1999	2	7	06:00	12:00 (8e)	60-90	77	39
120	1999	2	9	18:00	00:00 (11e)	80	32	16
121	1999	2	16	06:00	12:00 (17e)	100	96	48
122	1999	2	22	12:00	12:00 (23e)	80	75	38
123	1999	4	13	06:00	18:00	80	40	20
124	1999	8	14	20:00	02:00 (15e)	90	40	20
125	1999	11	5	18:00	18:00 (6e)	80-90	33	17
126	1999	11	17	18:00	09:00 (19e)	90	104	52
127	1999	12	3	06:00	00:00	80	76	38
128	1999	12	13	15:00	03:00 (14e)	80	35	18
129	1999	12	15	05:00	00:00 (16e)	65	58	29
130	1999	12	19	geen data	12:00 (20e)	95	28	14
131	1999	12	25	01:00	02:00 (27e)	95	49	25
132	2000	1	2	09:00	18:00 (3e)	90	38	19
133	2000	1	17	18:00	geen data	80	41	21
134	2000	1	30	00:00	00:00 (31e)	90	40	20
135	2000	2	8	19:00	10:00 (9e)	80	42	21

volgnummer	Jaar	maand	dag	starttijd (hh:mm)	eindtijd (hh:mm)	dominante eigenperiode (min)	top-dal waarde (cm)	amplitude (cm)
136	2000	2	10	10:00	03:00 (11e)	90	42	21
137	2000	2	16	21:00	06:00 (17e)	90	55	28
138	2000	3	1	21:00	09:00 (2e)	75	47	24
139	2000	3	14	19:00	14:00 (15e)	90	93	47
140	2000	9	6	14:00	04:00 (7e)	75	37	19
141	2000	10	30	09:00	18:00	90	91	46
142	2000	11	2	14:00	07:00 (3e)	80	33	17
143	2000	12	30	00:00	00:00 (31e)	55-90	45	23
144	2001	2	22	12:00	00:00	60-90	105	53
145	2001	4	4	16:00	22:00	90	31	16
146	2001	5	17	09:00	12:00	60	32	16
147	2001	8	26	16:00	00:00	80	54	27
148	2001	9	7	23:00	geen data	80	60	30
149	2001	9	17	19:00	01:00 (18e)	85	57	29
150	2001	11	8	18:00	22:00 (9e)	100	100	50
151	2001	11	22	05:00	12:00	80	129	65
152	2001	12	19	21:00	10:00	80	62	31
153	2001	12	22	06:00	geen data	80	89	45
154	2001	12	25	10:00	03:00 (27e)	60	81	41
155	2001	12	28	10:00	02:00(29e)	90	50	25
156	2002	2	4	00:00	09:00	100	69	35
157	2002	2	20	geen data	03:00 (21e)	95	78	39
158	2002	2	22	geen data	15:00 (24e)	90	83	42
159	2002	3	9	04:00	12:00	80	38	19
160	2002	9	22	10:00	18:00	90	75	38
161	2002	10	25	20:00	03:00 (26e)	90	41	21
162	2002	11	12	16:00	22:00	90	29	15
163	2003	1	28	15:00	geen data	80	79	40
164	2003	4	2	08:00	20:00 (3e)	60-90	68	34
165	2003	6	19	21:00	03:00	95	68	34
166	2003	6	23	03:00	12:00	100	36	18
167	2003	9	22	17:00	03:00 (23e)	95	69	35
168	2003	10	5	05:00	12:00	90	45	23
169	2003	10	7	02:00	06:00 (8e)	80	87	44
170	2003	11	3	03:00	00:00 (4e)	60	40	20
171	2003	12	6	05:00	12:00	80	46	23
172	2003	12	14	21:00	00:00 (16e)	80	105	53
173	2003	12	21	21:00	12:00	60	136	68
174	2004	1	28	18:00	18:00 (29e)	95	68	34
175	2004	2	8	00:00	08:00 (9e)	75	95	48
176	2004	2	22	12:00	21:00 (22e)	60	68	34
177	2004	2	25	04:00	12:00 (26e)	90	40	20