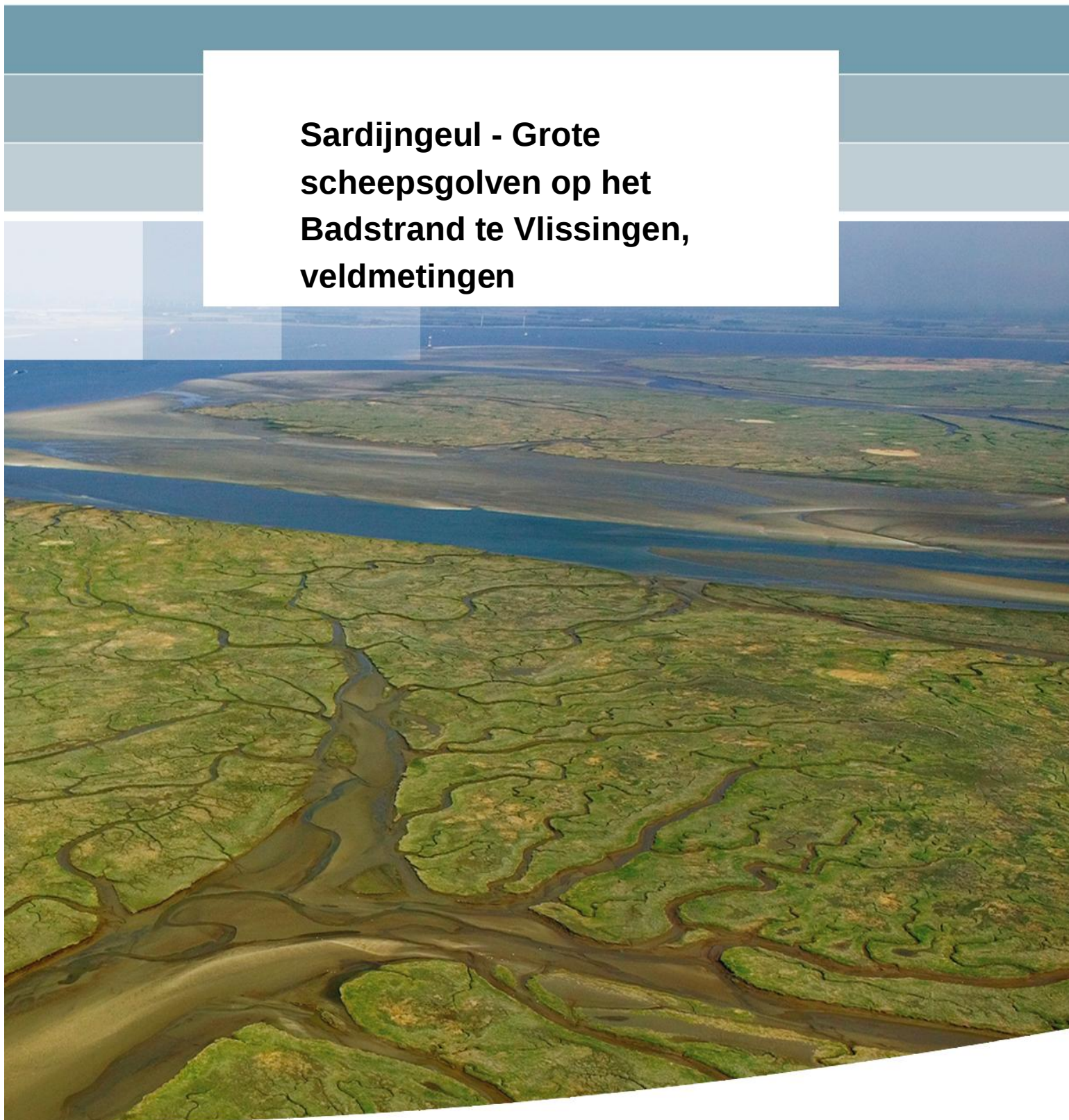


**Sardijngeul - Grote
scheepsgolven op het
Badstrand te Vlissingen,
veldmetingen**



Sardijngeul - Grote scheepsgolven op het Badstrand te Vlissingen, veldmetingen

R.Schroevers
M. van der Wal

1203778-000

Titel

Sardijngeul - Grote scheepsgolven op het Badstrand te Vlissingen, veldmetingen

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Zeeland

Project

1203778-000

Kenmerk

1203778-000-ZWS-0016

Pagina's

65

Trefwoorden

Monitoren, scheepsgolven, scheepsgeïnduceerde waterbeweging.

Samenvatting

Voor het Badstrand van Vlissingen heeft een meetcampagne plaatsgevonden die was gericht op het registreren van grote scheepsgolven op het strand. Deze meetcampagne is in de periode januari en februari 2011 uitgevoerd, mede omdat in die periode op het strand weinig badgasten aanwezig zijn die hinder kunnen ondervinden van die scheepsgolven.

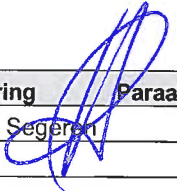
De metingen zijn uitgevoerd met behulp van een ADCP op een meetframe voor het meten van golven en stroming. Als reserve voor de ADCP is een directionele golfboei gebruikt, waarmee scheepsgolven (speciaal de secundaire golven) en windgolven gemeten kunnen worden. Deze meetapparatuur was net buiten de vaargeul bij het Badstrand van Vlissingen geplaatst. Daarnaast is met behulp van een HD videocamera op de boulevard de waterbeweging tijdens een aantal scheepspassages vastgelegd. Gedurende twee meetdagen (21 januari en 18 februari 2011) zijn aanvullende stromingsmeters op het strand ingezet om de scheepsgeïnduceerde waterbeweging op het strand te meten.

De veldmetingen vormen een unieke database. De analyse van de metingen en de visuele waarnemingen bevestigen kwalitatief de resultaten van berekeningen met een Triton model. De gemeten maximum waterspiegeldaling was ruim 0,4 m en de gemeten maximum hoogte van de haalgolf was 0,2 m ten opzichte van de waterstand. De waterspiegeldaling veroorzaakt de hinder op het strand, waarbij niet alleen de helling maar ook de vorm van het strand een grote invloed heeft op de optredende golfhinder.

De analyse van de veldmetingen en de bureaustudie leiden tot aanbevelingen voor maatregelen betreffende het onderhoud van het Badstrand, de vaargeul en het scheepvaartverkeer en aanbevelingen voor het vergroten van het inzicht in de verschijnselen.

Referenties

Brief dd 18 november 2010, opdracht tot het uitvoeren van zaaknummer 31047577 ten behoeve van het project Sardijngeul – grote scheepsgolven.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	juli 2011	drs. M. Schroevers Ir. M. van der Wal		dr. ir. E. Mosselman		dr.ir. A.G. Segeren	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding en probleemstelling	1
2 Doel van de veldmetingen	3
3 Kenmerken van de verschijnselen	5
3.1 Scheepsgolven	5
3.2 Windgolven	6
3.3 Waterstand en diepgang	7
3.4 Frequentie van grote scheepsgolven op het strand	7
4 Meetinstrumenten en meetlocatie	9
4.1 Inleiding	9
4.2 Acoustic Doppler Current Profiler voor het strand	10
4.2.1 Frequentiebereik ADCP in ondiep water	11
4.2.2 Andere overwegingen	11
4.2.3 Positie en plaatsing ADCP frame	12
4.3 Directional waveriderboei	14
4.4 HD-camera	15
4.5 Aanvullende metingen tijdens meetdagen	16
5 Scheepvaart en hydro-meteogegevens	17
6 Analyse meetsignalen	19
6.1 Inleiding	19
6.2 Verschijnselen	19
6.3 Vaarsnelheid	32
6.4 Waterspiegeldaling	33
6.4.1 Inleiding	33
6.4.2 Maximum waterspiegeldaling en de hoogte van de haalgolf	33
6.4.3 De plaats van de maximum waterspiegeldaling en het verloop van de waterspiegeldaling	36
6.5 Interferentiepieken	40
6.6 Halingen	41
6.7 Verloop van de waterspiegeldaling van de Sardijngeul naar het strand	45
6.8 Translatiegolven	47
6.9 Scheepspassages met meerdere schepen	48
6.10 Stroomsnelheden	51
6.10.1 Inleiding	51
6.10.2 Getijstroomsnelheden	51
6.10.3 Retourstroomsnelheden	52
7 Conclusies en aanbevelingen	55
7.1 Conclusies uit de veldmetingen	55
7.2 Aanbevelingen voor maatregelen	56
7.2.1 Maatregelen betreffende het scheepvaartverkeer	56
7.2.2 Maatregelen betreffende het onderhoud van het Badstrand	57
7.3 Aanbevelingen voor vergroting inzicht	57

8 Literatuur	61
Bijlage(n)	
A Bijlage: ADCP instellingen	A-1
B Bijlage: Gegevens van 20 geselecteerde scheepspassages	B-1

1 Inleiding en probleemstelling

De vaargeul door de Sardijngeul loopt bij Vlissingen dicht langs het Badstrand. Op 20 juli 2010 heeft zich een incident voorgedaan waarbij een passerend schip een grote golf op het Badstrand veroorzaakte. Deze grote golf veroorzaakte hinder voor de badgasten op het strand. Rijkswaterstaat heeft behoefte aan een beter inzicht in het ontstaan van zulke grote scheepsgolven. Dergelijke incidenten hebben zich in het verleden vaker voorgedaan, maar de medewerkers van de strandwacht hebben de indruk dat vanaf de jaren zeventig de frequentie van die incidenten is toegenomen. De aard van de hinder is ook toegenomen met een toename van incidenten waarbij voor de badgasten op het Badstrand een gevaarlijke situatie ontstaat. Opgemerkt wordt dat het Badstrand vroeger lager lag dan de tegenwoordige ligging en dat de samenstelling van de badgasten in de loop van de tijd is veranderd. Tegenwoordig zijn er procentueel minder badgasten die deel uit maken van de lokale bevolking, die met het verschijnsel van deze incidenten vertrouwd is.

Ter vergroting van het inzicht in die grote scheepsgolven zijn door Rijkswaterstaat tijdens de maanden januari en februari 2011 veldmetingen uitgevoerd voor en op het Badstrand van Vlissingen. Deze veldmetingen zijn in de wintermaanden uitgevoerd, omdat in die periode weinig badgasten op het strand aanwezig zijn. De afwezigheid van badgasten gaf de mogelijkheid om zonder risico's of overlast voor de badgasten de scheepvaart te verzoeken om dichter bij het strand en sneller langs het strand te varen dan gebruikelijk met het doel grote scheepsgolven op het strand op te wekken.

In dit verslag zijn de opzet en uitvoering van deze veldmetingen beschreven en zijn de resultaten van een eerste analyse beschreven. Het meetplan van deze veldmetingen is door Deltares in nauw overleg met Rijkswaterstaat Zeeland opgesteld.

Bij de keuze van de in te zetten meetapparatuur waren het doel (hoofdstuk 2) en de af te leiden parameters (hoofdstuk 3) leidend. Deze parameters zijn een maat voor de door het scheepvaartverkeer geïnduceerde golven en stroming. De te meten fenomenen worden hier kort geïntroduceerd en gekwantificeerd om de eisen waaraan de meetapparatuur moet voldoen, vast te stellen (hoofdstuk 4). Verschillende gegevens van het scheepvaartverkeer en van de weersgesteldheid tijdens de veldmetingen zijn verzameld (hoofdstuk 5). De analyse van de meetsignalen is in hoofdstuk 6 behandeld. De conclusies en aanbevelingen van de veldmetingen en de uitgevoerde bureaustudie zijn in hoofdstuk 7 samengebracht.

De opzet en de uitvoering van de veldmetingen zijn door de heer R. Schroevers van Deltares geadviseerd. De analyse van de veldmetingen is door de heren R. Schroevers en M. van der Wal uitgevoerd. Het project is van de zijde Rijkswaterstaat Zeeland door de heer D. van Maldegem begeleid. De voorbereiding van de veldmetingen is door de heer J. van het Westenden van Rijkswaterstaat gedaan. De Meetdienst Zeeland en de Verkeerscentrale te Vlissingen hebben assistentie verleend bij de uitvoering van de veldmetingen en door het aanleveren van informatie. Vlaamse en Nederlandse loodsen en de strandwacht van de gemeente Vlissingen hebben gezorgd dat de metingen van de extra grote scheepsgolven op het Badstrand mogelijk waren.

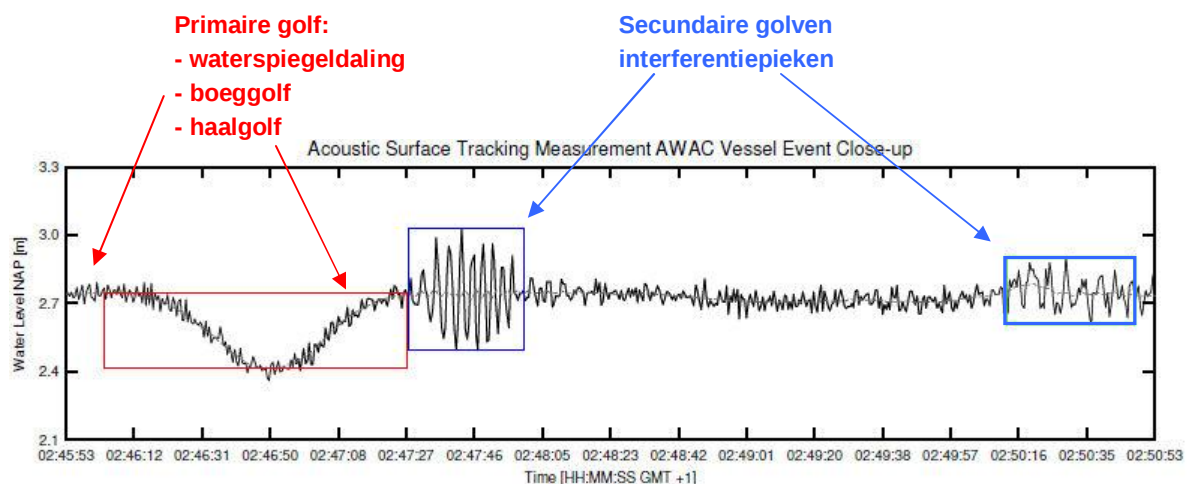
2 Doel van de veldmetingen

Het doel van de veldmetingen is het inzicht te vergroten in de scheepsgolven die bij het Badstrand door passerende schepen worden opgewekt en in de oorzaak waarom deze golven soms gevaar opleveren voor badgasten op het Badstrand. Deze golven treden op tussen de zijkant van een passerend schip en het Badstrand. Omdat niet bekend is welke schepen in welke omstandigheden grote scheepsgolven opwekken, worden de golven van passerende schepen gedurende een periode van tenminste enkele weken gemeten.

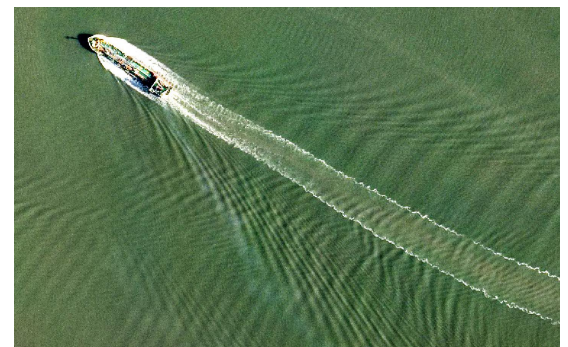
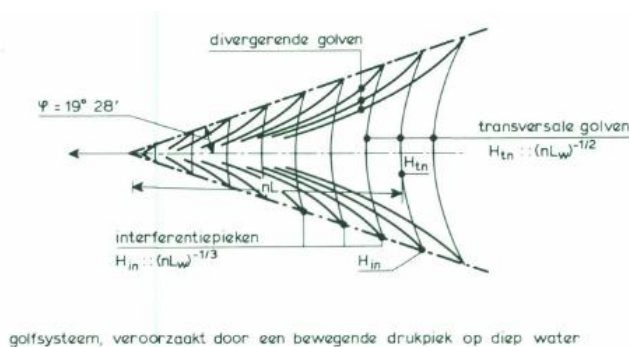
3 Kenmerken van de verschijnselen

3.1 Scheepsgolven

Scheepsgolven bestaan uit een primaire scheepsgolf, secundaire scheepsgolven, een schroefstraal en soms uit translatiegolven voor, naast en achter een schip (zie Figuur 3.1 en Figuur 3.2). Een primaire scheepsgolf bestaat uit een boeggolf, de retourstroom met een waterspiegeldaling en soms een frontgolf, een haalgolf met een taludvolgstroom en een volgstroom van een schip. Secundaire scheepsgolven bestaan uit divergerende golven, transversale golven en interferentiepieken. In speciale situaties kunnen de interferentiepieken bij de oever samenvallen met de haalgolf. De waterspiegeldaling en de haalgolf kunnen zich vanaf de rand van de Sardijnegeul uitbreiden en vervormen daarbij. Dit veroorzaakt een extra stroming waardoor de resulterende waterspiegeldaling en de haalgolf op het strand groter kunnen zijn dan de waterspiegeldaling en haalgolf in de vaargeul.



Figuur 3.1 Golfsignaal van zeeschip Jazan met daarin de waterspiegeldaling en de secundaire golven.



Figuur 3.2 Schema van secundaire scheepsgolven en werkelijk opgetreden secundaire golfsysteem bij een kustvaarder in de Westerschelde.

In een studie in 2010 naar de invloed van scheepsgolven op de erosie van het slik in het Nauw van Bath zijn de eigenschappen van de scheepsgolven bepaald voor 62 geselecteerde schepen [Nortek 2010, Schroevers et al, 2011]. Twintig van deze schepen zaten in de lengteklasse van 100 tot 200 meter en twintig in de klasse boven de 250 meter.

De waarde van de belangrijkste golfparameters van die schepen, zoals gemeten op 60 meter van de boeienlijn langs de vaargeul, zijn weergegeven in Tabel 3.1. Van elke parameter zijn de gemiddelde waarde en de standaardafwijking vermeld. Tevens worden de gemiddelde waarde en de standaardafwijking van de stroomsnelheidscomponenten parallel aan de geul (u) en loodrecht op de geul (v) weergegeven.

Tabel 3.1 Gemiddelde en standaardafwijking van de golfhoogte, golflengten en stroomsnelheden ten gevolge van scheepspassages in de Westerschelde bij Bath.

Scheepslengte:		100-200 [m]	>250 [m]
parameter	eenheid		
Periode primaire scheepsgolf	[s]	40 ± 10	55 ± 10
Waterspiegeldaling primaire scheepsgolf	[m]	0,1 ± 0,01	0,3 ± 0,1
Periode interferentiepieken	[s]	4 ± 1	3 ± 1
Hoogte interferentiepieken	[m]	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1
Stroomsnelheid u-component	[m/s]	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,2
Stroomsnelheid v-component	[m/s]	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,2

De lengte van de golven wordt voor een groot deel door de scheepslengte en de vaarsnelheid bepaald. De vaarsnelheden in de Sardijngeul zijn vergelijkbaar met de vaarsnelheden in het Nauw van Bath. Het bereik aan golfperioden zoals aangegeven in de tabel 3.1 lijkt daarom een goede indicatie voor de te verwachten perioden van de scheepsgolven in de Sardijngeul. De verwachting is dat de golven in de Sardijngeul wel hoger zullen zijn dan gemeten bij Bath, omdat de geul ondieper en smaller is.

De maximaal te meten golfperiode ten gevolge van primaire scheepsgolven is ongeveer 75 seconden. De minimale golfperiode tengevolge van secundaire golven is ongeveer 2 seconden (95% interval). De maximaal te meten waterspiegeldaling is kleiner dan de maximum te meten waterstandsvariatie door het getij en is daarom niet van belang voor de keuze van de meetinstrumenten. De stromingen zijn direct gekoppeld aan de golfeffecten en hebben daardoor dezelfde tijdschaal.

3.2 Windgolven

De karakteristieken van de windgolven in de Sardijngeul zijn niet beschikbaar, maar die karakteristieken zijn wel voor een locatie in de Wielingen over het jaar 2010 beschikbaar, zie Tabel 3.2. De Wielingen is een grote geul in de monding van de Westerschelde niet ver van de Sardijngeul. De windgolven in de Sardijngeul zullen wel wat kunnen afwijken van de windgolven in de Wielingen, maar de hoofdkarakteristieken zullen naar verwachting globaal overeenkomen.

Tabel 3.2 Karakteristieken van windgolven in de Wielingen.

	Eenheid	Gemiddelde	Maximum
Golfhoogte (H 1/3)	m	0,50	2,5
Golfperiode (Th 1/3)	s	4	9

Uit tabellen 3.1 en 3.2 blijkt dat de interferentiepieken van de secundaire scheepsgolven in hetzelfde frequentiegebied vallen als de windgolven en gemiddeld even groot zijn.

Dat houdt in dat de secundaire scheepsgolven bij windiger omstandigheden wellicht lastig in een meetsignaal zijn te onderscheiden van windgolven.

3.3 Waterstand en diepgang

In de Sardijngeul varieert de waterstand ten gevolge van het getij van ongeveer – 2 tot ongeveer NAP + 2 m.

De bodem van de Sardijngeul ligt ongeveer op lowest astronomical tide -10 meter (LAT - 10 m). Dat betekent dat schepen met een diepgang van minder dan 8,5 m ongeacht het tij altijd voldoende water onder de kiel hebben om de geul te passeren. De kielspeling moet gelijk of meer zijn dan 15% van de lokale waterdiepte volgens mondelinge informatie van een loods, de heer J. van Zalinge. Bij hoogwater is er ongeveer 4 m meer water beschikbaar dan bij laagwater. Tijdens hoogwater kunnen schepen met een maximale diepgang van 11 tot 12 m de Sardijngeul passeren. De Sardijngeul is echter niet maatgevend in de vaarroute van Vlissingen tot Westkapelle. In die vaarroute zijn de ondiepten in het Oostgat maatgevend. De maximale diepgang van schepen die de Sardijngeul passeren, is slechts ca. 10,5 m. Deze diepgang zal in de praktijk niet vaak voorkomen, maar betreft wel de meest interessante passages omdat de grotere schepen aanzienlijke primaire scheepsgolven en daaraan verbonden hinder op het strand kunnen veroorzaken.

3.4 Frequentie van grote scheepsgolven op het strand

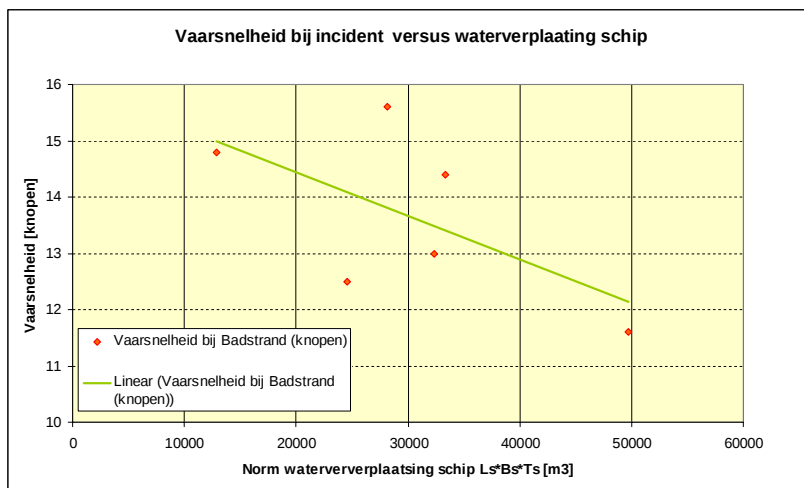
De strandwacht op het Badstrand heeft een aantal recente incidenten met grote scheepsgolven op het strand geregistreerd, zie de gegevens van deze incidenten in tabel 3.3. Uit deze gegevens blijkt de tendens dat bij een incident kleine schepen harder varen dan grote schepen, zie figuur 3.3. Opgemerkt wordt dat deze relatie op slechts 6 waarnemingen is gebaseerd en daarom niet betrouwbaar is. Maar in het geval deze relatie met meer incidenten kan worden bevestigd, kan deze relatie wijzen op het bestaan van een kritisch ingesteld motorvermogen van een schip waarboven incidenten optreden. Daarnaast zijn er enkele risicoschepen geïdentificeerd. Een risicoschip betekent dat het schip in het verleden één of meer incidenten op het Badstrand heeft veroorzaakt, bijvoorbeeld de Frisia Wismar, CMA CGM Volga, Kraftca, Pulpca, Reinbek, Seabass, Tor Magnolia volgens gegevens van RWS Zeeland.

Tabel 3.3 Gegevens van recente incidenten van grote scheepsgolven op het Badstrand.

Datum	Type schip	Waterstand tijdens passage ten opzichte van NAP m	Diepgang schip m	Lengte schip m	Breedte schip m	Vaarsnelheid bij De Leugenaar knopen	Vaarsnelheid bij Badstrand knopen
25-Jun-09	Container	+2.19	9.8	203	25	10.9	11.6
04-Aug-09	Container	+0.35	8.6	149	22	15.6	15.6
04-Aug-09	Tanker	-0.63	6.3	120	17	14.8	14.8
04-Jul-10	Tanker	-1.26	6.5	178	28	13.1	13.0
18-Jul-10	Container	-1.20	7.2	185	25	14.4	14.4
20-Jul-10	Container	-1.30	7.5	149	22	10.8	12.5

Het incident op 4 juli 2010 is door een badgast gefilmd. Het filmpje staat op Youtube (<http://www.youtube.com/watch?v=9-H9Jn3SY6A>).

Tijdens dat incident stond er ongeveer een halve meter water op een flauw hellend strand (waterstand NAP + 0,8 m). De waterspiegeldaling naast het schip liet een deel van het strand droogvallen en vervolgens ontstond een steile haalgolf die het strand weer opkwam. Deze haalgolf ging gepaard met grote stroomsnelheden in de volgstroom. Deze situatie treedt mogelijk alleen op bij bepaalde waterstanden en een bepaald profiel van het strand.



Figuur 3.3 Relatie tussen vaarsnelheid en het volume $L_s \cdot B_s \cdot T_s$ bij vaarten waarbij incidenten zijn gemeld.

In een korte meetperiode bestaat een kans dat er geen grote scheepsgolven op het strand optreden. Daarom zijn twee meetdagen op 21 januari en 18 februari 2011 georganiseerd. Tijdens die meetdagen is het scheepvaartverkeer verzocht sneller en dichter bij het strand te laten varen dan normaal gebruikelijk is en voor zover verantwoord met het oog op een veilige vaart.

4 Meetinstrumenten en meetlocatie

4.1 Inleiding

Op basis van de te verwachten verschijnselen (Hoofdstuk 3) zijn twee eisen opgesteld voor het meetbereik van de instrumenten die bij de veldmetingen zijn gebruikt:

Eis 1: De meetinstrumenten voor golven en stroming moeten in een frequentiebereik van 13 tot 500 mHz (2-75 seconden) en met een minimum bemonsteringsfrequentie van 2 Hz kunnen meten.

Naast dit gewenste frequentiebereik is het wenselijk om de golfhoogten en de stroomrichtingen vast te kunnen stellen. Hierdoor kunnen scheepsgolven onderscheiden worden van windgolven en scheepsgedreven stroming van getijstroming. Daarnaast ontstaat hierdoor meer inzicht in de fysica achter de opgewekte golven en stroming.

De meeste fabrikanten houden in hun specificaties voor de hoogste frequenties netjes rekening met effecten zoals aliasing (Nyquist-criterium), de eigenfrequentie van het instrument (als het drijft), de verstoring van het instrument door zijn omvang, traagheid van het meetsysteem en demping van golven onder water. Daarbij wordt echter uitgegaan van een continu golfsignaal en niet van een korte golfrein. Voor een korte golfrein zoals de interferentiepieken van de secundaire scheepsgolven, is het aan te raden om *minimaal* 4 maal sneller te bemonsteren dan de te detecteren gemiddelde golffrequentie in een golfrein. In dit geval komt dat neer op een bemonsteringsfrequentie van *minimaal* 2 Hz.

Eis 2: Bij de keuze van de meetinstrumenten moet aan verschillende randvoorwaarden worden voldaan.

Naast de te meten parameters en het gewenste frequentiebereik is rekening gehouden met de volgende randvoorwaarden:

- De voorkeur van Rijkswaterstaat voor inzet van instrumenten die standaard aanwezig zijn in het Centraal Instrumenten Bestand (CIB).
- Beschikbaarheid van de gewenste instrumenten uit het CIB tijdens de geplande meetperiode.
- Mogelijke inzet van marktpartijen voor levering van meetapparatuur.
- Acceptatieniveau van de gekozen apparatuur c.q. meetmethode.
- Risico op verlies van apparatuur door vandalisme of visserij.
- Risico van dataverlies door problemen met de meetapparatuur.
- Kosten voor het mobiliseren en operationeel houden van de apparatuur.
- Het streven was om 1 december 2010 de meetapparatuur operationeel te hebben en na een testperiode van een maand de werkelijke metingen uit te gaan voeren in de perioden januari en februari en
- Het advies van Deltares om in ieder geval 1 systeem neer te zetten dat direct online door alle betrokkenen bekeken kan worden. Hierdoor kijken meer mensen naar wat er zich af speelt en ontstaat meer feedback vanuit verschillende zienswijzen.

Vanwege vandalisme of diefstal viel het meten dicht op het droogvallende deel van het strand af. De metingen zouden dus in het gebied moeten plaatsvinden waar ook tijdens laagwater een waterdiepte van tenminste 2 meter aanwezig is. In dat geval wordt meestal een meetpaal geplaatst. Vanuit operationele overwegingen (doorlooptijd), de veiligheid van het scheepvaartverkeer en kosten is ervoor gekozen om geen meetpaal te plaatsten.

Hierdoor vallen standaard RWS-instrumenten zoals golfbaken en golfradars af als in te zetten meetmethode. Deze instrumenten vielen daarnaast af vanwege het niet kunnen meten van de golfrichting.

Voor het meten van stroomsnelheden is het standaardinstrument van Rijkswaterstaat gekozen, namelijk de Teledyne RD Instruments broadband Acoustic Doppler Current Profiler, kortweg ADCP's, zie figuren 4.1 en 4.2 (paragraaf 4.2). Als reserve voor het geval met deze ADCP geen goede metingen worden verkregen, is een golfmeetboei (een directional waveriderboei) gekozen (paragraaf 4.3)

In het verleden is de hinder door grote scheepsgolven voornamelijk op het Badstrand opgetreden en niet zozeer op de asfaltdijk voor de Boulevard (bron: Albert Dijkstra, coördinator van de strandwacht van de Gemeente Vlissingen). De meetlocatie is daarom gekozen nabij het Badstrand en het stuk tussen de vaargeul en het Badstrand. De meetlocatie ligt tussen de boeienlijn en het strand. Zo ondiep als mogelijk is, maar niet zo ondiep dat de meetinstrumenten droog komen te vallen en bereikbaar zijn voor het publiek. Gedurende de speciale meetdagen worden op het strand aanvullende metingen verricht.

4.2 Acoustic Doppler Current Profiler voor het strand

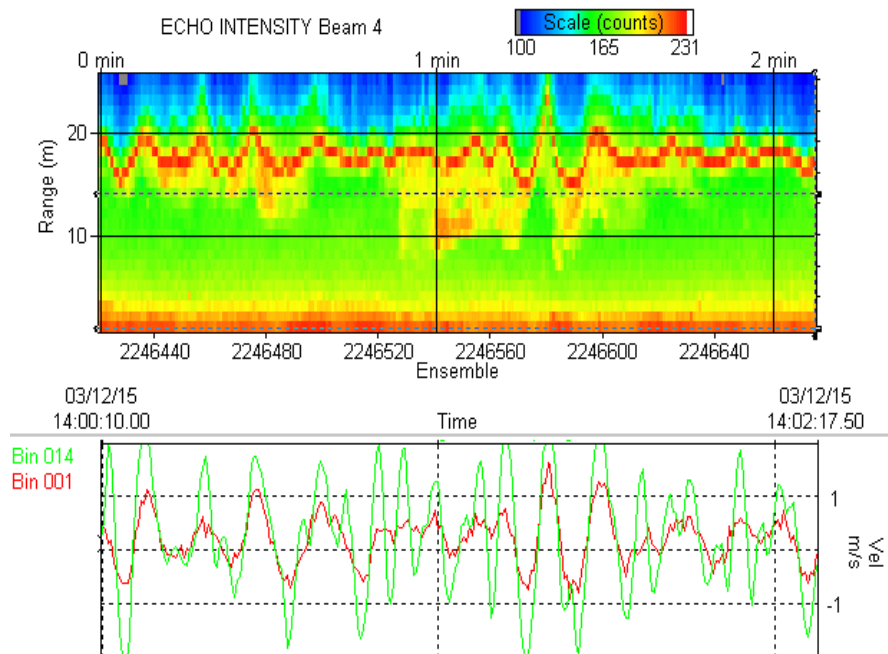
Binnen het CIB is van de Teledyne RD Instruments ADCP's een speciaal type beschikbaar: de 1200 kHz zedhead in de zogeheten Wave-Array-configuratie en "mode 12" (hoogfrequent meten). Met deze instrumenten kunnen de stroming, orbitaalsnelheden en de ligging van het wateroppervlak hoogfrequent gemeten worden [Strong 2000]. Deze golf-ADCP's zijn uitgerust met een druksensor en hebben een groot intern geheugen zodat ze data met 1 of 2 Hz over een voldoende lange meetperiode kunnen opslaan. Deze stroommeters zijn zo nauwkeurig dat de 2-Hz-data van de stroomsnelheden voldoende nauwkeurig zijn voor het bepalen van orbitaalsnelheden en golfrichting. Daarbij leveren de meting met de bundelecho's (surface tracking) en de druksensor eveneens metingen van de oppervlakteuitwijking, waarmee de kwaliteit van de gegevens gecontroleerd kan worden. Dit is gebleken in een uitgebreide meetcampagne in de Noordzee [Hoitink et al 2007] waarvan een korte dataset is weergegeven in figuur 4.3.



Figuur 4.1 Een ADCP en batterijhouder in een meetframe van RWS dienst Zeeland.



Figuur 4.2 Artistieke impressie van het meten van golven met een ADCP. Bron: Teledyne RD Instrument.



Figuur 4.3 Twee minuten ADCP data. Boven: echo profiel waarin de beweging van het oppervlak zichtbaar is, maar ook de respons van ingesloten luchtbellen (echowolken). Onder: snelheden (in oostelijke richting) net onder het oppervlak (groen) en vlak bij de bodem (rood).

4.2.1 Frequentiebereik ADCP in ondiep water

Voor een ADCP geldt dat de achterliggende meetprincipes ervoor zorgen dat er geen maximum is aan de lengte van de golven die gemeten kunnen worden, mits de amplitude daarvan maar uitkomt boven de ruis van de metingen en de ruis van de achtergrond. Lange golven met amplitudes van maar enkele cm's zijn te meten. Voor korte golven (hoge frequentie) geldt wel een beperking. Golven worden namelijk gedempt onder het wateroppervlak. Hoe korter een golf hoe sterker die demping. De ADCP meet de orbitaalsnelheden niet direct aan het oppervlak, maar minimaal 15% van de waterdiepte daaronder, waar de kortste golven al zijn weggedempt. In het experiment van Hoitink et al (2007) dat werd uitgevoerd op 12 meter waterdiepte bleek het golfspectrum tot 500 mHz betrouwbaar. Dit komt overeen met de specificatie van de fabrikant. De minimaal te meten golfhoogte is daarbij 5 cm. Ook de golfrichting van deze golven is uit de orbitaalsnelheden te bepalen. Ook de gewenste bemonsteringsfrequentie van 2 Hz kon door de ADCP gehaald worden.

4.2.2 Andere overwegingen

Het CIB had geen ADCP meer beschikbaar die ingesteld kon worden voor hoogfrequent meten (12 Hz), maar ook zonder deze speciale instellingen kon gemeten worden met een frequentie van ongeveer 6 Hz. Deze 6-Hz-data zijn gemiddeld en opgeslagen met 2 Hz. In bijlage A zijn de instellingen gegeven zoals die zijn gebruikt.

Het nadeel van de ADCP als golfmeter is dat het instrument normaal in een frame op de bodem geplaatst wordt. Het is daardoor mogelijk dat het weggevoerd wordt of onder een zandgolf verdwijnt. Daarnaast worden storingen pas ontdekt na de meetcampagne.

Tijdens de testmeting die in december 2010 is uitgevoerd met het instrument bleken er geen metingen te zijn opgeslagen omdat de batterijhouder vol met zeewater was gelopen. Voor het verzamelen van de meetgegevens van de ADCP moet het frame uit het water gevist worden, het geheugen van de ADCP uitgelezen worden en vervolgens weer worden teruggeplaatst. Dit kost minstens twee dagen waarbij de ADCP niet meet.

De kans op wegvissen voor het Badstrand van Vlissingen wordt door de medewerkers van Rijkswaterstaat klein geacht. Het vollopen van de batterijhouder met zeewater is een zeldzaamheid.

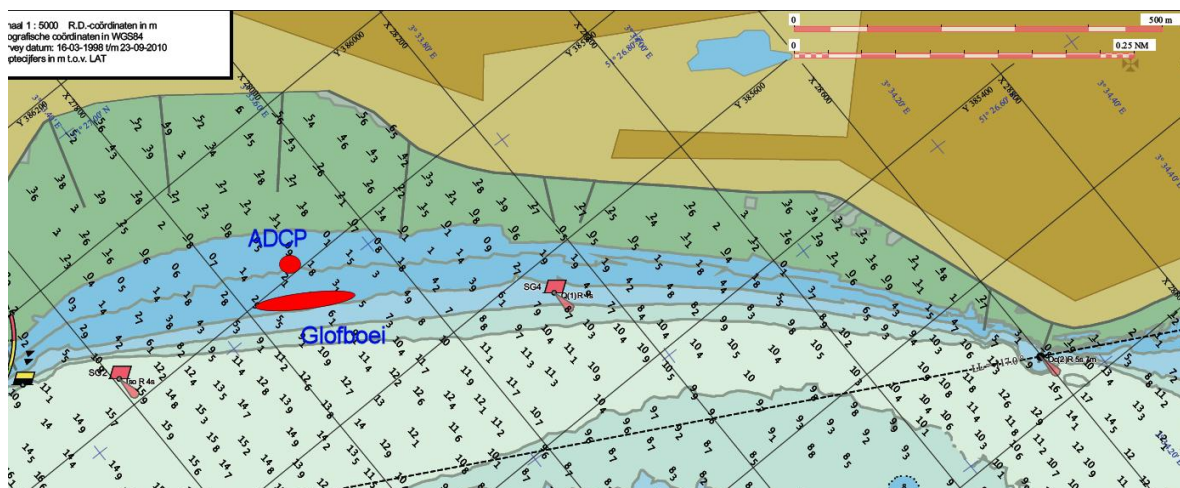
Vanwege de compleetheit van dit instrument is dit instrument voor de veldmetingen het primaire meetsysteem. Het toch aanwezige risico op verlies van het instrument en data maakte inzet van een tweede meetinstrument wenselijk.

4.2.3 Positie en plaatsing ADCP frame

Het frame met de golf-ADCP is vanaf een schip met een kraan op ongeveer LAT -1,5 m geplaatst. Het frame bleef bij laagwater onder water om ook bij laagwater metingen te kunnen verrichten en om beschadiging door vandalisme en diefstal van het instrument te voorkomen. De inschatting is dat er minimaal 1,5 meter water boven de ADCP moet staan om te kunnen meten. De opgegeven locatie van het frame met de golf-ADCP is, zie figuren 4.5 en 4.6:

51° 26',831 N 003° 33',497 E.

In december 2010 heeft een testmeting plaatsgevonden waarna de instellingen van het instrument zijn aangepast. Het ADCP-frame is van roestvrij staal waardoor het kompas van de ADCP niet verstoord wordt. Het ADCP-kompas is voor inzet in het veld NIET gekalibreerd. Het kompas, de pitch-en-roll-sensor en de druksensor worden wel standaard gecontroleerd voordat het CIB het instrument beschikbaar stelt.



Figuur 4.4 Weergave geschatte positie ADCP-frame en golfboei op LAT-kaart.



Figuur 4.5 Weergave geschatte positie ADCP frame en golfboei op Google-Earth-kaart.

4.3 Directional waveriderboei

Voor het meten van golven en golfrichtingen is de *directionele waveriderboei van Datawell* het standaardmeetapparaat van Rijkswaterstaat en beschikbaar vanuit het CIB, zie figuur 4.6.

De golfboei uit het CIB is gebaseerd op een versnellingsopnemer en dat kan voor de monitoring van scheepsgolven een beperking zijn. Deze opnemer kan namelijk geen trage bewegingen volgen. De bovengrens voor de te meten golfperiode is 30 seconden en de ondergrens is 1,6 seconde. Deze ondergrens geldt voor een continu golfsignaal, terwijl hier sprake is van een golftreintje van de interferentiepieken. Het werkelijk oplossende vermogen voor de interferentiepieken zal lager liggen dan 1,6 seconde, naar verwachting ongeveer 4 seconden.

Vanwege deze beperkingen is ervoor gekozen om de golfboei niet in te zetten als primair meetsysteem, maar als achtervang voor het geval er iets mis zou gaan met de metingen door de ADCP.

Het CIB heeft half januari een golfboei geleverd. Deze is vanaf eind januari ingezet en dat is na aanvang van de meetcampagne met de ADCP en de eerste meetdag op het strand. Het Landelijk Meetnet Water gaf aan dat het direct inwinnen in het landelijk meetnet van deze golfboei op dat moment niet mogelijk was. RWS Zeeland heeft ervoor gekozen om de data zelf in te winnen via een softwaremodule van QPS. De metingen van de boei zijn in ruwe vorm beschikbaar, dat wil zeggen de uitvoer van het tijdsignaal van de boeiuitwijking is in ASCII (1,28 Hz). Op basis van deze uitvoer kunnen de scheepsgolven uit het signaal gehaald worden.



Figuur 4.6. Waverider boei

Vanwege de goede prestatie van de ADCP zijn de gegevens van de directionele waveriderboei niet zijn verwerkt en geanalyseerd.

De golfboei moest voldoende ver van de kant liggen zodat bij laagwater de boei niet op het droge kon komen te liggen. De lengte van de verankering van een directional waveriderboei is 32 meter. Als de boei bij laagwater op 5 meter water ligt, is er een overlengte van 28 meter en de boei kan dan bij laagwater rond zijn ankerpunt bewegen met een straal van 28 meter. Op basis van een standaard dgps-signaal slaat de boei intern zijn positie op. Deze informatie kan achteraf uit meetsignalen van de boei gehaald worden. De boei is geplaatst tussen markeringsboei SG2 en SG4 op ongeveer LAT -4 á -5 m. De opgegeven locatie is, zie figuren 4.4 en 4.5:

51° 26',802 N 003° 33',461 E

4.4 HD-camera

Tijdens de meetperiode is met behulp van een HD-videocamera de waterbeweging op het strand tijdens een aantal scheepspassages vastgelegd. De camera was in eerste instantie geplaatst in het gebouw van de ROC Vlissingen (de zeevaartschool), zie figuur 4.7. Deze camera is verplaatst naar het dak van het woonhuis Huize Ter Schelde, Boulevard Evertsen 12 te Vlissingen, zie figuur 4.8. Informatie over scheepskennmerken en vaarsnelheden zijn verkregen uit het informatiesysteem van het Schelde Coördinatie Centrum.



Figuur 4.7 Beeld van de camera vanuit het torentje van de Zeevaartschool. Het gebied van interesse ligt rechts voorbij de rij palen. De camera is na enige tijd verplaatst naar een gebouw dichterbij dit gebied.



Figuur 4.8 Camera op het dak van Huize Ter Schelde, Boulevard Evertsen 12.

4.5 Aanvullende metingen tijdens meetdagen

Aanvullende metingen zijn op het strand gedurende twee meetdagen, 21 januari en 18 februari 2011, uitgevoerd. Deze metingen zijn ter vergroting van het inzicht in de relatie tussen de door de ADCP gemeten stroomsnelheden en golfhoogten *vóór* het strand naar stroomsnelheden en golfhoogten *op* het strand. Daartoe zijn een Acoustic Doppler Velocimeter en een Nortek Aqua Dopp Profiler stromingsmeter op het strand geplaatst (Figuur 4.9). De Aqua Dopp Profiler is ook uitgerust met een druksensor waardoor ook golfhoogten bepaald kunnen worden.

De metingen hebben plaats op het strand in aanwezigheid van RWS-personeel. Dit vanwege het risico van verlies of diefstal van de instrumenten. De werking van de instrumenten is getest. Opgemerkt wordt dat de Aqua Dopp Profiler niet voldoende nauwkeurig meet voor het bepalen van golfrichtingen.



Figuur 4.9 Aqua Dopp Profiler ingegraven in het zand.

Foto M. Schroevers.

5 Scheepvaart en hydro-meteogegevens

Uit de meetsignalen zijn 20 scheepspassages geselecteerd voor een nadere analyse. Deze visuele selectie was gericht op het selecteren van scheepspassages met de grootste golven en op het samenstellen van 20 representatieve scheepspassages waarvan ook videobeelden beschikbaar zijn. De meetsignalen bevatten veel meer scheepspassages dan de geselecteerde 20 scheepspassages.

Ten behoeve van de analyse zijn de volgende aanvullende gegevens ingewonnen:

1. De gegevens van passerende schepen gedurende de meetperiode. Deze gegevens zijn door het Schelde Coördinatie Centrum betrokken uit het Informatie Verwerkend Systeem (IVS) en het Automatic Identification System (AIS) en betreffen:
 - a. De vaarsnelheid- en positiegegevens van een schip met tijdregistratie uit AIS.
 - b. De koers en eventueel de draaisnelheid van een schip met tijdregistratie uit AIS.
 - c. De lengte, breedte en diepgang van een schip uit gecombineerd AIS/IVS en
 - d. de scheepsklasse en het scheepstype uit gecombineerd AIS/IVS.

Opgemerkt wordt dat de vaarsnelheid geen exact getal is, maar een afgeronde waarde, met een spreiding van plus of min ongeveer 1 knoop. De lengte en de breedte zijn nauwkeurig bekend, maar de diepgang van een schip is afhankelijk van de belading van het schip en uit een steekproef blijkt dat de ingevoerde waarde van de diepgang in AIS en IVS aanzienlijk kan afwijken van de werkelijke diepgang.

2. Hydro-meteogegevens die relevant zijn voor de Sardijngeul gedurende de meetperiode:
 - a. De windrichting en -snelheid ter plaatse van een meetstation te Vlissingen.
 - b. De luchtdruk van het dichtstbijzijnde KNMI-meetstation en
 - c. de in Vlissingen gemeten waterstanden.

De luchtdruk is van belang voor het interpreteren van de het signaal van een drukdoos, waarmee de waterstand wordt gemeten.

3. Getijstroomsnelheden die in de Sardijngeul met het SCALWEST-model van de Meetdienst van RWS Zeeland zijn berekend.

De gegevens van de 20 geselecteerde scheepspassages zijn opgenomen in bijlage B. Het zijn scheepspassages waarvan videobeelden beschikbaar zijn.

6 Analyse meetsignalen

6.1 Inleiding

De veldmetingen vonden plaats in het stormseizoen. Daarom is rekening gehouden met een gecompliceerde analyse om in de meetsignalen de scheepsgolven te scheiden van deining en windgolven. Tijdens de meetperiode is het echter relatief vaak rustig weer geweest en op de meetdagen van 21 januari en 18 februari was het weer zelfs ideaal.

De analyse heeft zich allereerst gericht op het op eenduidige wijze detecteren van de scheepsgeïnduceerde waterbeweging uit de meetsignalen. De data van de ADCP zijn geanalyseerd in de paragrafen 6.2 tot 6.8. De meetdata van de golfboei en van de videocamera zijn niet geanalyseerd.

De verschijnselen die in de meetsignalen zijn te onderscheiden, worden in paragraaf 6.2 beschreven. De vaarsnelheid van de schepen in de 20 geselecteerde passages is in paragraaf 6.3 behandeld. De gemeten maximum waterspiegeldaling is geanalyseerd en een eenvoudige berekeningsmethode van de waterspiegeldaling is in paragraaf 6.4 toegepast. Het samenvallen van de interferentiepieken met de haalgolf is in paragraaf 6.5 beschreven. De aanwezigheid van halingen achter de haalgolf is in paragraaf 6.6 geanalyseerd. Een voorbeeld van een positieve en een negatieve translatiegolf is in paragraaf 6.7 gepresenteerd. De gemeten stroomsnelheden worden in paragraaf 6.9 behandeld.

6.2 Verschijnselen

De metingen van de waterspiegel en de stroomsnelheden tijdens de 20 geselecteerde scheepspassages zijn ingedeeld in groepjes van scheepspassages met een waterspiegeldaling kleiner dan 0,1 m, een waterspiegeldaling tussen 0,1 m en 0,2 m en een waterspiegeldaling groter dan 0,2 m, zie tabel 6.1. Voorts is onderscheid gemaakt tussen inkomende schepen en uitgaande schepen, zie de meetresultaten van de dieptegemiddelde stroomsnelheden en het verloop van de waterstand in de figuren 6.1 tot en met 6.20 en de gegevens in bijlage B. In deze figuren met het verloop van de waterstand zijn de volgende verschijnselen te zien:

Windgolven

In de meetsignalen zijn de waterstandvariaties door windgolven als een soort ruis te herkennen.

Translatiegolven

Voor het schip loopt in sommige gevallen een positieve translatiegolf met een min of meer constante hoogte. Theoretisch is er dan ook een negatieve translatiegolf naast en achter het schip. Deze negatieve translatiegolf versterkt de waterspiegeldaling.

Boeggolf

Als onderdeel van de omstroming van het schip treedt voor de boeg een boeggolf op. De boeggolf is niet in alle gevallen in de meetsignalen te herkennen. De hoogte van de boeggolf is voor de boeg maximaal en loopt af als de afstand tot de boeg toeneemt. Een boeggolf wordt door de vorm van een boeg beïnvloed.

Waterspiegeldaling

De waterspiegeldaling is onderdeel van de omstroming van een schip. Door die omstroming daalt de waterspiegel door de energiehoogte. Langs een as loodrecht op de langsas van het schip neemt de waterspiegeldaling van de zijkant van een schip naar het strand toe geleidelijk af. De frontgolf is een lokaal maximum van de waterspiegeldaling bij de boeg.

Haalgolf en meerdere halingen

De omstroming van een schip eindigt bij de aanzuiging door het hek van een schip en de aanzuiging door de schroef of schroeven. Het einde van de retourstroom gaat gepaard met een haalgolf waarin de stroomsnelheid kan omkeren en een volgstroom begint. De haalgolf wordt in sommige situaties gevolgd door een serie halingen. In de taal van het water (J. van de Wijk, 1996) wordt een haling omschreven als de trekkende of zuigende werking van golvend water. Een andere betekenis van een haling is een staande golf in bijvoorbeeld een haven.

Secundaire scheepsgolven

In het gemeten verloop van de waterstand zijn de interferentiepieken van de secundaire scheepsgolven als een typische serie van ongeveer 8 grote golven met een korte periode te herkennen

De waterstand gemeten in Vlissingen en de getijstroomsnelheid tijdens de passage van de 20 geselecteerde schepen is in figuren 6.1 tot en met 6.20 en in bijlage B vermeld. Deze waterstand behoort tot de opgevraagde hydro-meteo gegevens en de getijstroomsnelheid is met het SCALWEST model berekend (hoofdstuk 5).

Bij een verkeerssituatie met verschillende schepen, bijvoorbeeld bij het oplopen of ontmoeten van schepen voor het Badstrand, treden complexe verschijnselen op en kunnen verschillende scheepsgolven elkaar versterken.

In de meetsignalen van de diepte gemiddelde stroomsnelheidscomponenten in onderling twee loodrechte richtingen (u- en v- component) zijn de boeggolf, de retourstroom, de haalgolf en de interferentiepieken te onderscheiden. Ook de halingen veroorzaken regelmatige stroomsnelheidsvariëaties. In de figuren met de gemeten stroomsnelheden zijn de volgende verschijnselen waar te nemen:

Getijstroomsnelheid

De getijstroomsnelheid varieert langzaam in de tijd vergeleken met de scheepsgolven.

Stroomsnelheden in windgolven (orbitaalbeweging)

De korte periode van de orbitaalbeweging in windgolven veroorzaakt een soort ruis in het signaal.

Stroomsnelheden in de interferentiepieken

De periode van de orbitaalbeweging in de interferentiepieken hebben ongeveer dezelfde periode als de periode van de windgolven. Vaak is echter het verschil tussen de minimum en de maximum stroomsnelheid groter dan dat verschil bij windgolven.

Retourstroomsnelheid

De retourstroomsnelheid wordt groot als de waterspiegeldaling groot is.

Stroomsnelheid in een positieve translatiegolf

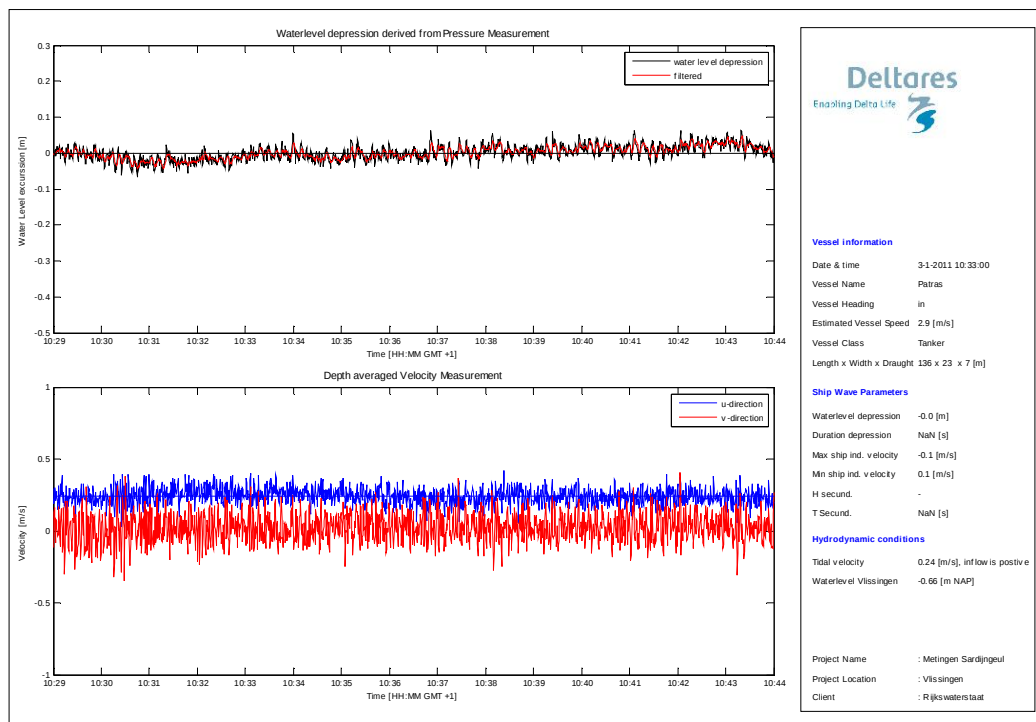
In translatiegolven treedt een vrij constante stroomsnelheid op als de hoogte van een translatiegolf constant is. De stroomsnelheden zijn in een translatiegolf ten opzichte van de andere verschijnselen heel klein.

De meetresultaten van drie inkomende schepen met een gemeten waterspiegeldaling kleiner dan 0,1 m betreffen events 1, 7 en 9 en zijn respectievelijk in figuren 6.1, 6.2 en 6.3 gepresenteerd, zie tabel 6.1. Een event is een scheepspassage en de kenmerken van de events zijn in bijlage B opgenomen.

Bij de interpretatie van de figuren wordt opgemerkt dat de positie van de waterspiegel, zoals weergegeven in het bovenste venster van iedere figuur, is bepaald met een druksensor die op de bodem staat. Deze druksensor registreert de langzame waterspiegeldaling goed, maar de kortere secundaire golven registreert de sensor sterk verzwakt. De optredende interferentiepieken zijn in de gemeten snelheden in het onderste venster van iedere figuur goed herkenbaar. In enkele gevallen waren de secundaire golven niet te onderscheiden van de heersende windgolven die zichtbaar zijn als ruis op de snelheidsmetingen.

Tabel 6.1 Overzicht van de in de volgende figuren gepresenteerde events.

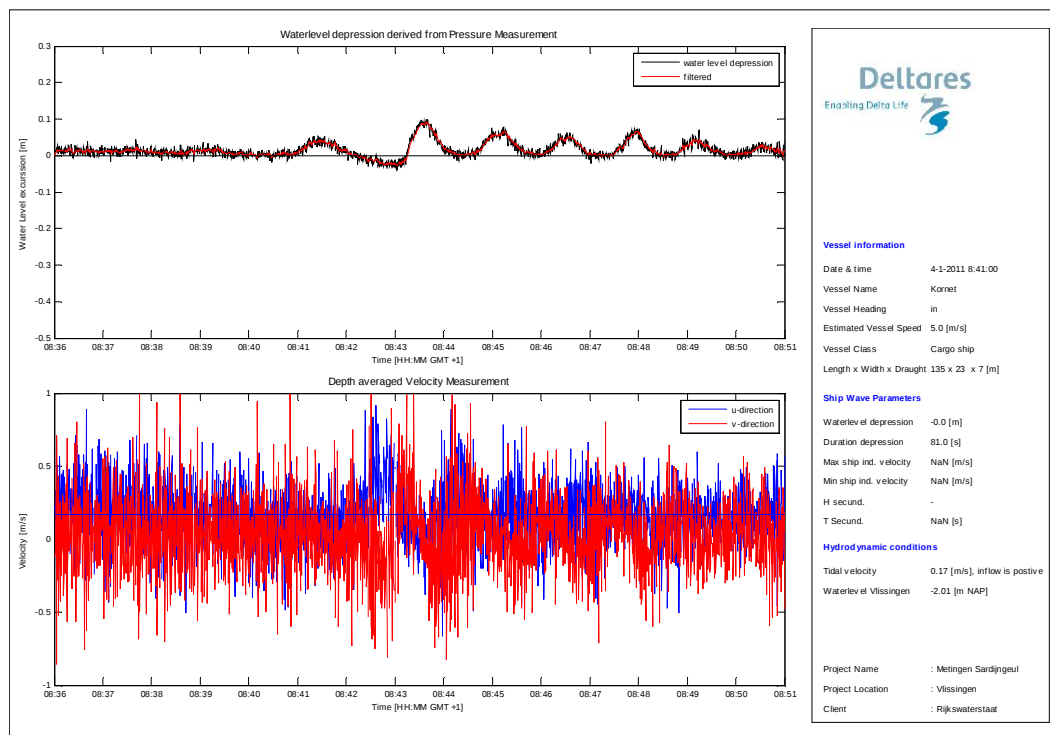
Event	Figuur	Vaarrichting		Waterspiegeldaling		
		inkomend	uitgaand	<0,1 m	0,1 - 0,2 m	>0,2 m
1	6.1	X		X		
7	6.2	X		X		
9	6.3	X		X		
22	6.4		X	X		
41	6.5		X	X		
43	6.6		X	X		
3	6.7	X			X	
25	6.8	X			X	
19	6.9		X		X	
26	6.10		X		X	
34	6.11		X		X	
42	6.12		X		X	
18	6.13		X			X
13	6.14		X			X
20	6.15		X			X
47	6.16		X			X
27	6.17		X			X
2	6.18		X			X
45	6.19		X			X
30	6.20		X			X



Project No. 1203778

Event 1

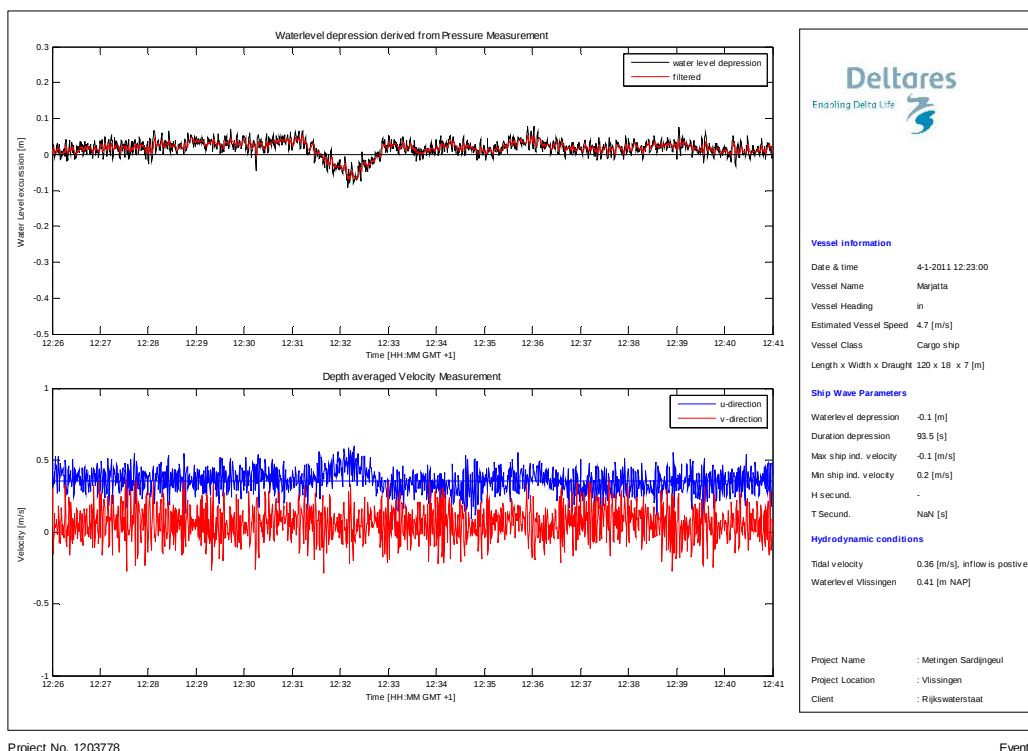
Figuur 6.1 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 1.



Project No. 1203778

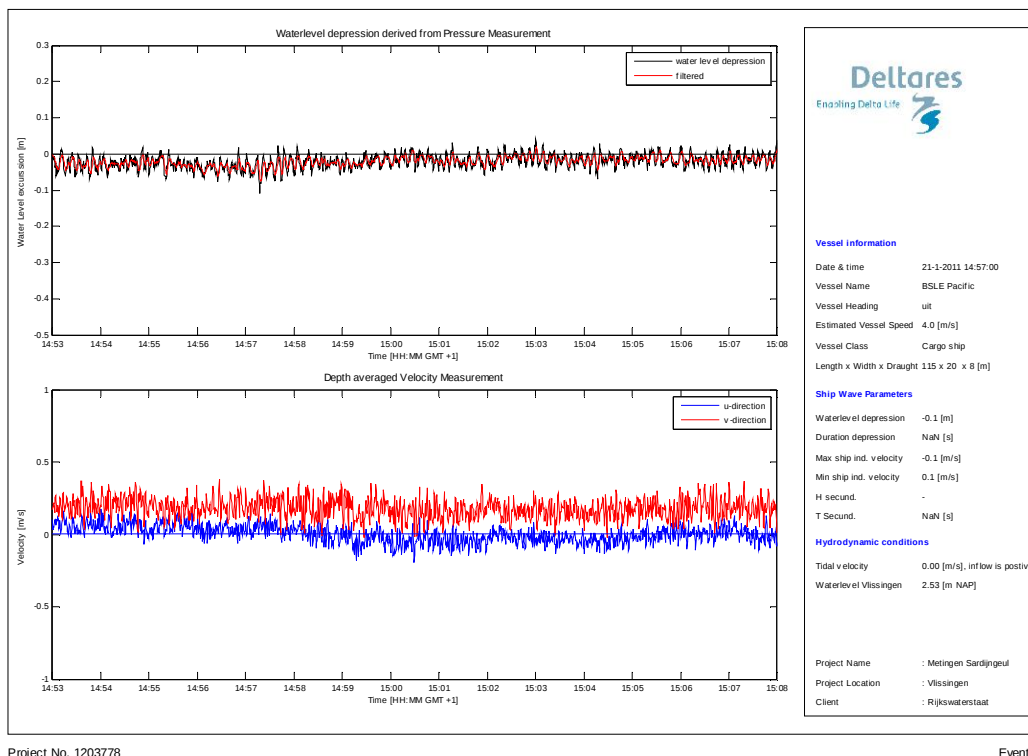
Event 7

Figuur 6.2 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 7.

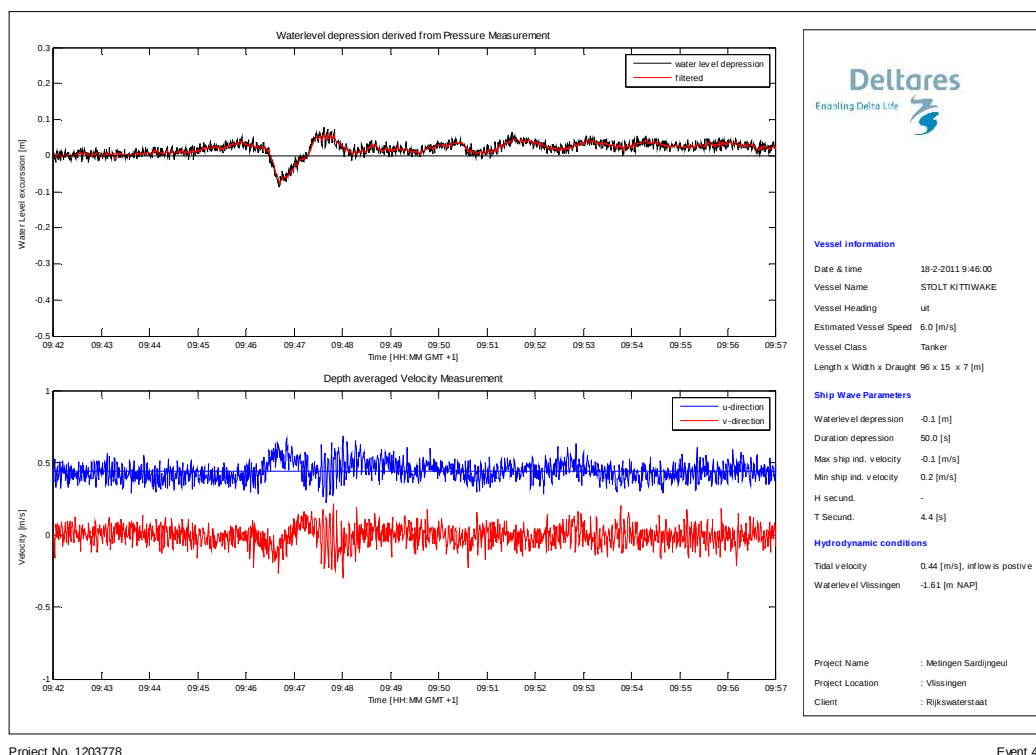


Figuur 6.3 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 9.

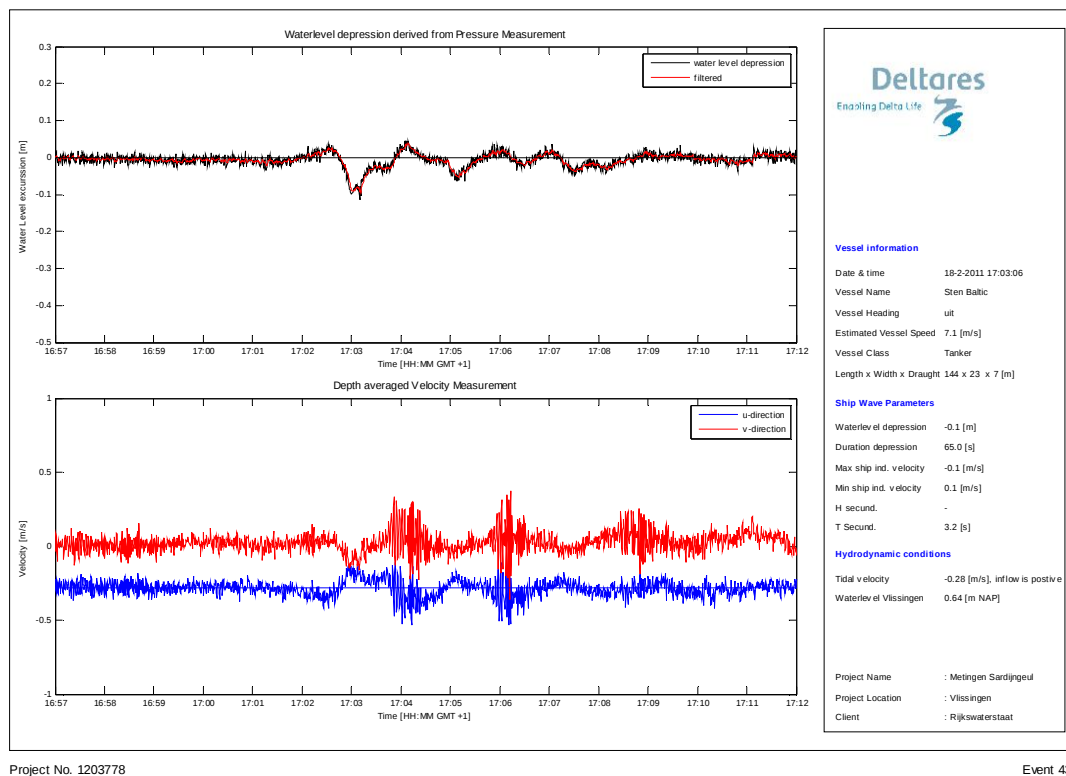
De meetresultaten van drie uitgaande schepen met een gemeten waterspiegeldaling kleiner dan 0,1 m betreffen event 22, 41 en 43 respectievelijk in de figuren 6.4, 6.5 en 6.6:



Figuur 6.4. Meetresultaten tijdens scheepspassage event 22.

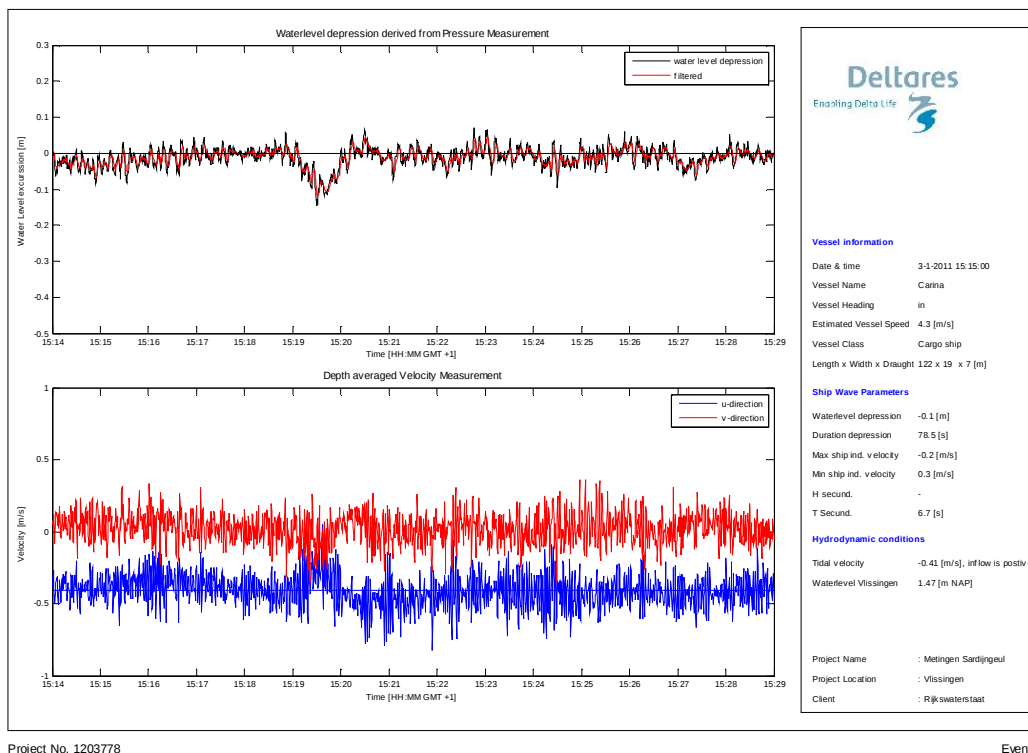


Figuur 6.5 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 41.

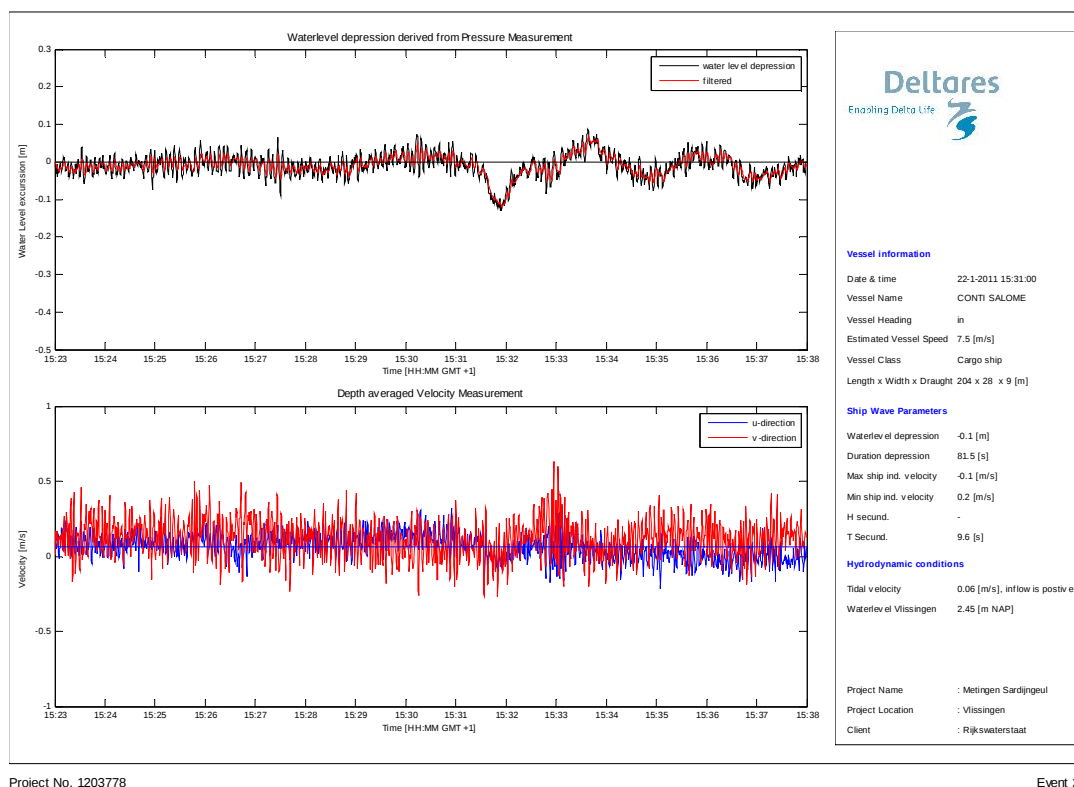


Figuur 6.6 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 43.

De meetresultaten van twee inkomende schepen met een waterspiegeldaling $< 0,2$ m en $> 0,1$ m betreffen event 3 en event 25 in respectievelijke figuren 6.7 en 6.8.

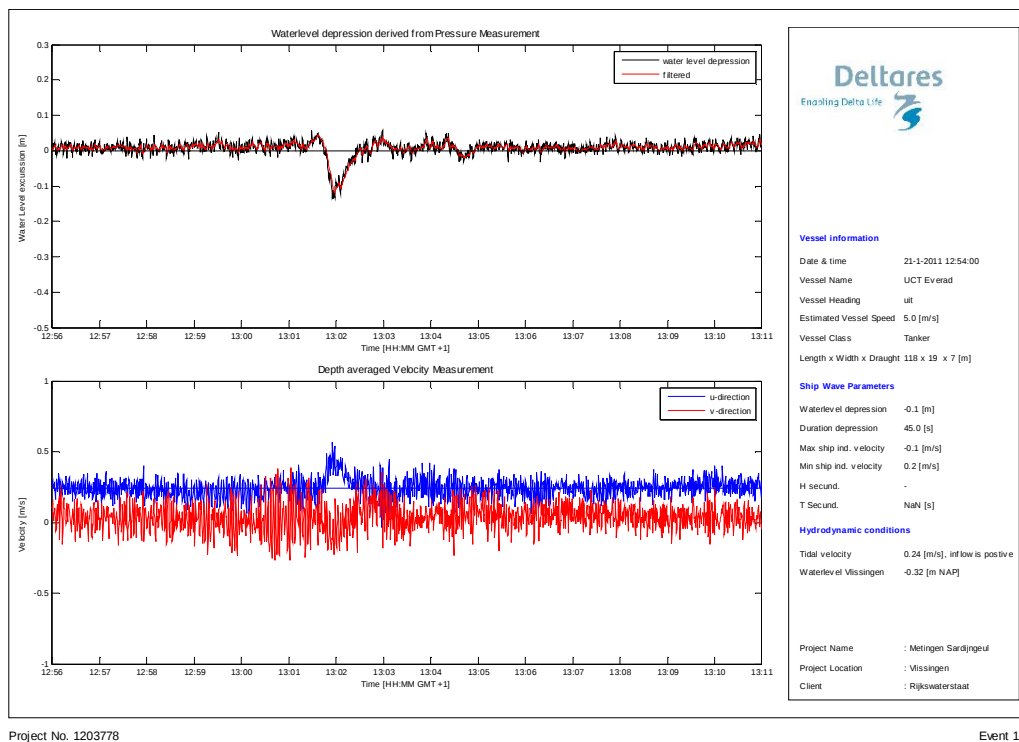


Figuur 6.7 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 3.

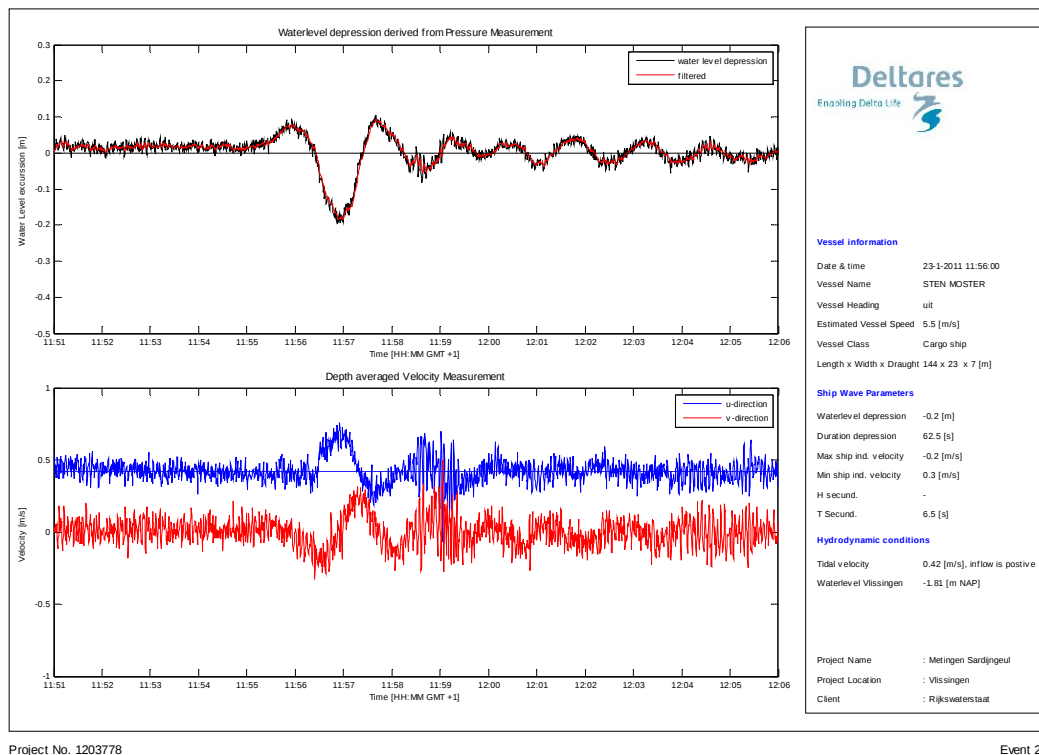


Figuur 6.8 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 25.

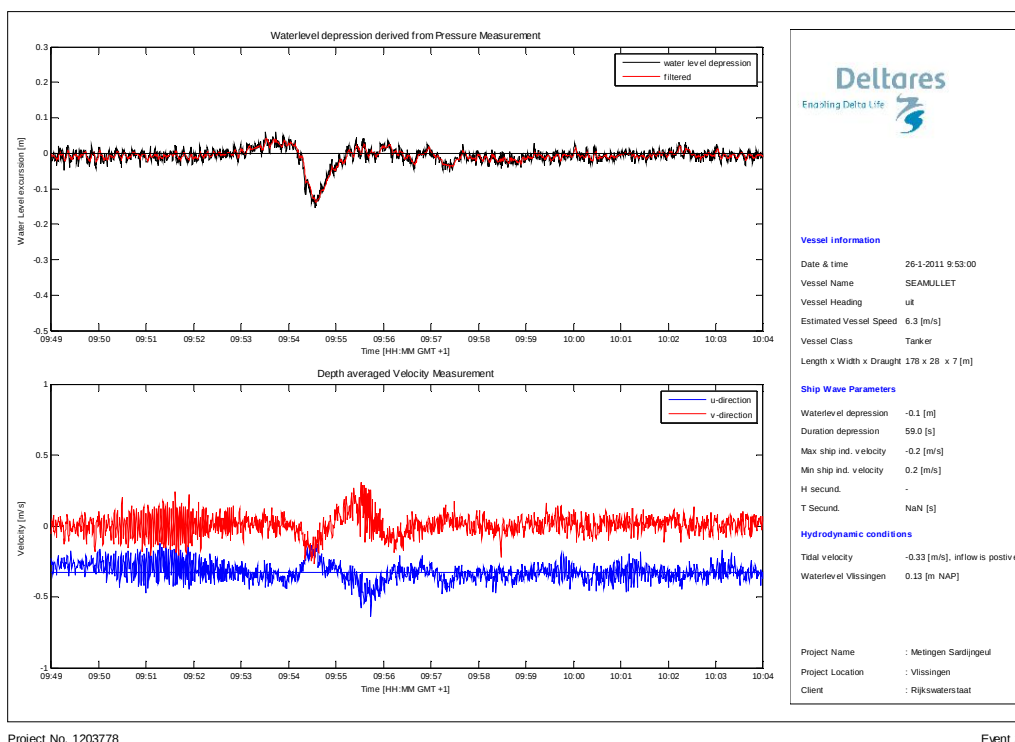
De meetresultaten van vier uitgaande schepen met een waterspiegeldaling $< 0,2$ m en $> 0,1$ m betreffen events 19, 26, 34 en 42 in respectievelijke figuren 6.9, 6.10, 6.11 en 6.12:



Figuur.6.9 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 19.



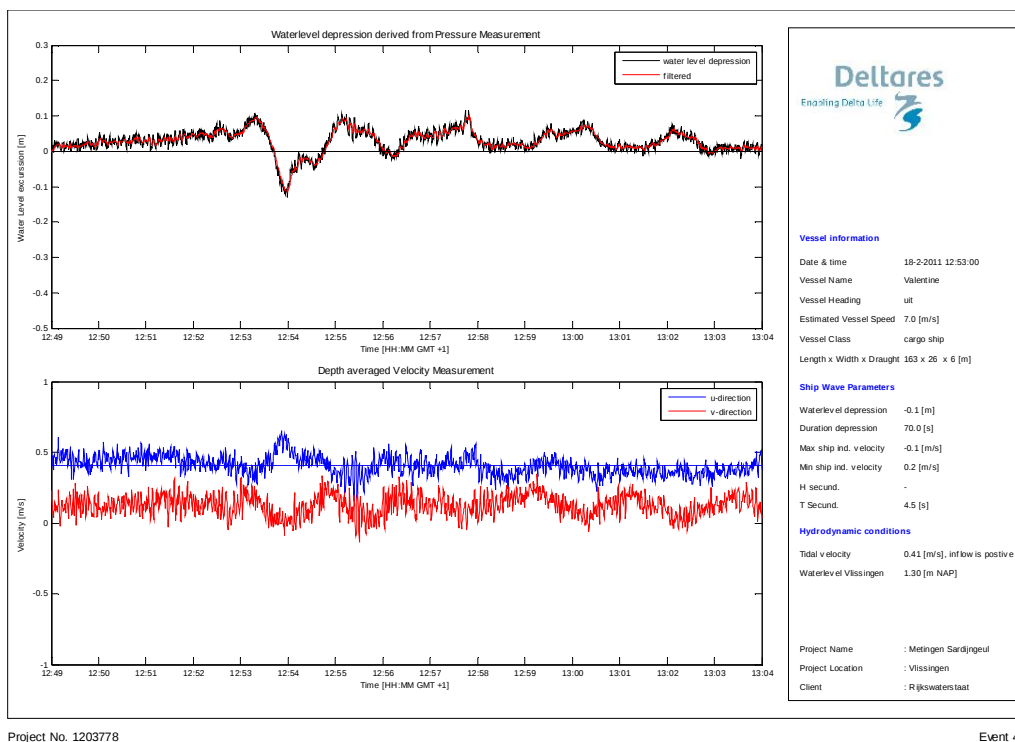
Figuur.6.10 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 26.



Project No. 1203778

Event 34

Figuur 6.11 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 34.

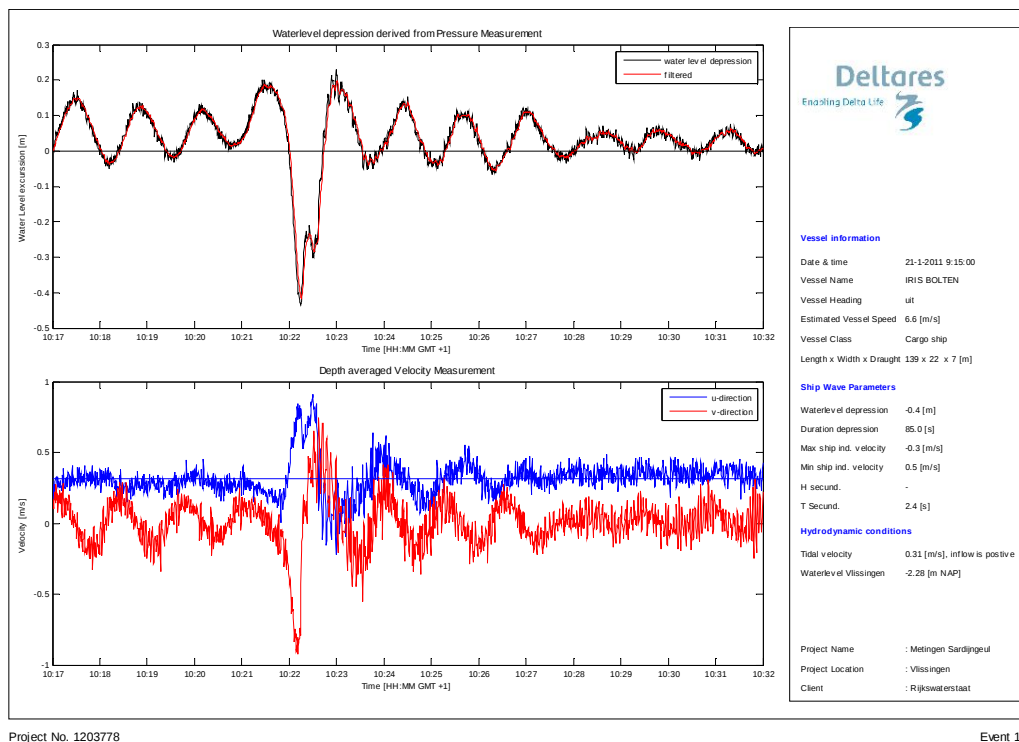


Project No. 1203778

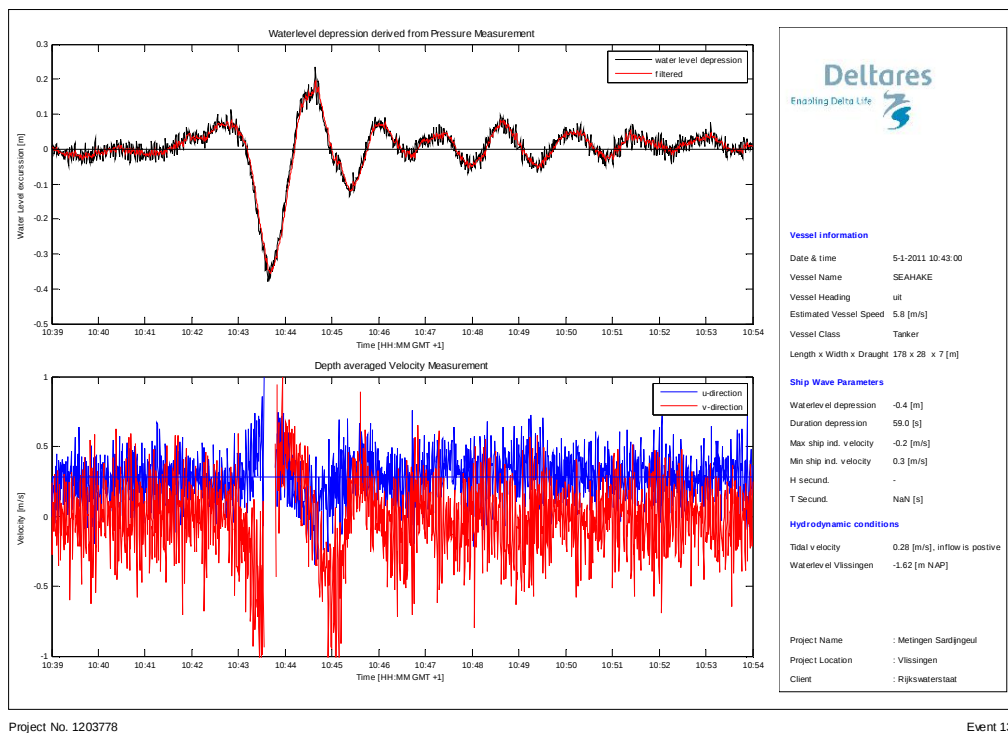
Event 42

Figuur 6.12 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 42.

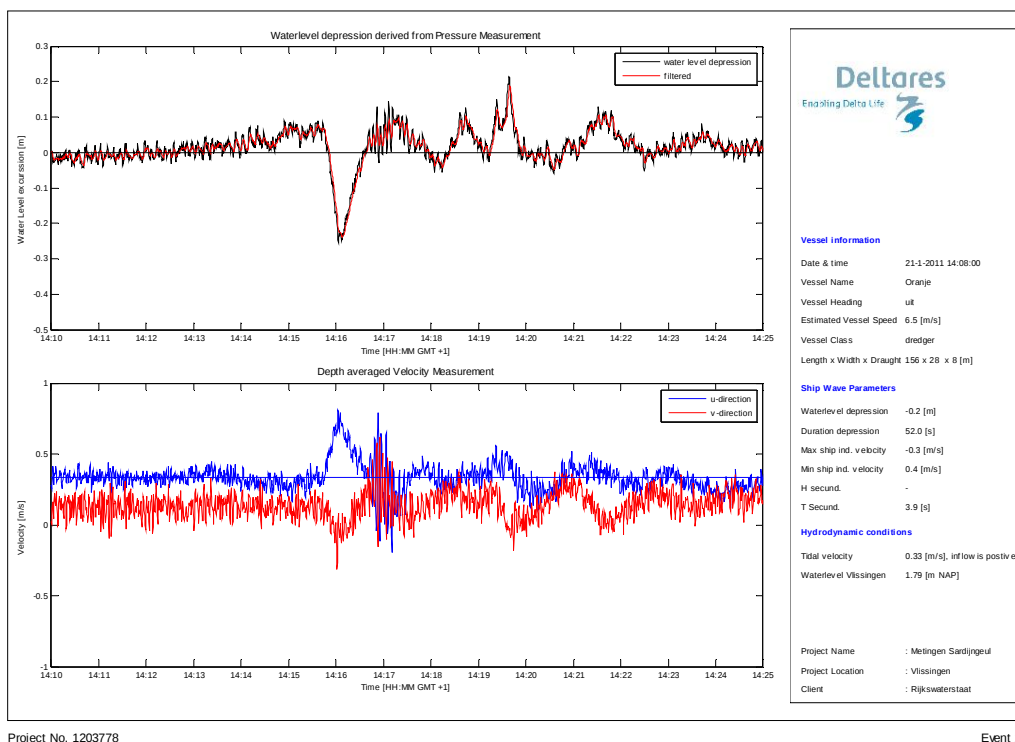
De meetresultaten van acht uitgaande schepen met een waterspiegeldaling groter dan 0,2 m betreffen events, 18, 13, 20, 47, 27, 2, 45 en 30 in de figuren 6.13 tot en met 6.20:



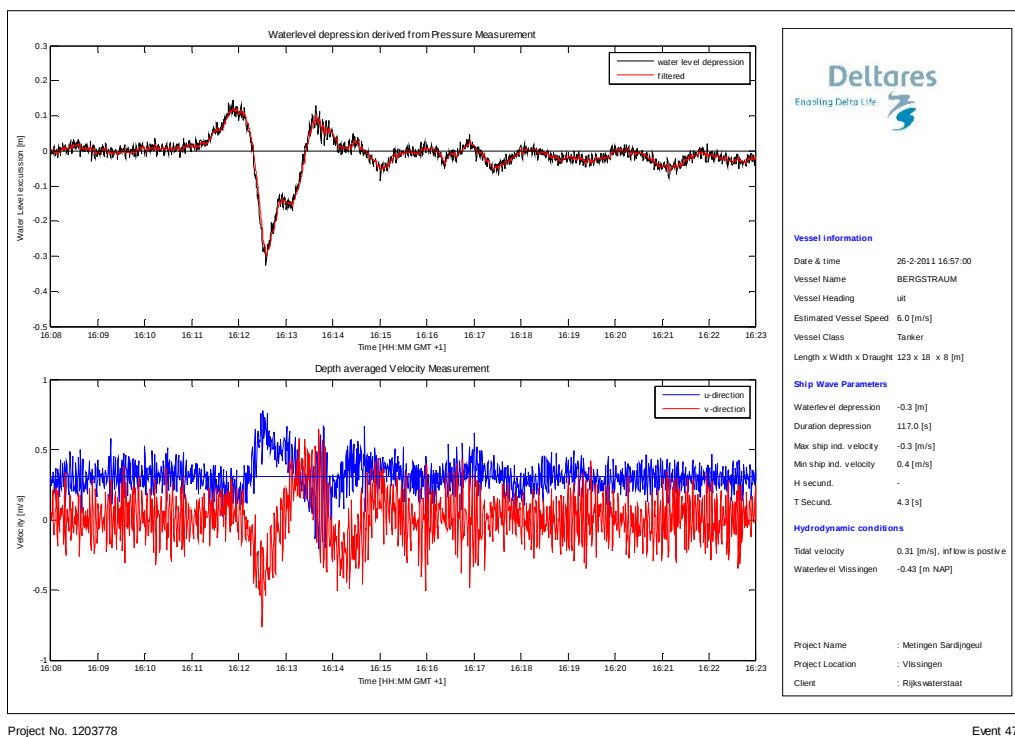
Figuur 6.13 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 18.



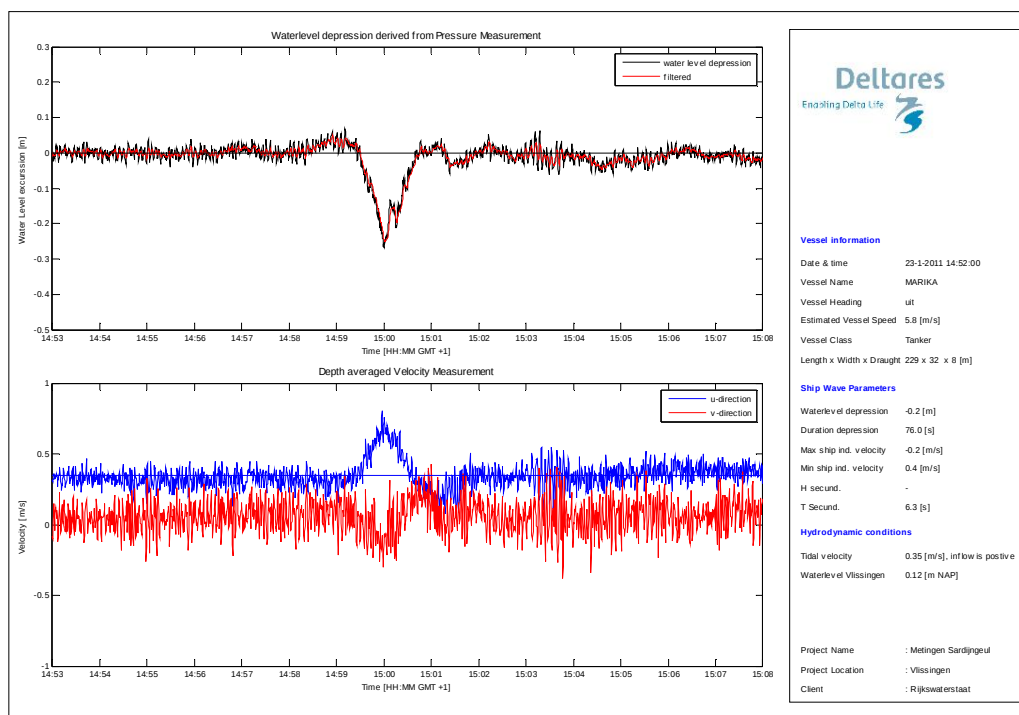
Figuur 6.14 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 13.



Figuur 6.15 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 20.



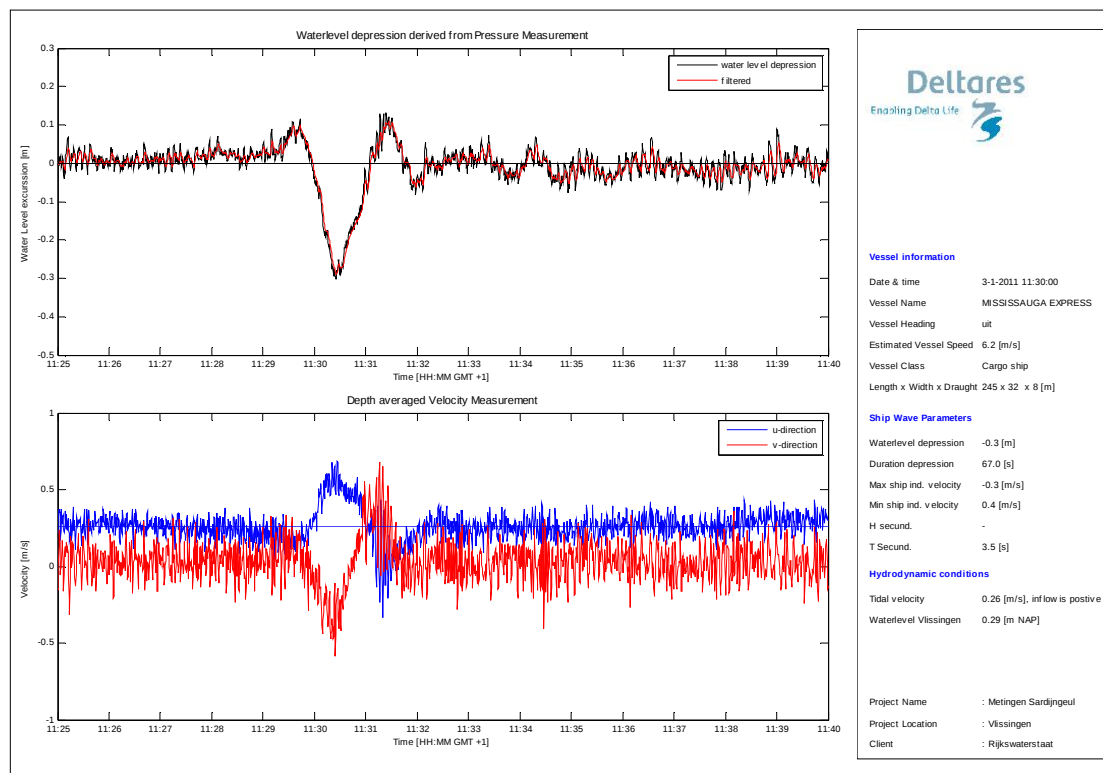
Figuur 6.16 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 47.



Project No. 1203778

Event 27

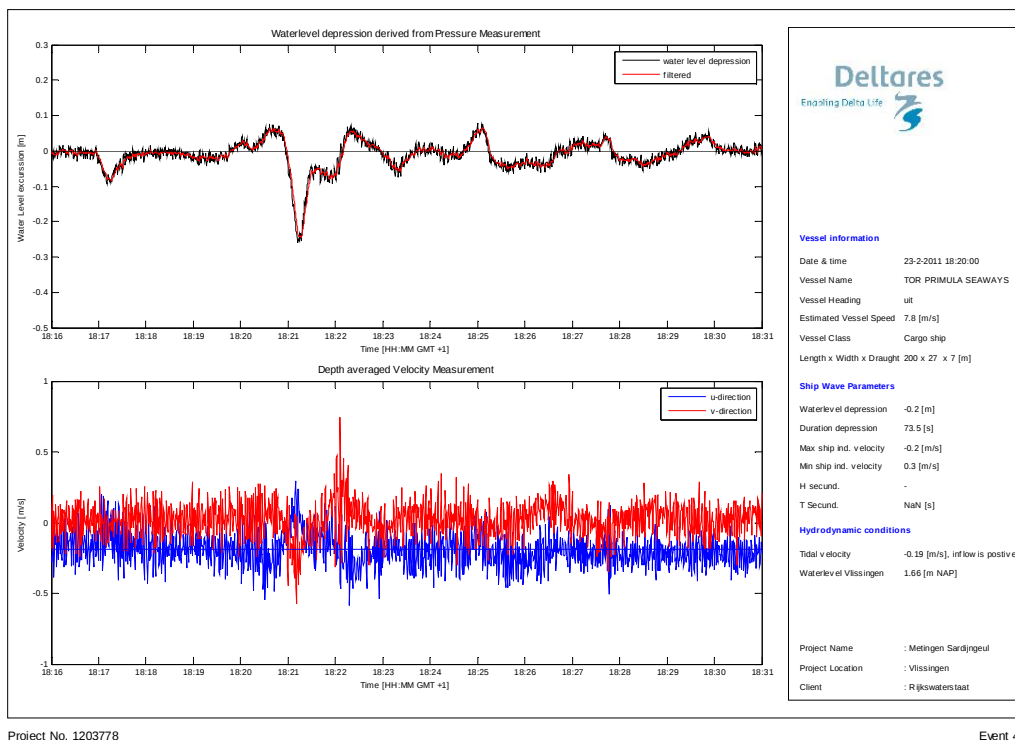
Figuur 6.17 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 27.



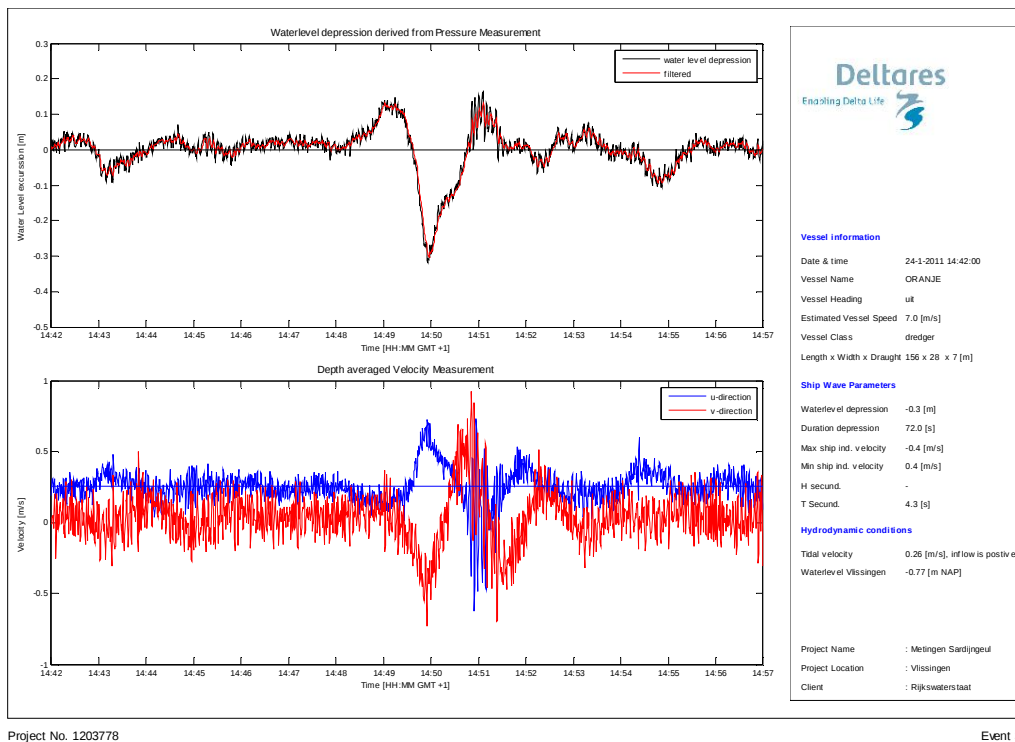
Project No. 1203778

Event 2

Figuur 6.18 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 2.



Figuur 6.19 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 45.



Figuur 6.20 Meetresultaten tijdens scheepspassage event 30.

6.3 Vaarsnelheid

De vaarsnelheid van uitgaande schepen is meestal constant voor het Badstrand, maar bij De Leugenaar versnellen die schepen vaak. Bij de 20 scheepspassages varieert de vaarsnelheid van minimum 2,8 m/s (5,7 knopen) tot maximum 7,8 m/s (15,7 knopen). Voorts betreffen 5 scheepspassages inkomende schepen en de overige passages zijn 15 uitgaande schepen. Er zijn minder inkomende schepen geselecteerd dan uitgaande schepen, omdat bij de strandwacht bekend is dat inkomende schepen minder hinder veroorzaken op het strand dan uitgaande schepen.

De grenssnelheid is in de praktijk een bovengrens van de vaarsnelheid van een zeeschip. De grenssnelheid in een beperkt vaarwater is een functie van gemiddelde waterdiepte, het oppervlak van het ondergedompelde deel van het grootspant en het vaarwegdwarsprofiel. Deze laatste parameter is in de Sardijngeul groot en alleen bij lage waterstanden is het vaarwegdwarsprofiel min of meer begrensd.

Op beperkt vaarwater kan de grenssnelheid berekend worden met formule (1)

$$v_{\text{grens}} = 0,543 \sqrt{g * h'} * \left[1 - \frac{A_M}{A_c} + 0,5 * \left(\frac{v_{\text{grens}}}{\sqrt{g * h'}} \right)^2 \right]^{1,5} \quad (1)$$

waarin

v_{grens} = grenssnelheid van een schip (m/s),

g = versnelling door de zwaartekracht (m/s²),

$h' = A_c/B_w$ (m),

A_c = oppervlak dwarsdoorsnede vaarwater (m²),

A_M = oppervlak van het ondergedompelde deel van het grootspant van een schip (m²)

$A_M = T * B_s$

T = diepgang van het schip (m),

B_s = breedte van het grootspant van een schip (m) en

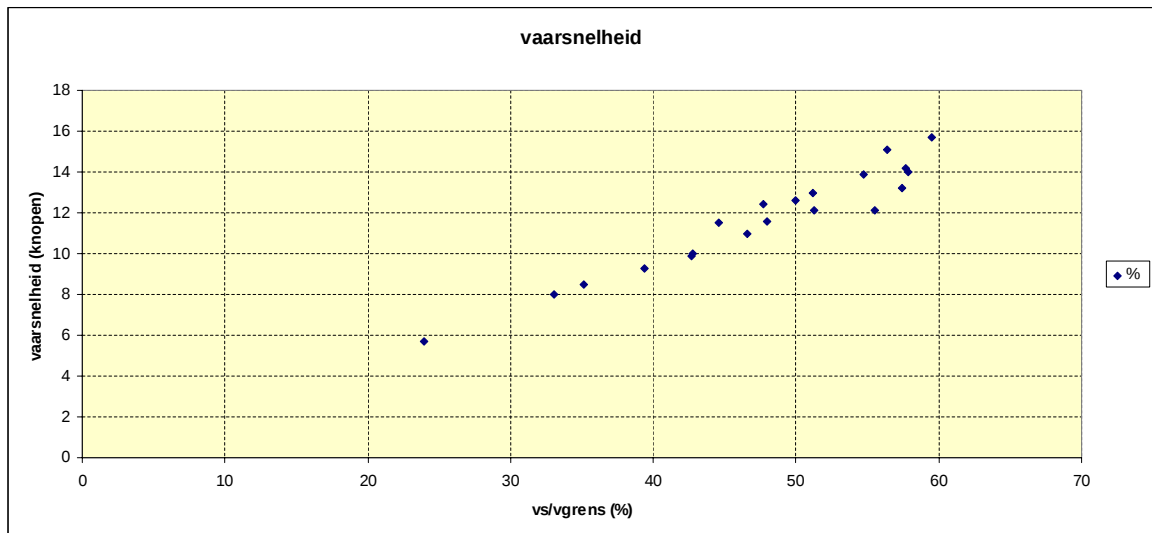
B_w = breedte van het vaarwater op de waterspiegel (m).

Bij de nauwkeurigheid van A_M is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de gegevens betreffende de diepgang. In hoofdstuk 5 is vermeld dat onzekerheid bestaat over de nauwkeurigheid van die gegevens.

Bij de berekening is A_c bepaald aan de hand van een gemeten dwarsprofiel in raai 10 van de Sardijngeul. Door aanzanding en erosie varieert het dwarsprofiel in de tijd. Voorts is het denkbaar dat vanuit fysisch oogpunt een middeling van enkele dwarsprofielen in aangrenzende raaien de voorkeur heeft boven een profiel uit een enkele raai. En de breedte van de Sardijngeul is zo groot dat het geen echt beperkt vaarwater is. Dat zijn redenen waarom de berekende grenssnelheid geen nauwkeurige parameter is.

De grenssnelheid is een natuurlijke grens voor de vaarsnelheid. Als de vaarsnelheid dicht bij de grenssnelheid is dan nemen waterspiegeldaling en retourstroomsnelheid asymptotisch toe. Bij de 20 scheepspassages varieert de grenssnelheid van 10,9 m/s (21,8 knopen) tot maximum 13,4 m/s (26,8 knopen). Deze variatie wordt voornamelijk door het getij en de grootte van een schip veroorzaakt. De schepen van de 20 scheepspassages voeren met een snelheid van 20 tot 60 % van de berekende grenssnelheid, zie figuur 6.21. In die figuur is er geen verschil tussen inkomende en uitgaande schepen. Verwacht werd dat inkomende schepen langzamer zouden varen vanwege het wisselen van de loods op de Rede van Vlissingen.

Er zijn slechts zes inkomende schepen en 14 uitgaande schepen en op zulke kleine aantallen kunnen geen algemene conclusies over het verschil tussen het inkomende en uitgaande scheepvaartverkeer worden gebaseerd.



Figuur 6.21 De vaarsnelheid van de 20 geselecteerde scheepspassages en de vaarsnelheid als percentage van de grenssnelheid.

6.4 Waterspiegeldaling

6.4.1 Inleiding

Van de gemeten waterspiegeldaling is de maximum waarde geanalyseerd in combinatie met de hoogte van de haalgolf (paragraaf 6.4.2). De ligging van dat maximum ten opzichte van een schip en het verloop van de waterspiegeldaling zijn in paragraaf 6.4.3 behandeld.

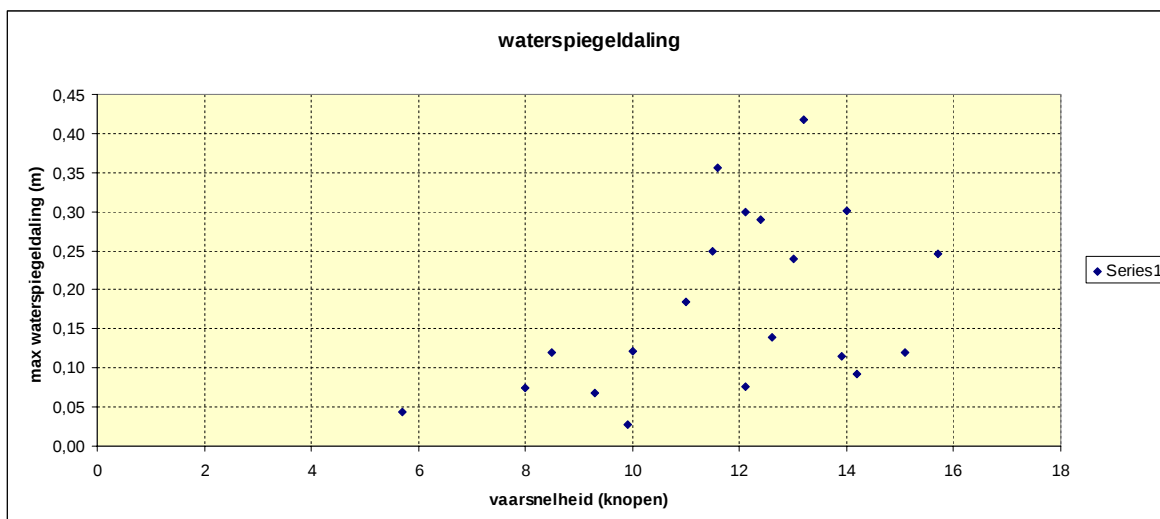
6.4.2 Maximum waterspiegeldaling en de hoogte van de haalgolf

In deze analyse is steeds de maximum waarde van de waterspiegeldaling op de meetlocatie beschouwd. Hypothese 1 is dat hoe groter de maximum waterspiegeldaling hoe groter de hinder op het strand. De 20 geselecteerde scheepspassages hebben een minimum waterspiegeldaling 0,02 m en de maximum gemeten waterspiegeldaling 0,41 m. De gemeten waarde is bepaald ten opzichte van een nullijn door het begin en eindpunt van het meetsignaal. In verschillende gevallen lijkt de werkelijke waterspiegeldaling iets groter te zijn geweest dan in deze analyse is bepaald.

De waterspiegeldaling is volgens een energiemethode (zie bijlage van de bureaustudie) een functie van de vaarsnelheid en van de vaarsnelheid ten opzichte van de grenssnelheid. De metingen bevestigen de trend dat de waterspiegeldaling toeneemt met de vaarsnelheid, maar ze laten ook een grote spreiding zien, zie figuren 6.22 en 6.23.

De gemeten maximale waterspiegeldaling is een empirische functie van de berekende gemiddelde waterspiegeldaling. Door de berekende gemiddelde waterspiegeldaling met 2,5 te vermenigvuldigen, komen berekende en gemeten maximale waterspiegeldaling enigszins overeen, zie figuren 6.24 waarin $d_h = \text{waterspiegeldaling}$. Deze coëfficiënt 2,5 is in sterke mate afhankelijk van de meetlocatie en die coëfficiënt heeft daarom geen algemene geldigheid. De berekende waterspiegeldaling kan worden verbeterd door rekening te houden met de getijstroming, translatiegolven, variatie van het dwarsprofiel van de Sardijngeul en de positie van het schip in de vaargeul. Door zoveel mogelijk langs de groene bebakening te varen neemt de gemeten maximum waterspiegeldaling iets af. Door rekening te houden met de positie van een schip in de vaargeul wordt de spreiding in de meetpunten in figuur 6.22 kleiner. Het dwarsprofiel van de Sardijngeul varieert van De Leugenaar tot het Badstrand sterk. In de berekening kan met deze variatie rekening worden gehouden. Voorts is de gemeten maximale waterspiegeldaling soms te laag uit het meetsignaal bepaald. Deze resultaten geven aan dat:

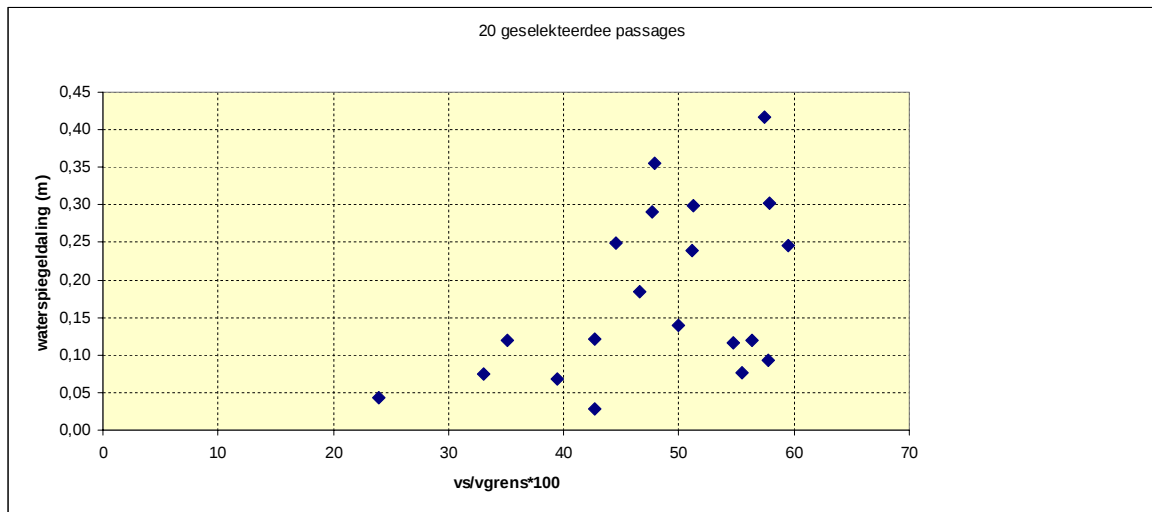
- (1) de maximum waterspiegeldaling kleiner is dan 0,1 m indien de vaarsnelheid kleiner is dan 8 knopen. Verwacht wordt dat een waterspiegeldaling kleiner dan 0,1 m geen hinder op het strand veroorzaakt.
- (2) de maximum gemeten waterspiegeldaling toeneemt als de vaarsnelheid toeneemt,
- (3) de uitgevoerde korte analyse niet heeft geleid tot een formule, waarmee uitgaande van de energiemethode de gemeten maximum waterspiegeldaling op de meetlocatie voldoende nauwkeurig kan worden voorspeld,
- (4) het lijkt mogelijk voor een meetlocatie een empirische formule op te stellen waarmee de maximale waterspiegeldaling met een voldoende nauwkeurigheid kan worden voorspeld als rekening wordt gehouden met meer parameters dan de vaarsnelheid, de afmetingen van de vaargeul en van het schip en
- (5) dat de spreiding tussen de gemeten en de berekende waterspiegeldaling kan worden verminderd met een voortgezette analyse, waarbij de tot nu toe niet-geanalyseerde veldgegevens worden betrokken.



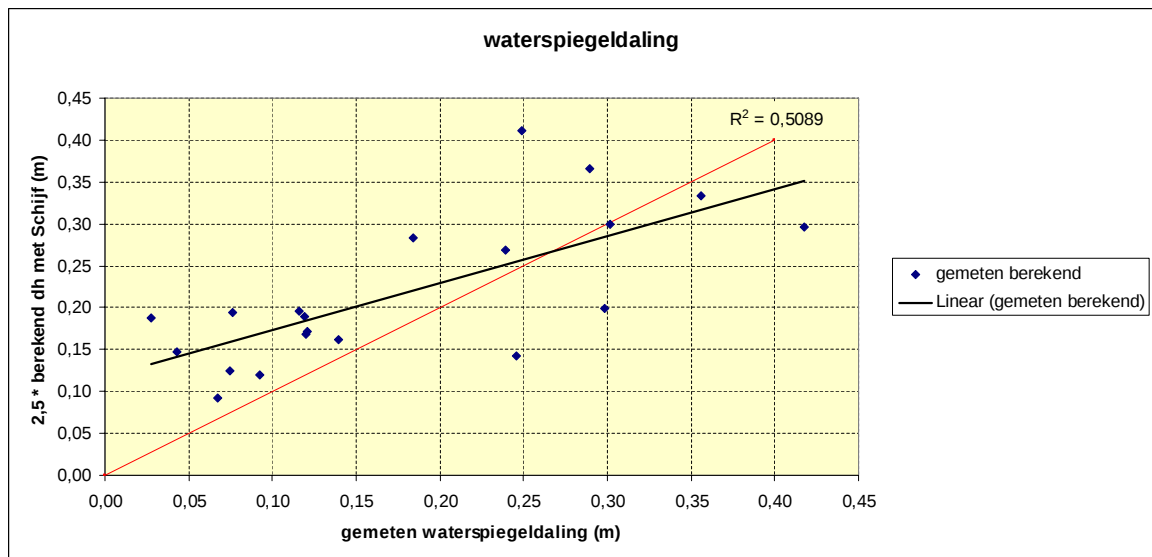
Figuur 6.22 De gemeten maximum waterspiegeldaling als functie van de vaarsnelheid.

De aangenomen maximum waterspiegeldaling van 0,60 m als randvoorwaarde van de Tritonberekeningen lijkt nabij het Badstrand een realistische waarde voor de maximum waterspiegeldaling in een extreme situatie. De door de ADCP gemeten maximum waarde van de waterspiegeldaling was iets meer dan 0,4 m.

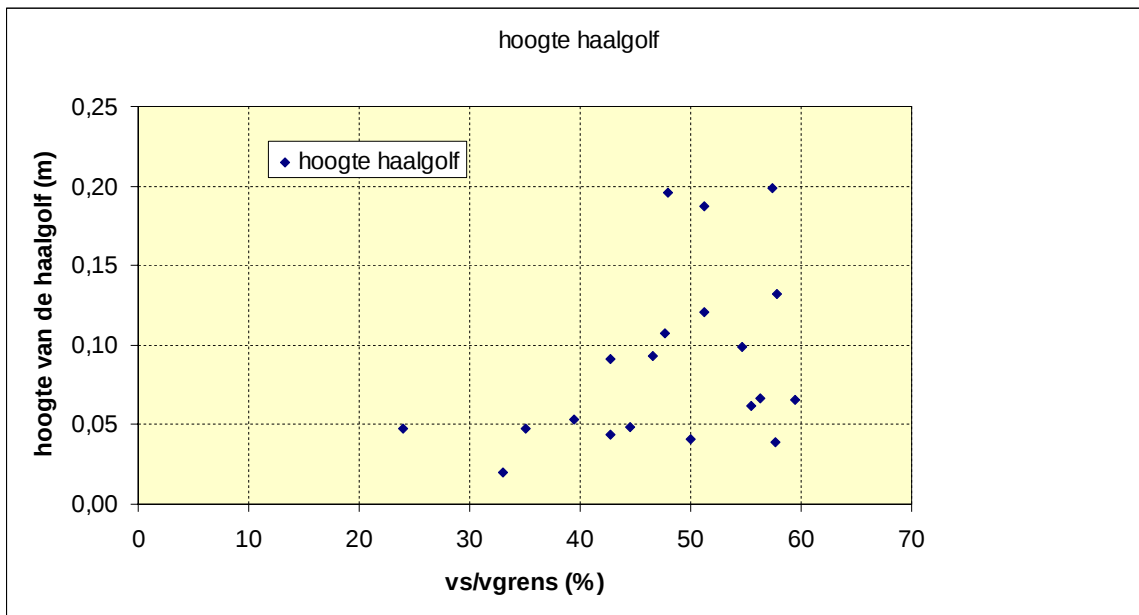
De hoogte van de haalgolf is gemeten ten opzichte van de getrokken nullijn. Zoals eerder opgemerkt is die nullijn niet heel nauwkeurig getrokken. Het blijkt dat de hoogte van de haalgolf ongeveer de helft is van de maximum waterspiegeldaling, zie figuren 6.25 en 6.26. De hoogte van de haalgolf is van belang voor de hinder op het strand. Hypothese 2 is dat hoe groter de hoogte van de haalgolf hoe groter de hinder op het strand.



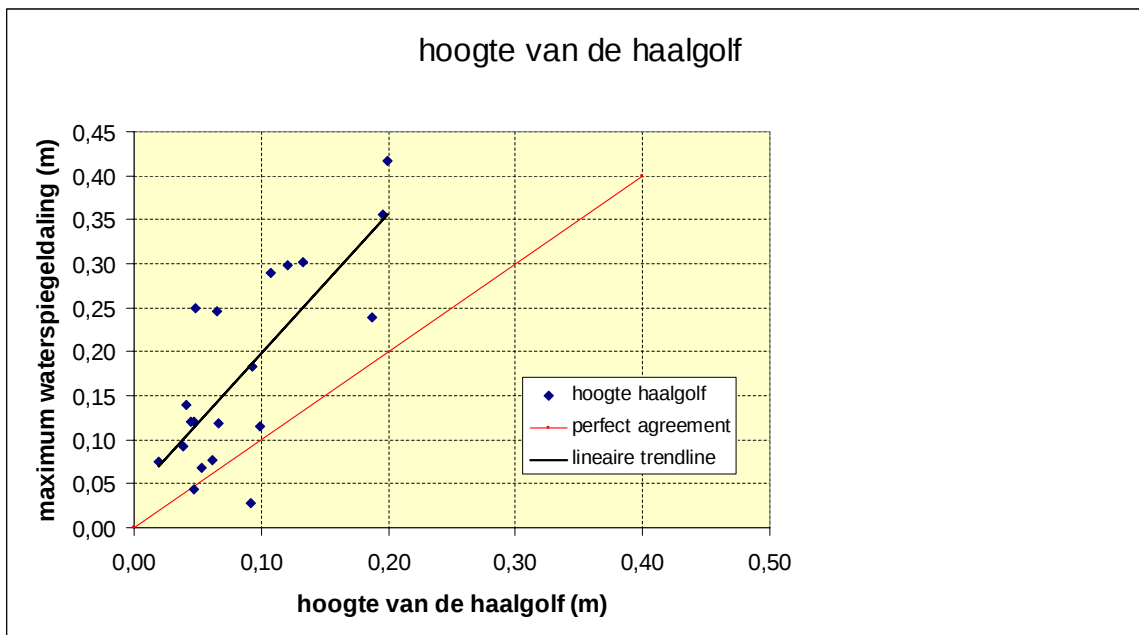
Figuur 6.23 De gemeten maximum waterspiegeldaling als functie van vaarsnelheid/grenssnelheid.



Figuur 6.24 De gemeten en de berekende maximum waterspiegeldaling.



Figuur 6.25 De hoogte van de haalgolf als functie van v_s/v_{grens} (%).



Figuur 6.26 De hoogte van de haalgolf als functie van de maximum waterspiegeldaling.

6.4.3 De plaats van de maximum waterspiegeldaling en het verloop van de waterspiegeldaling

Op enige afstand van een schip heeft de waterspiegeldaling bij benadering de vorm van een schotel. Bij een schotelvormige waterspiegeldaling is de plaats van de maximum waterspiegeldaling op een lijn loodrecht op de lengteas van een schip en die lijn gaat door het midden van het schip. In de met een druksensor bij de ADCP gemeten signalen treedt de maximum waterspiegeldaling op 0,3 tot 0,5 van de scheepslengte L_s gemeten vanaf de boeg op, zie voorbeelden in de figuren 6.27 tot en met 6.32 (L_s = de lengte van het schip op de waterspiegel (m)). Op de locatie van de ADCP is de waterspiegeldaling nog niet schotelvormig.

Opgemerkt wordt dat deze figuren uitsneden zijn van de figuren met dezelfde events van de serie figuren 6.1 tot en met 6.20. In die figuren is het gemeten signaal en een middeling van het gemeten signaal opgenomen. De kenmerken van de schepen van de events in die figuren staan in tabel 6.2.

Het verloop van de waterspiegeldaling op de meetlocatie vanaf het moment dat de waterspiegeldaling gaat afnemen wordt door de steilheid van de afname gekarakteriseerd. De waterspiegeldaling gaat dan over in de haalgolf. Hypothese 3 is dat een grote golfsteilheid van de haalgolf leidt tot meer hinder op het strand. Voor de hinder op het strand is de maatgevende parameter, namelijk de som van de maximum waterspiegeldaling en de hoogte van de haalgolf, uit te breiden tot de golfsteilheid van de haalgolf. Het lijkt aannemelijk dat de golfsteilheid vervormt tijdens het voortplanten van de golf naar het strand (een zogenaamd shoaling-effect). De golfsteilheid is bij benadering de som van de maximum waterspiegeldaling en de hoogte van de haalgolf gedeeld door de afstand tussen de maximum waterspiegeldaling en het hek van een schip. Dit geldt bij een enkelvoudig maximum. In de figuren blijkt dat in sommige gevallen een lokaal minimum in de waterspiegeldaling maatgevend is voor de golfsteilheid. In die gevallen moet de maximum waterspiegeldaling vervangen worden door de waterspiegeldaling in het lokale maximum. Een lokaal maximum in de waterspiegeldaling kan veroorzaakt worden door:

- De vorm van het onderwater schip.
- De vervorming door het strand en de paalhoofden.
- Het bijdraaien, versnellen en vertragen van het schip, waardoor een negatieve translatiegolf ontstaat.

Aanbevolen wordt in een aanvullende analyse deze verschijnselen verder te onderzoeken, omdat deze verschijnselen mogelijk invloed hebben op de maximum waterspiegeldaling en daarmee op de grootte van de golf op het strand.

Opgemerkt wordt dat het verloop van de waterspiegeldaling bij de tanker van event 17 afwijkt van het verloop van de waterspiegeldaling bij de andere scheepspassages. Het betreft de passage van een tanker waarbij de waterspiegeldaling over een periode van ruim 15 s een vrijwel constante daling vertoont. Het verloop van de waterspiegeldaling hangt af van de vorm van de romp van een schip, de positie van een schip in een vaarweg en van het verloop van de bodem van een vaarweg. Uit de kleine selectie blijkt geen relatie tussen de vorm van de waterspiegeldaling en de blokcoëfficiënt van een schip. Voor het optreden van een lokaal maximum in de waterspiegeldaling naast het absolute maximum is geen verklaring voorhanden.

De vorm van de waterspiegeldaling wordt ook door de vertrimming van een schip bepaald. Als een ongeladen schip achterover is vertrimd, dan verschuift de maximum waterspiegeldaling ook richting het hek. Door achterover te vertrimmen neemt de golfsteilheid toe en daarmee ook de hinder op het strand. Opgemerkt wordt dat bij het beladen een schip bij voorkeur achterover wordt vertrimd en dat bij binnenvaartschepen grote golven worden opgewekt door halfgeladen schepen die achterover vertrimmen. Het is onbekend of dat ook voor zeeschepen geldt. De bestuurbaarheid van achterover vertrimde schepen is beter dan de bestuurbaarheid van niet vertrimde of voorover vertrimde schepen.

Als de hypothesen bevestigd worden, is de som van de maximum waterspiegeldaling en de hoogte van de haalgolf een goede parameter voor de hinder op het strand:

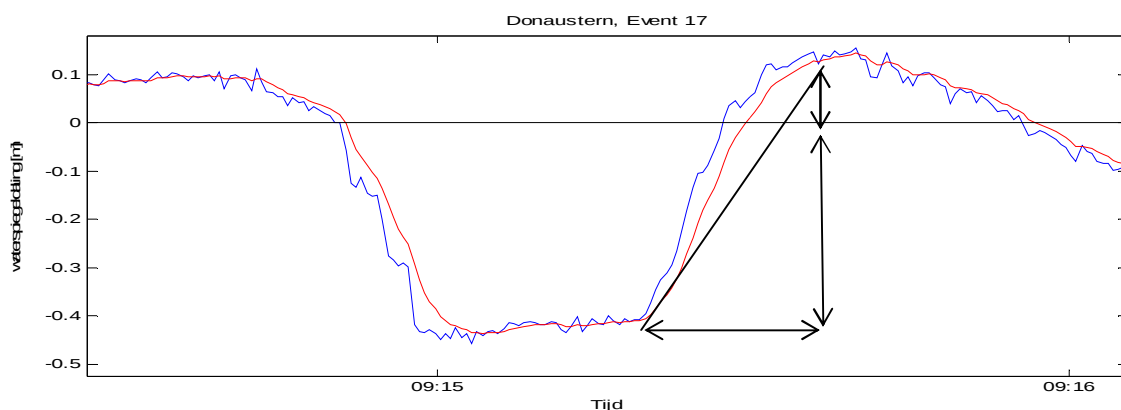
hypothese 1 is dat hoe groter de maximum waterspiegeldaling hoe groter de hinder op het strand en

hypothese 2 is dat hoe groter de hoogte van de haalgolf hoe groter de hinder op het strand.

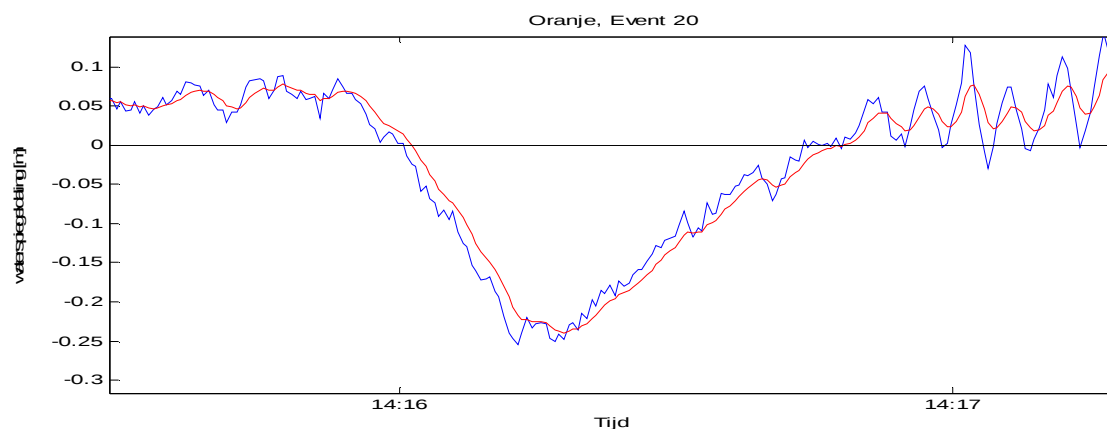
Hypothese 3 is dat een grote golfsteilheid van de haalgolf leidt tot meer hinder op het strand. De uitgevoerde analyse van de metingen lijkt deze hypothesen gedeeltelijk te bevestigen, maar deze bevestiging is niet compleet omdat de hinder op het strand niet in een parameter is gekwantificeerd.

Tabel 6.2 Kenmerken van de schepen waarvan de gemeten waterspiegeldaling in de figuren 6.27 tot en met 6.32 is getoond.

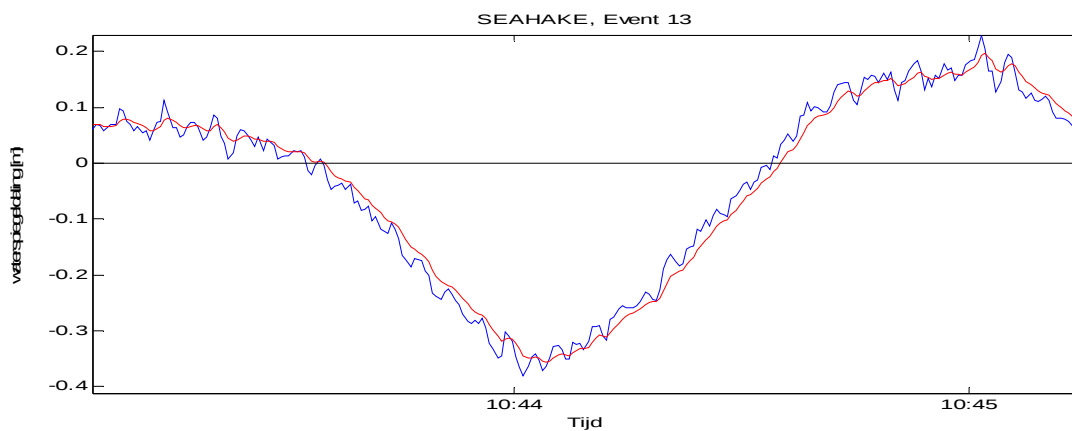
Event	Naam van het schip	Type schip	Diepgang	Breedte	Lengte
			(m)	(m)	(m)
17	Donaustern	tanker	7,4	24	178
20	Oranje	hopperzuiger	7	28	156
13	Seahake	tanker	7,1	28	178
30	Oranje	hopperzuiger	7	28	156
45	TOR Primula Seaways	ferry	7,1	26,5	200
27	Marika	tanker	8,4	22,2	229



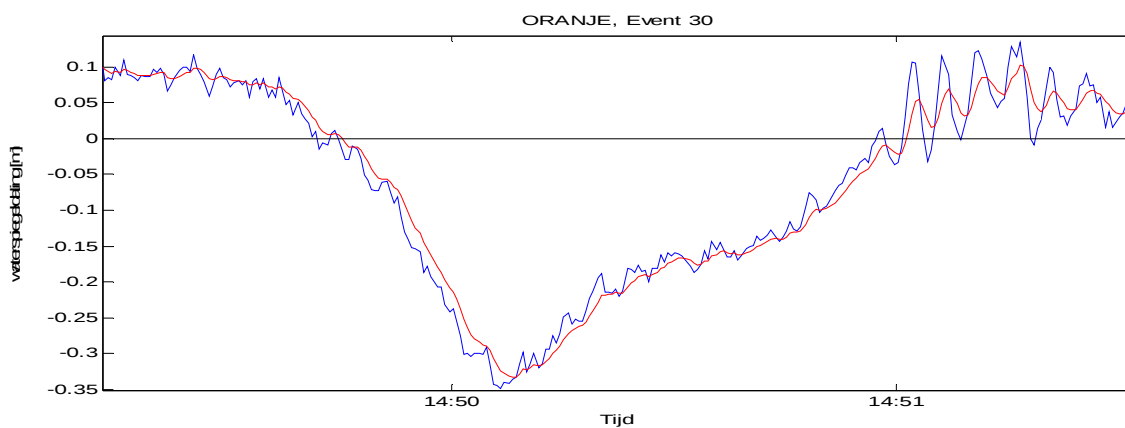
Figuur 6.27 Waterspiegeldaling tijdens scheepspassage 17, de tanker Donaustern, met een schets van de definitie van golfsteilheid.



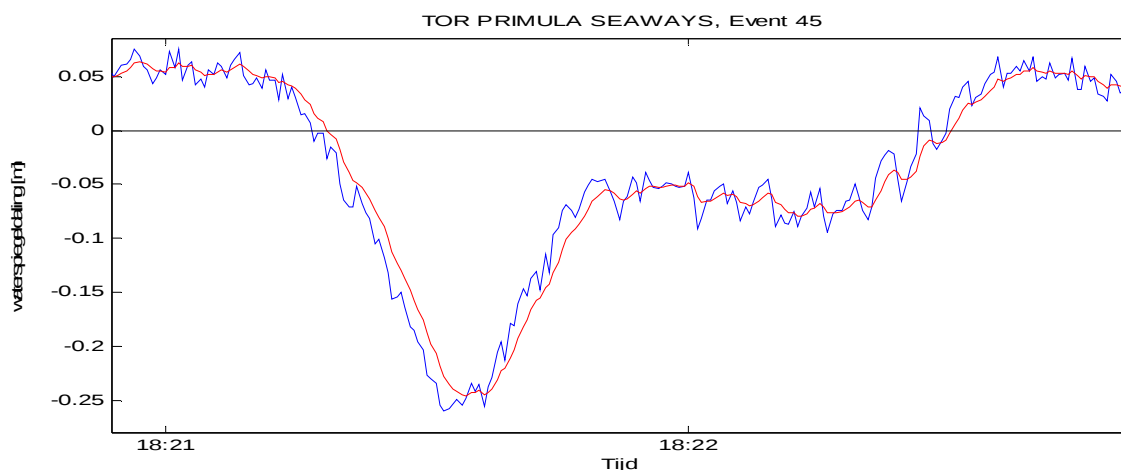
Figuur 6.28 Waterspiegeldaling tijdens scheepspassage 20, de Hopperzuiger Oranje.



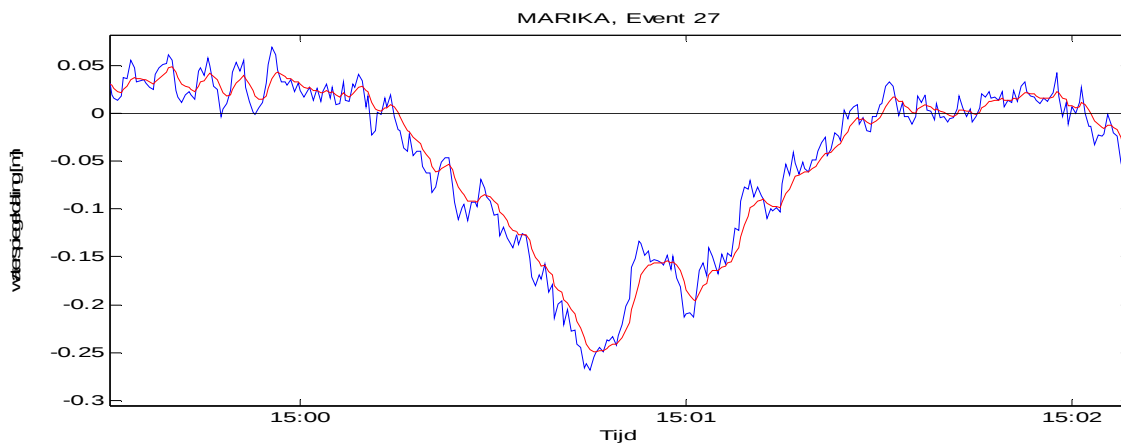
Figuur 6.29 Waterspiegeldaling tijdens scheepspassage 13, de tanker Seahake.



Figuur 6.30 Waterspiegeldaling tijdens scheepspassage 30, (wederom) de hopperzuiger Oranje.



Figuur 6.31 Waterspiegeldaling tijdens scheepspassage 45, het ferryschip TOR Primula Seaways.

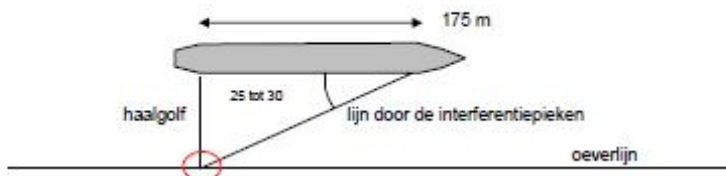


Figuur 6.32. Waterspiegeldaling tijdens scheepspassage 27, de tanker Marika.

6.5 Interferentiepieken

De veronderstelling dat interferentiepieken de hinder op het Badstrand veroorzaken is niet juist. Wel kunnen de interferentiepieken samenvallen met de haalgolf op het strand. Dan versterken de interferentiepieken de hinder op het strand.

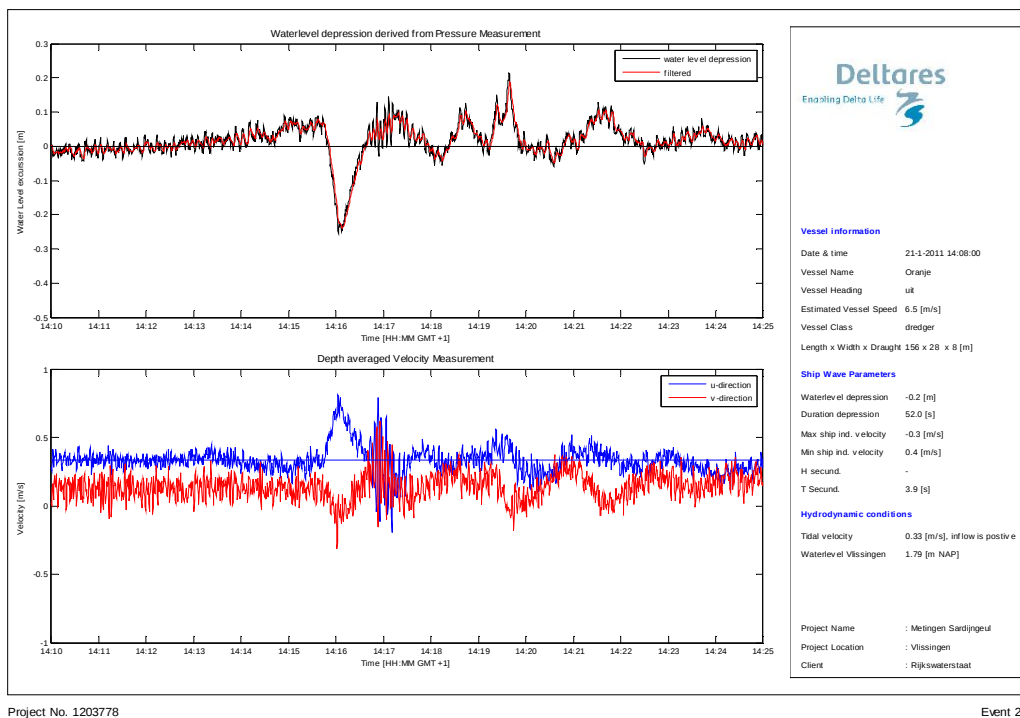
Het samenvallen van de interferentiepieken met de haalgolf is afhankelijk van de lengte van het schip en de afstand tussen de zijkant van een schip en de beschouwde locatie, zie schets in figuur 6.33 (zie Wal, 2009). Dat betekent dat het samenvallen ook afhankelijk is van de route van een schip in de vaargeul.



Figuur 6.33. Schets van het samenvallen van de interferentiepieken met de haalgolf.

Op de meetlocatie, en dus niet op het strand, is het samenvallen van de interferentiepieken en de haalgolf bij verschillende passages ook gemeten, zie het voorbeeld in figuur 6.34 en ook de events 2, 20, 30, 45 en 47, in respectievelijk figuren 6.18, 6.15, 6.20, 6.19 en 6.16. In andere gevallen kwamen de interferentiepieken op de meetlocatie iets na de haalgolf. In die gevallen veroorzaken de interferentiepieken geen hinder op het strand.

Visuele waarnemingen tijdens de meetdagen in januari en februari hebben laten zien dat de interferentiepieken ook op het strand kunnen samenvallen met de haalgolf. Waarschijnlijk is dat afhankelijk van de waterstand.



Figuur 6.34 Voorbeeld van het samenvallen van de interferentiepieken en de haalgolf op de meetlocatie.

6.6 Halingen

Na de haalgolf volgen bij sommige scheepspassages een aantal (3 tot meer dan 6) halingen, die bijdragen aan de hinder op het strand, zie het voorbeeld van een haalgolf en de halingen die op 21 januari 2011 op het Badstrand zijn gefotografeerd, figuren 6.35 tot 6.46. Is de eerste golf voorbij, dan is het een verrassing dat er nog enkele volgen.



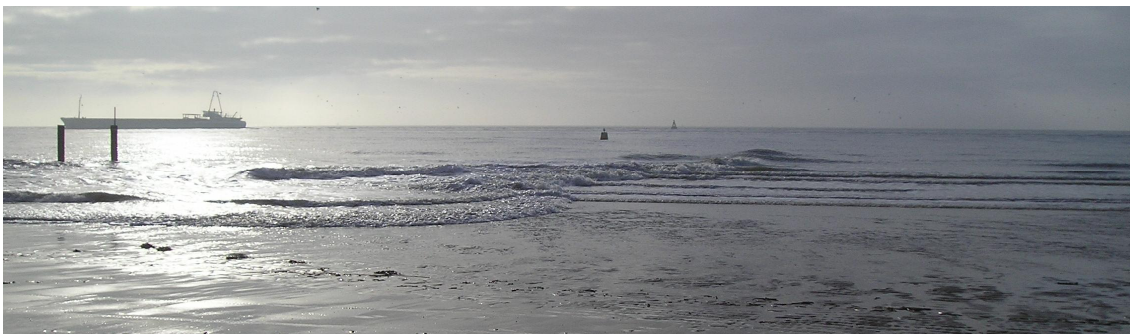
Figuur 6.35 Passage van de UCT Everad, event 19, de waterspiegeldaling bereikt het strand tijdens laagwater.



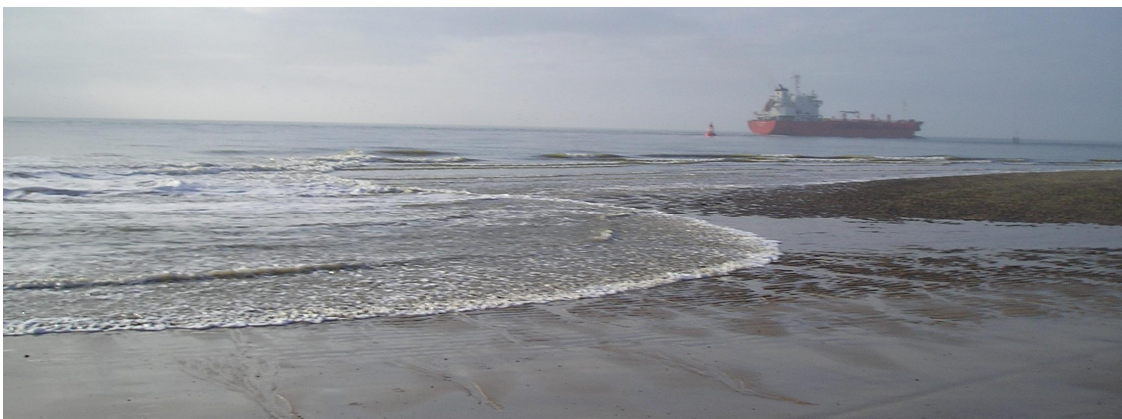
Figuur 6.36 De haalgolf van de UCT Everad passeert een palenrij.



Figuur 6.37 Achter de haalgolf van de UTC Everad zijn de secundaire golven (interferentiepieken) zichtbaar.



Figuur 6.38 De haalgolf van de UIC Everad.



Figuur 6.39 De haalgolf van de UTC Everad vervormt door en vult een kleine, ondiepe geul op het strand.



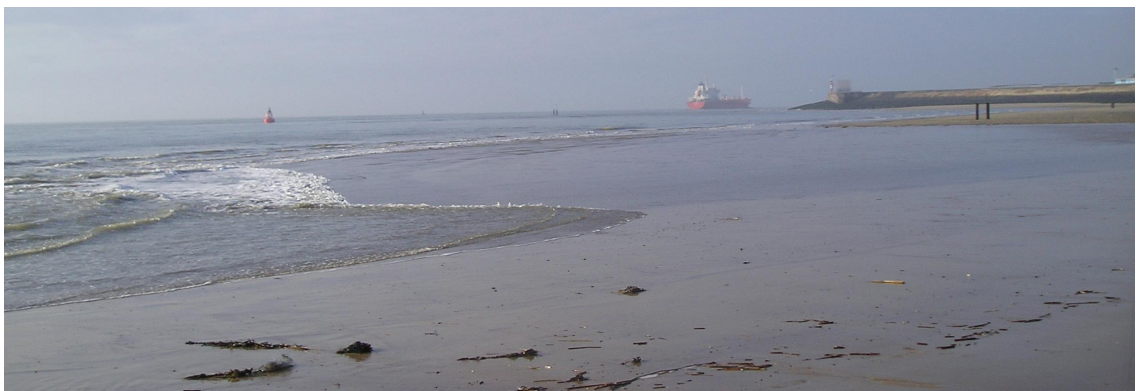
Figuur 6.40 Ver achter de UTC Everad waaiert de haalgolf uit en vult de ondiepe geul op het strand.



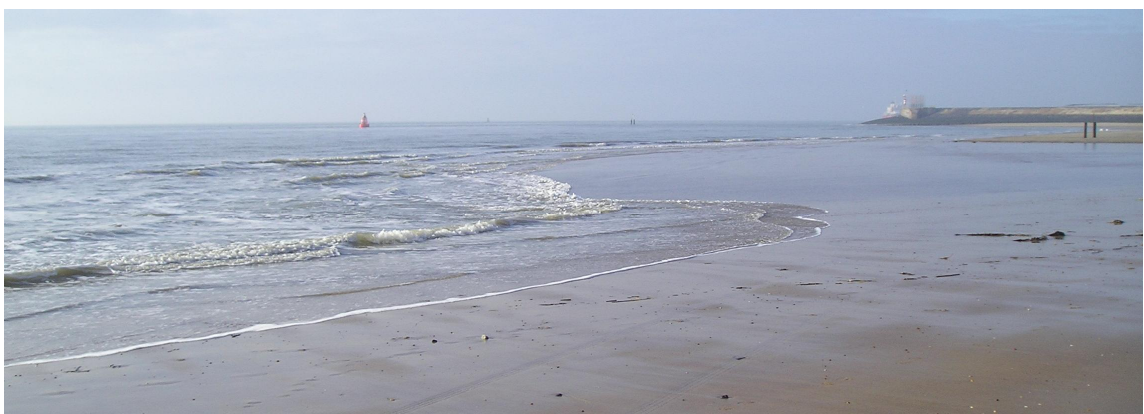
Figuur 6.41 Na de haalgolf daalt de waterspiegel als onderdeel van de eerste haling.



Figuur 6.42 Het front van de eerste haling over het drooggevalen strand.



Figuur 6.43 Het front van de eerste haling vervormt en vult de drooggevalen ondiepe geul.

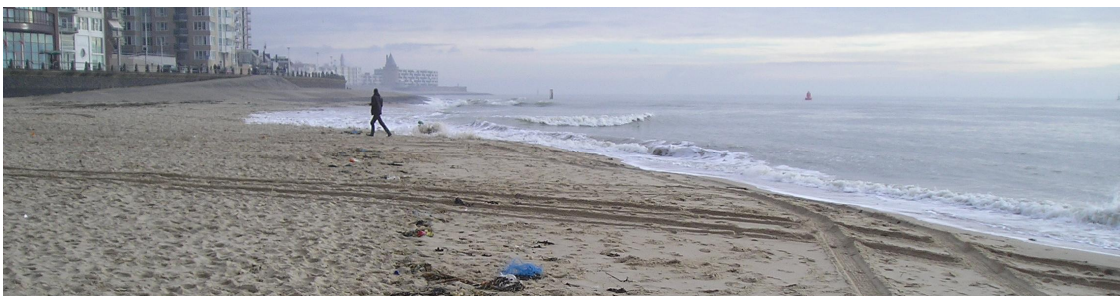


Figuur 6.44 Het front van de tweede haling terwijl UTC Everad achter de Nollendijk uit het zicht is.

De passage van de hopperzuiger Oranje heeft een grote golf op het strand en tegen de Nolledijk veroorzaakt, zie figuren 6.45 tot en met 6.47.



Figuur 6.45 Sleephopperzuiger Oranje passeert het Badstrand.



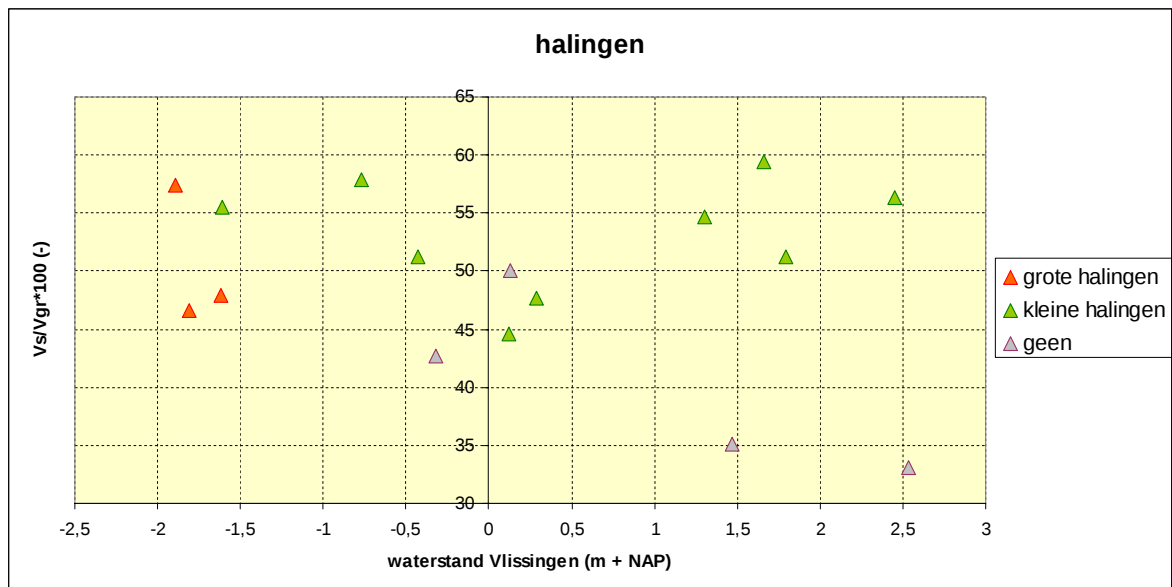
Figuur 6.46 Een grote haalgolf nadert tijdens de passage van de Oranje tijdens hoogwater.



Figuur 6.47 De haalgolf van de Oranje loopt hoog op de Nolledijk, de auto van de strandwacht is te zien.

Het blijkt dat de halingen voornamelijk optreden bij een hoge vaarsnelheid en een lage waterstand. Is de vaarsnelheid lager dan 30 % van de grenssnelheid dan zijn er geen halingen waargenomen. Tussen beide uitersten treden kleine onregelmatige halingen op, zie figuur 6.48 met de resultaten van de 20 geselecteerde scheepspassages.

De hinder op het Badstrand is inclusief hinder voor mensen die op de Nolledijk liggen te zonnebaden, zie de grote golfoploop op de Nolledijk in figuur 6.47. De foto is iets te laat genomen en enkele seconden eerder was de golfoploop aanzienlijk hoger dan op de foto te zien is.



Figuur 6.48 De gemeten halingen als functie van de verhouding tussen de vaarsnelheid en de grenssnelheid en de waterstand in Vlissingen.

6.7 Verloop van de waterspiegeldaling van de Sardijngeul naar het strand

De waterspiegeldaling en de haalgolf zoals gemeten door de ADCP zijn niet gelijk aan de waterspiegeldaling en haalgolf vlak bij het schip of op het strand. Tijdens de aanvullende metingen zijn metingen verricht op het strand. De relatie tussen de gemeten waterspiegeldaling door de ADCP en de door aanvullende metingen gemeten waterspiegeldaling is in deze paragraaf onderzocht. In de geselecteerde metingen zitten twee scheepspassages op 21 januari en twee scheepspassages op 18 februari waarbij naast de ADCP metingen ook goede metingen op het strand zijn gedaan. Deze passages zijn nader geanalyseerd.

Op 21 januari heeft een meetapparaat ongeveer op NAP -2 m gestaan (locatie: strand laag) en een 2^{de} iets hoger op het strand op NAP - 1,4 m (locatie: strand midden). Op 18 februari hebben meerdere sensoren verspreid over het strand gemeten, waarvan de sensor vergelijkbaar met de locatie strand laag is weergegeven. De kenmerkende gegevens van die metingen zijn in tabel 6.3 gepresenteerd.

De lengte van de waterspiegeldaling verandert weinig naar het strand toe, de amplitude neemt echter duidelijk toe. In het geval van de Oranje met een factor 1,5 en bij de UTC Everad zelfs met een factor 3 à 4.

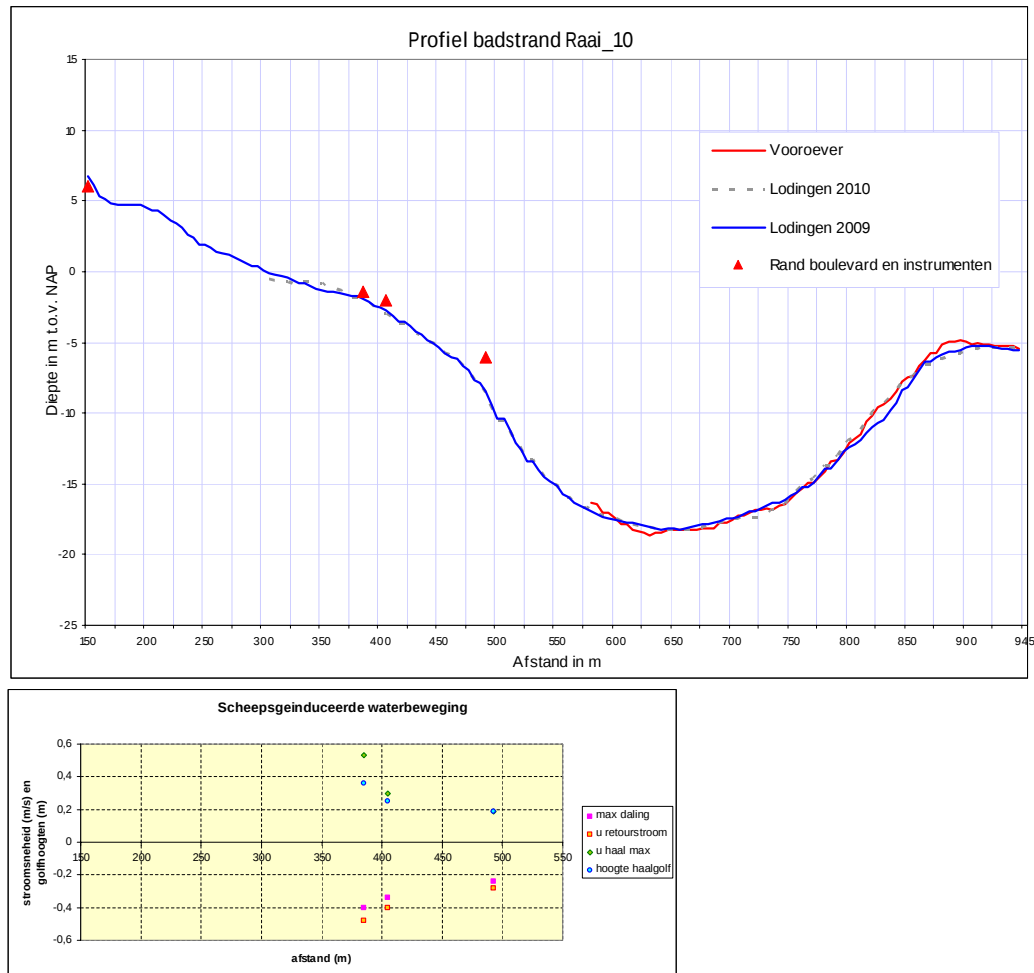
Deze metingen geven inzicht in het groeien van de golf naar het strand, maar nog geen exact antwoord op hoe groot de golf zal zijn voor een badgast aan de waterlijn. Daarvoor zou de meetlocatie mee moeten schuiven met de waterstand zodat de meting bijvoorbeeld altijd met 1 vaste waterdiepte plaats vindt, bijvoorbeeld 1 meter. Dit is ongeveer de maximale waterdiepte waarin kinderen spelen.

Een analytische oplossing voor de verhouding van de gemeten waterspiegeldaling naar een waterspiegeldaling op het strand is complex. Het kan waarschijnlijk wel bepaald worden met behulp van berekeningen met een Rapid -Triton-model.

Tabel 6.3 Gemeten waterspiegeldaling en hoogte van de haalgolf nabij het strand en door de ADCP.

Schip/ Locatie	Waterdiepte [m]	Waterspiegeldaling			Haalgolf	
		Max. daling [m]	duur [s]	u_daling_max [m/s]	u_haal_max [m/s]	hoogte haalgolf [m]
Oranje 21-01						
Geul	19,8					
ADCP	6,1	0,24	52	-0,28	0,19	0,19
Strand laag	3,2	0,34	56	-0,4	0,3	0,25
Strand midden	2,6	0,4	45	-0,48	0,53	0,36
UTC Everard 21-01						
Geul	17,7					
ADCP	4,0	0,12	45	-0,11	0,22	0,04
Strand laag	1,0	0,3	48	0,4	0,42	0,2
Strand midden	0,4	0,42	40	0,44	0,91	0,24
Valentine 18 -02						
Geul	19,3					
ADCP		0,12	70	-0,13	0,15	0,10
Strand laag	3,6	0,6	-	-	-	-
Sten Baltic 18 -02						
Geul	18,6					
ADCP		0,12	70	-0,11	0,13	0,10
Strand laag	3,6	0,6	-	-	-	-

De in de tabel opgenomen waarden hebben een grote onzekerheid. De meetonzekerheid in de waterspiegeldaling en haalgolf hoogte is ongeveer van 3 cm. De gegevens uit tabel 6.3 betreffende de passage van de Oranje zijn grafisch gepresenteerd in figuur 6. 49. De waterstand is NAP -0,77 m. Uit deze figuur blijkt dat de trend is dat de absolute waarde van parameters toeneemt van de geul naar het strand toe. En het blijkt dat de vier beschouwde parameters dezelfde trend vertonen. Vanuit de geul



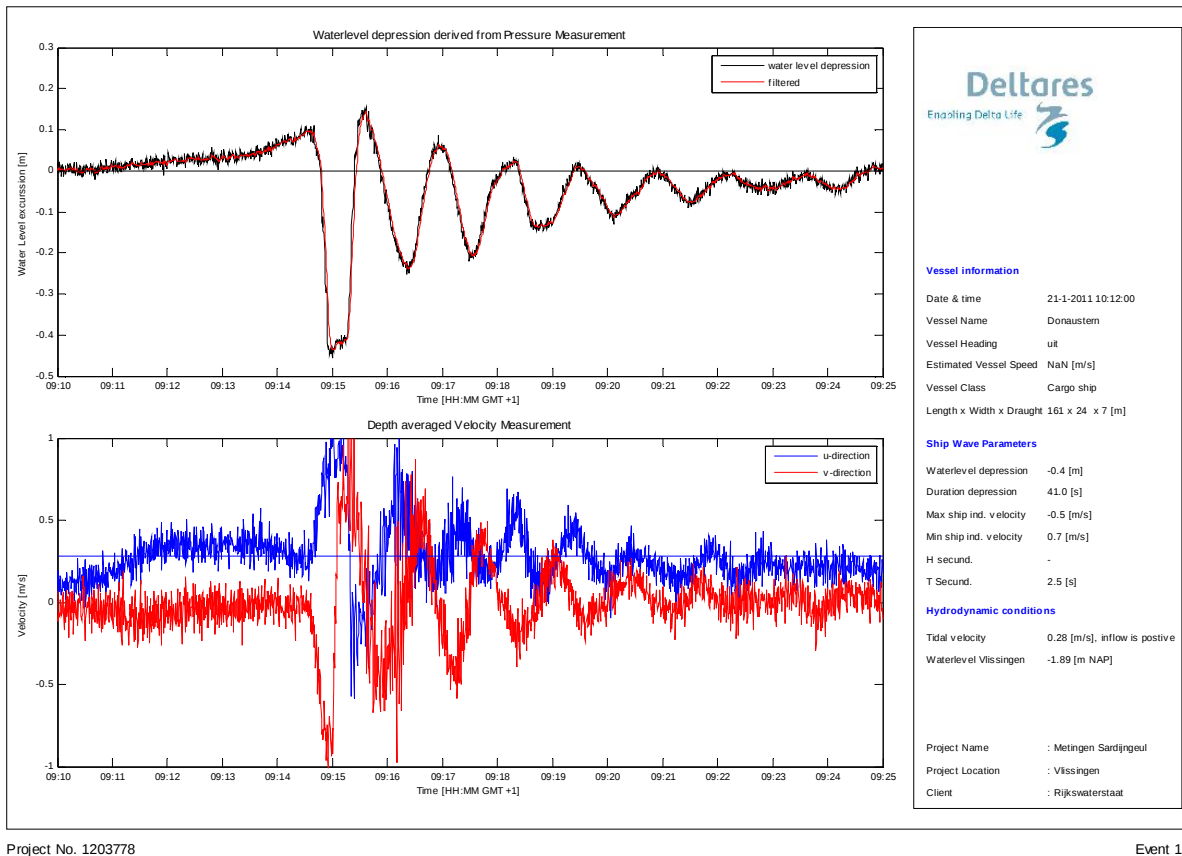
Figuur 6.49 De passage van de Oranje, event 30, gemeten waterbeweging en de dwarsdoorsnede van de geul0.
De oorsprong van de horizontale as ligt in beide grafieken op dezelfde plaats.

6.8 Translatiegolven

In de bureaustudie is uitgebreid aandacht besteed aan het optreden van translatiegolven. Ze zijn van belang omdat een negatieve translatiegolf de waterspiegeldaling naast een schip versterkt. Translatiegolven kunnen veroorzaakt worden door het passeren van een vernauwing in de vaarweg en het versnellen van een schip. Bij het passeren van een verbreding in de vaarweg en het vertragen van een schip worden ook translatiegolven opgewekt, maar die zijn meestal verwaarloosbaar klein.

In de metingen is bij enkele scheepspassages een positieve translatiegolf voor de boeg van het schip gemeten, zie het voorbeeld van de Donaustern op de meetdag in januari 2011 in figuur 6.50. Het schip was aan het versnellen. De positieve translatiegolf met een vrijwel constante hoogte van ongeveer 0,04 m gaat over in de boeg golf waarin de waterstand snel oploopt tot een maximum waarde en vervolgens overgaat in de waterspiegeldaling. In het signaal van de gemeten stroomsnelheden is het effect van de positieve translatiegolf duidelijk te herkennen.

Na het passeren van het schip lijkt de gemiddelde waterstand maar heel langzaam terug te keren naar zijn waarde voor de passage van dat schip. Dit verschijnsel is niet bij de andere metingen van scheepspassages opgetreden. Het verschijnsel, een waterspiegeldaling van ongeveer 0,1 m, lijkt vrij groot voor een negatieve translatiegolf. Opgemerkt wordt dat tijdens de meetdag het schip verzocht was zo snel mogelijk langs het Badstrand te varen. Dat betekent dat de opgewekte translatiegolven vrij uitzonderlijk zijn.



Figuur 6.50 Voorbeeld van de passage van de Donaustern met meetsignalen waarin translatiegolven aanwezig zijn.

6.9 Scheepspassages met meerdere schepen

De meeste scheepspassages betreffen de passage van een enkel schip. Uit de metingen blijken echter er ook enkele scheepspassages te zijn waarin de meetsignalen de golven en stroomsnelheden van meer dan één schip bevatten. Dat betekent dat tijdens de passage van een schip een complexe verkeerssituatie is opgetreden met meer dan één schip. Die verkeerssituaties betreffen het achter elkaar varen, het ontmoeten en oplopen van schepen.

Een voorbeeld van zo een meting van golven en stroomsnelheden opgewekt door verschillende schepen is de passage van het containerschip Iris Bolten, zie figuren 6.51 tot en met 6.54. De meetsignalen bevatten halingen van een schip dat het Badstrand voor de Iris Bolten is gepasseerd. Uit de meetsignalen op één meetlocatie is niet te bepalen of twee schepen achter elkaar varen, elkaar oplopen of elkaar ontmoeten. Uit de foto's blijkt dat er twee ontmoetingen nabij de meetlocatie hebben plaatsgevonden, zie bijvoorbeeld figuur 6.52.



Figuur 6.51 De Iris Bolten versnelt vanaf De Leugenaar en nadert de meetlocatie (event 18).



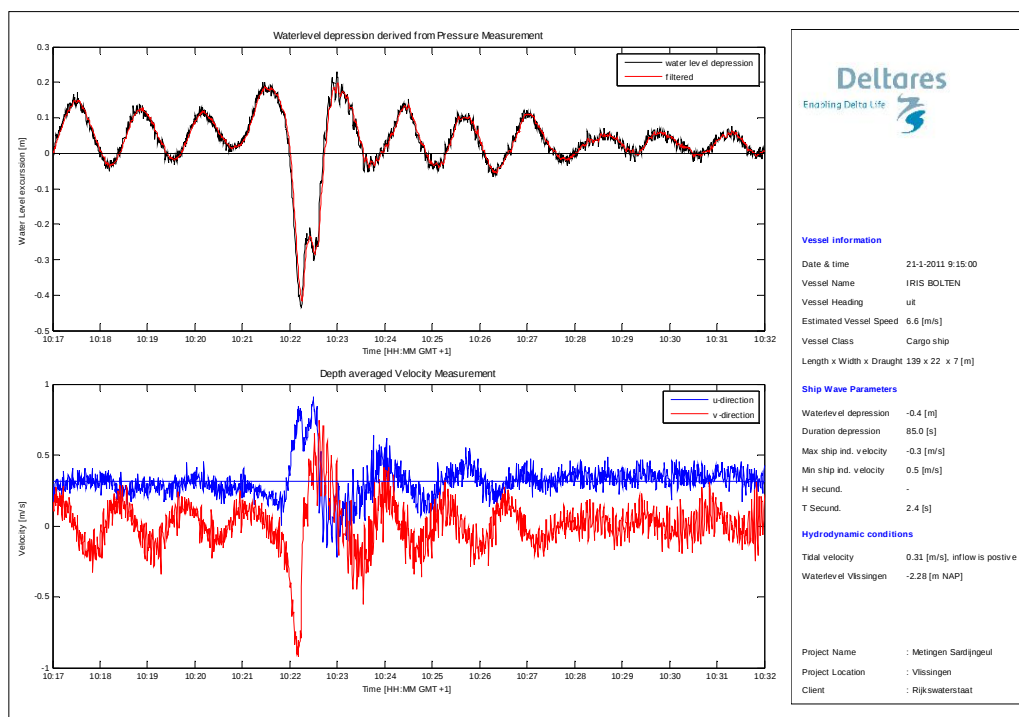
Figuur 6.52 De Iris Bolten nadert de meetlocatie en ontmoet een binnenvaartschip (event 18).



Figuur 6.53 Wateroppervlak bij de meetlocatie nadat het hek van de Iris Bolten is gepasseerd (event 18).

Vanwege het drukke scheepvaartverkeer in de Sardijngemaal en het Oostgat is de kans op ontmoetingen en het oplopen van schepen niet te verwaarlozen. Een voorbeeld van drie zeeschepen die dicht achter elkaar varen is in figuur 6.55 te zien. Deze binnenkomende schepen varen uit de Sardijngemaal naar de rede van Vlissingen.

Bij het beschouwen van extreme omstandigheden waarbij hinder voor de mensen op het Badstrand optreedt, is het aan te bevelen ook de golven opgewekt door verschillende schepen te beschouwen. Er is een kans dat beide golven samenvallen en elkaar versterken tot een grotere golf. Uiteraard is de kans daarop niet groot, maar toch is die kans niet te verwaarlozen.



Project No. 1203778

Event 18

Figuur 6.54 Voorbeeld van een scheepspassage van de Iris Bolten op 21 januari 2011 met golven en stroomsnelheden ten gevolge van verschillende schepen.



Figuur 6.55 Drie schepen varen achter elkaar en komen uit de Sardijneul bij het standbeeld van Naerebout (foto Frans Mol).

6.10 Stroomsnelheden

6.10.1 Inleiding

De analyse van de stroomsnelheden die met een ADCP voor het Badstrand zijn geregistreerd is gericht op het bepalen van de retourstroomsnelheden. De retourstroom is net als de waterspiegeldaling onderdeel van de omstroming van een schip. De getijstroomsnelheden (paragraaf 6.8.2) zijn gebruikt om de retourstroomsnelheden te corrigeren voordat ze vergeleken zijn met berekende retourstroomsnelheden (paragraaf 6.8.3).

De stroomsnelheden in de orbitaalbeweging van de windgolven zijn niet geanalyseerd, omdat die stroomsnelheden een indirecte relatie hebben met de hinder door scheepsgolven op het strand.

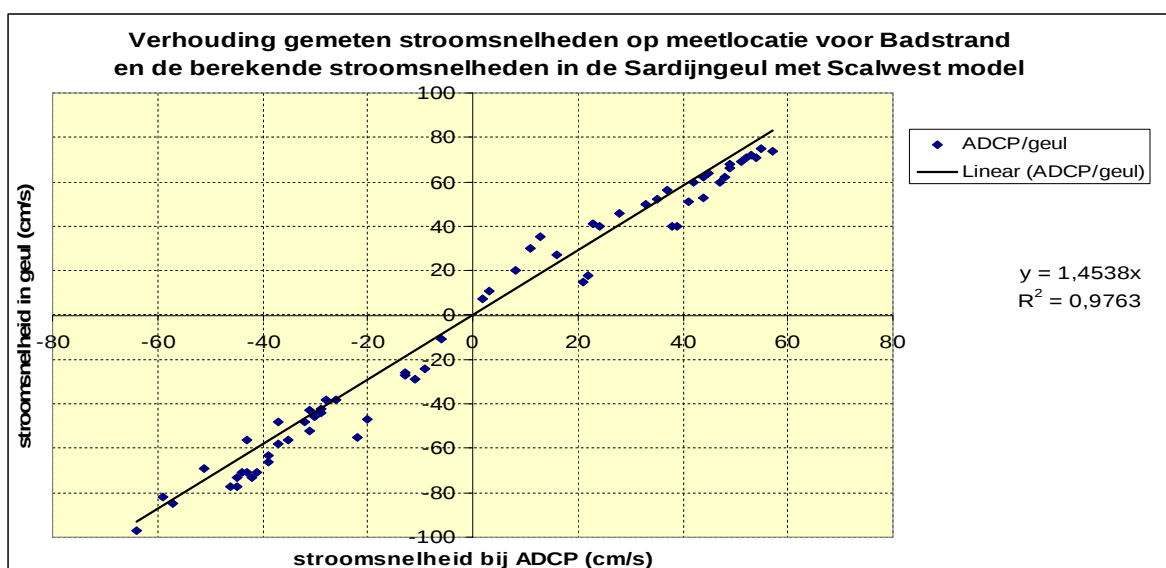
In de meetperiode was het overwegend rustig weer, zodat in de meetsignalen de stroomsnelheid in de scheepsgolven goed kan worden herkend. De stroomsnelheden in de interferentiepieken zijn ook niet geanalyseerd, maar ze zijn wel gebruikt om een scheepspassage in de meetsignalen te herkennen.

De stroomsnelheden in de translatiegolven zijn eenvoudig te analyseren, maar er zijn heel weinig translatiegolven gemeten. Daarom is die analyse niet uitgevoerd.

6.10.2 Getijstroomsnelheden

Het doel van deze analyse is de berekende en gemeten retourstroomsnelheden te corrigeren voor een getijstroomsnelheid.

Rijkswaterstaat heeft gegevens aangeleverd van het hydrodynamische model voor de Westerschelde SCALWEST. Uit de modeluitvoer voor een getij met factor 1,15¹ zijn stroomsnelheden ontleend voor de posities Golf ADCP, de golfboei en midden in de Sardijngeul (loodrecht op meetlocatie). De stroomsnelheden midden in de Sardijngeul zijn gemiddeld 45% hoger dan de stroomsnelheden op de locatie van de golf-ADCP. Dit is weergegeven in figuren 6.56.



Figuur 6.56 De verhouding tussen de berekende stroomsnelheden in de Sardijngeul met Scalwestmodel en de stroomsnelheden gemeten op de ADCP-meetlocatie voor het Badstrand.

¹ getijslag 1,15 maal groter dan een gemiddeld getij.

Aan de hand van de figuur 6.56 kan geconcludeerd worden dat de getijstroomsnelheden die met de ADCP zijn gemeten op het springtij van 18 februari, kwalitatief redelijk goed overeenkomen met de berekende getijstroomsnelheden met het model Scalwest. Op basis van het model zoals weergegeven in figuur 6.55 zijn de getijstroomsnelheden in het midden van de Sardijngeul 45 % groter dan de stroomsnelheden die door de ADCP zijn gemeten. De getijstroomsnelheden, die door de ADCP zijn gemeten, zijn daarom betrouwbaar en getijstroomsnelheden in de geul kunnen middels een correctie van 45% geschat worden uit de metingen.

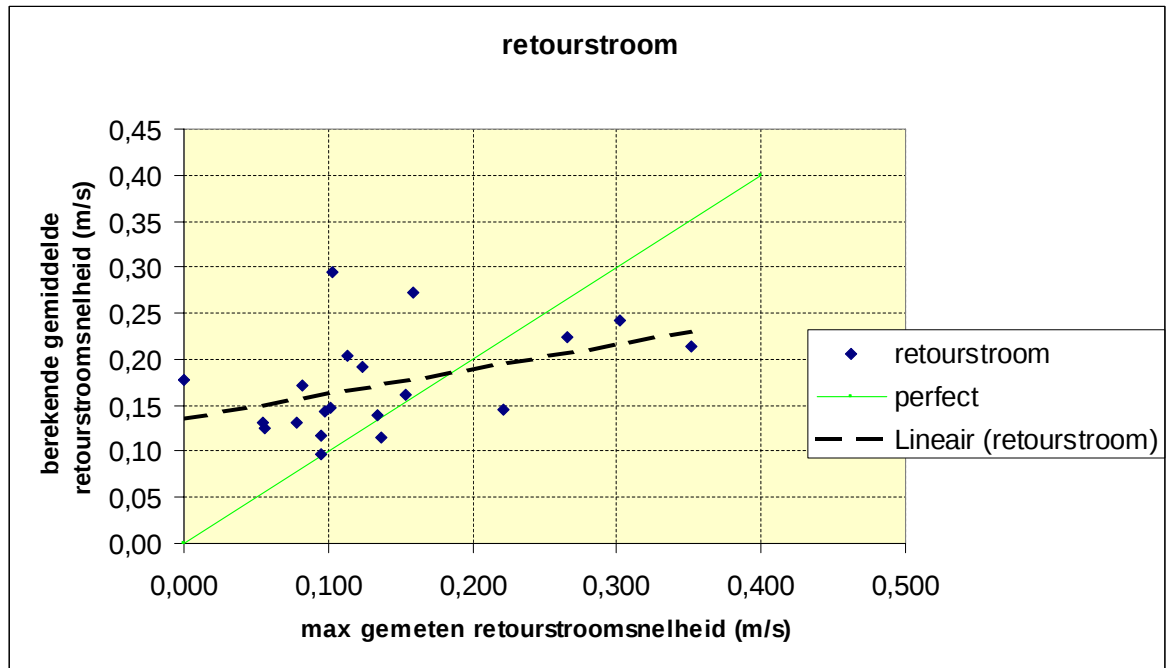
Onzekerheden in de modelgegevens

Uit een vergelijking met een debietraai voorbij de Nolledijk heeft RWS geconcludeerd dat het model de stroomsnelheden daar met 10 tot 15 % onderschat. De grootste onzekerheid voor de toepassing in het onderzoek ontstaat echter door het grove modelrooster. Een rekencel van het model is ca. 150 m lang en 75 m breed. De stroomsnelheid in het model bij de Waverider bleek gelijk aan de stroomsnelheid in het midden van de Sardijngeul. Dit heeft zeer waarschijnlijk te maken met dat de locatie van de boei in het modelrooster overeenkomt met de locatie van een cel die in de geul ligt. In werkelijkheid ligt de boei helemaal op de rand van de geul en zijn daar lagere stroomsnelheden te verwachten. Deze onzekerheid moet ook in gedachten worden gehouden bij het gebruik van de modelgegevens voor de locatie van de ADCP.

6.10.3 Retourstroomsnelheden

De dieptegemiddelde retourstroomsnelheden, die door de ADCP gemeten zijn, zijn voor de getijstrooming gecorrigeerd. Van het verloop van de retourstroom in de tijd is de maximum waarde bepaald. Deze retourstroomsnelheden zijn vergeleken met de berekende retourstroomsnelheden, zie figuur 6.57. De over het dwarsprofiel van de vaarweg gemiddelde retourstroomsnelheden zijn met een energiemethode berekend.

De gemeten retourstroomsnelheden zijn op een punt gemeten en zullen afwijken van de berekende gemiddelde stroomsnelheden. De trend komt overeen tussen berekend en gemeten, maar de spreiding is groot. Deze spreiding is te verwachten vanwege de onnauwkeurigheden en de aannames die zijn gedaan. De berekening kan worden verfijnd door rekening te houden met de getijstroomsnelheden, translatiegolven en het versnellen en vertragen van een schip.



Figuur 6.57 Vergelijking van de gemeten maximum retourstroomsnelheid met de berekende retourstroomsnelheid.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies uit de veldmetingen

De veldmetingen op het Badstrand en aan de rand van de Sardijngeul in de periode januari – maart 2011 hebben geleid tot de volgende conclusies:

Algemeen

Het meten van de door scheepvaart geïnduceerde waterbeweging in de kustzone is voor Rijkswaterstaat een relatief nieuw concept. De veldmetingen en de visuele waarnemingen tijdens de meetdagen hebben het inzicht vergroot in de scheepsgolven die bij het Badstrand door passerende schepen worden opgewekt en waarom deze golven gevaar opleveren voor badgasten. De veldmetingen vormen een unieke database van gedetailleerde informatie over die scheepsgolven. De raai waar de meetinstrumenten zijn opgesteld is volgens visuele waarnemingen ook de raai met de grootste golfbelasting langs het Badstrand. De ervaring die door Deltares en Rijkswaterstaat Dienst Zeeland onlangs is opgedaan in de Westerschelde bij het Nauw van Bath is zeer waardevol gebleken.

De veldmetingen en speciaal de visuele waarnemingen tijdens de meetdagen, bevestigen de resultaten van de Triton berekeningen. De uiteenlopende meetsignalen zijn een indicatie dat complexe verschijnselen optreden.

Verschijnsel

De hinder op het Badstrand wordt voornamelijk veroorzaakt door de waterspiegeldaling en de haalgolf als onderdeel van de omstroming van een schip, dat het Badstrand passeert, zie het rapport van de bureaustudie (van der Wal et al, 2011). De waterspiegeldaling plant zich voort naar de oever waarbij de waterspiegeldaling vervormd door de grote weerstand in het ondiepe water. In ondiepwater kan de waterspiegeldaling het schip niet zonder vervorming volgen. Door een shoaling-effect ontstaat op een flauw hellend strand een golf met een grote golfhoogte. Deze golf kan worden versterkt door interferentiepieken. Achter deze golf treden bij laagwater en een hoge vaarsnelheid enkele halingen op.

Alleen in extreme situaties treden translatiegolven op met een hoogte van enkele centimeters tot maximaal ongeveer 0,1 m. Deze translatiegolven worden veroorzaakt door het invaren van een vernauwing van de vaarweg bij ingang van de Sardijngeul en door het versnellen van een schip. De negatieve translatiegolf versterkt de waterspiegeldaling naast een schip en daarmee de hinder op het strand. Opgemerkt wordt dat bij het vertragen van een schip en bij een schip dat een verbreding van de vaarweg invaart in principe ook translatiegolven worden opgewekt, maar dat deze golven verwaarloosbaar kleine golfhoogten hebben

De mate van hinder op het Badstrand kan niet alleen door de waterspiegeldaling met haalgolfhoogte, eventueel versterkt door een translatiegolf, worden verklaard. De analyse van de veldmetingen geeft aan dat het verschijnsel van hinder op het strand niet volledig is verklaard.

Maatgevende parameters

Het verloop van de waterspiegeldaling van de boeg naar het hek varieert sterk bij de gemeten scheepspassages. Bij een verloop dat gekenmerkt wordt door een gelijkmatig dalen en stijgen van de waterspiegel, is de maximum waterspiegeldaling + de maximum haalgolfhoogte een maatgevende parameter in relatie tot de hinder op het strand.

Bij een complex verloop van de waterspiegeldaling is golfsteilheid waarschijnlijk een betere maatgevende parameter. Daarnaast is de hinder afhankelijk van de vorm en de hoogteligging van het strand

De maximum gemeten waterstandsding is 0,4 m en de maximum gemeten haalgolfhoogte is 0,2 m.

Voorspelling van de maximale waterspiegeldaling op een locatie

De maximale waterspiegeldaling op een meetlocatie kan met een energiemethode worden berekend. Het resultaat is niet nauwkeurig, maar het biedt vooruitzichten om een goede empirische relatie af te leiden voor een bepaalde meetlocatie. De berekening kan worden verfijnd door de waarde van de parameters nauwkeurig te bepalen en door rekening te houden met de getijstroming, het versnellen/vertragen van een schip en de vaarbaan van een schip. Een alternatief zijn gedetailleerde berekeningen met een combinatie van de rekenprogramma's Rapid (Marin) en Triton (Deltares).

Omstandigheden die de hinder beïnvloeden:

De hinder op het strand wordt veroorzaakt door uitgaande en inkomende schepen. Uitgaande schepen veroorzaken vaker hinder dan inkomende schepen.

Deze hinder is niet uitsluitend afhankelijk van de grootte van een schip, maar ook van de vorm van de boeg en het hek en de belading van een schip. De belading bepaalt de vertrimming van een schip. Het verdient aanbeveling het ingesteld motorvermogen te onderzoeken als een parameter, die een onderscheid aangeeft tussen wel of geen acceptabele hinder.

De hinder is bij een flauw hellend strand groter dan bij een strand met een steile taludhelling.

Getijstroomsnelheden

De getijstroomsnelheden die met de ADCP zijn gemeten, komen kwalitatief redelijk goed overeen met de berekende getijstroomsnelheden met het model SCALWEST. De getijstroomsnelheden, die door de ADCP zijn gemeten, zijn daarom betrouwbaar en de gemeten getijstroomsnelheden varieerden van – 0,41 tot +0,44 m/s tijdens de geselecteerde scheepspassages.

7.2 Aanbevelingen voor maatregelen

De maatregelen zijn onderscheiden in maatregelen betreffende het scheepvaartverkeer en maatregelen betreffende het onderhoud van het strand en het onderhoud van de vaarweg.

7.2.1 Maatregelen betreffende het scheepvaartverkeer

Als de vaarsnelheid lager is dan 8 knopen, zal er geen hinder op het strand optreden. De hoogte van de golf op het strand is dan kleiner dan 0,3 m, indien de haalgolf niet samenvalt met de secundaire scheepsgolven. Vaak kunnen echter schepen om veiligheidsredenen met een krachtige wind niet zo langzaam varen. Boven 8 knopen is het verminderen van de vaarsnelheid een onvoldoende maatregel omdat er enerzijds snel varende schepen zijn die geen hinder veroorzaken en anderzijds langzaam varende schepen die wel hinder veroorzaken.

De smalle vaargeul biedt weinig mogelijkheden voor het vergroten van de afstand tussen het strand en de vaarroute. Het samenvallen van de haalgolf met de interferentiepieken van de secundaire scheepsgolven kan in veel situaties niet worden beïnvloed.

Omstandigheden die ongunstig zijn voor de kans op hinder op het strand zijn:

- De richting van de getijstrooming is tegengesteld aan de vaarrichting.
- Een lage waterstand met een breed deel van het strand juist onder de waterspiegel gelegen.
- Versnellen van een schip
- Een schip met een hoge blokcoëfficiënt, een achterover vertrimd schip en een hoge vaarsnelheid.

De werking van deze omstandigheden op de resulterende hinder is niet eenduidig uit de bureaustudie en de veldmetingen bepaald.

7.2.2 Maatregelen betreffende het onderhoud van het Badstrand

Richtlijn

Is de helling van een strandsuppletie op het Badstrand flauwer dan ongeveer 1 V : 40 H dan neemt de hinder snel toe. Is die helling steiler dan 1:40 dan neemt de hinder af. Het verdient aanbeveling tussen gemiddeld laagwater - 0,5 m en gemiddeld hoogwater het strand bij uitvoering van een strandsuppletie een helling te geven van 1:40 of steiler.

Maatregelen

Enigszins geschematiseerd ontwikkelt zich enkele jaren na uitvoering van een strandsuppletie een S-vormig dwarsprofiel. Met de volgende maatregelen kan de hinder door grote scheepsgolven op het Badstrand worden verminderd:

- De ontwikkeling van een S-vormig strandprofiel kan worden vertraagd door een suppletie in dat gebied met een zo grof mogelijke zandfractie uit te voeren.
- Een extra zandsuppletie tussentijds in dat gebied tussen gemiddeld laagwater - 0,5 m en gemiddeld hoogwater op het strand, zodra de helling van het strand daar de neiging heeft te verflauwen.
- Zodra de helling van het strand daar de neiging heeft te verflauwen het strand te herprofilen, zodat in het inter-getijdegebied weer een taludhelling van ongeveer 1:40 kan worden hersteld. Het zand dat hoger op het strand wordt afgezet als onderdeel van het S-profiel kan met een bulldozer worden geherprofileerd. Echter het zand van het deel van het S-profiel dat onder het laagwaterniveau is afgezet, is een verlies en kan niet eenvoudig worden geherprofileerd. Het voorstel is een proef uit te voeren met herprofilering van het Badstrand in de winter gedurende enkele jaren.

De afname van de hinder kan met een criterium voor maximaal aanvaardbare hinder door scheepsgolven op een strand worden vergeleken. Zo een criterium ontbreekt thans. Voor een evaluatie of de mogelijke maatregelen ook kosteneffectief zijn, is zo een criterium gewenst. Het verdient aanbeveling een criterium voor de maximaal aanvaardbare hinder vast te stellen.

Opgemerkt wordt dat met deze richtlijnen de hinder door scheepsgolven slechts ten dele kan worden voorkomen. Hinder door de grootste scheepsgolven op het strand kan met deze richtlijnen naar verwachting niet worden voorkomen. Daarvoor zijn andere maatregelen gewenst, zoals het beperken van de vaarsnelheden van risicoschepen gedurende een bepaalde getijfase.

7.3 Aanbevelingen voor vergroting inzicht

De analyse van de veldmetingen en de bureaustudie zijn aanleiding voor de volgende aanbevelingen voor het vergroten van het inzicht in de optredende verschijnselen, omdat met die analyse de hinder op het strand niet volledig is verklaard:

Verbetering en uitbreiding van de getoonde analyse

De analyse van de veldmetingen is beperkt gehouden tot 20 geselecteerde scheepspassages. Deze beperking staat in de aanbieding voor deze studie vermeld. Er zijn echter veel meer data van de veldmetingen beschikbaar, dan de data die in dit rapport zijn verwerkt. De analyse van de videosignalen is tijdrovend gebleken, maar waarschijnlijk zijn er heel interessante beelden. Een uitbreiding van de analyse van de ADCP-data met meer scheepspassages zal tot een beter inzicht leiden. De invloed van de vaarbaan van een schip op de hinder op het strand is niet diepgaand onderzocht, maar de gegevens zijn wel beschikbaar om die invloed te onderzoeken. De analyse van de uitgevoerde aanvullende metingen op het strand zal een beter inzicht geven in de vervorming van de scheepsgolf op het strand,

Deze analyse van veldmetingen kan worden versterkt met een nadere vergelijking van de Triton-berekeningen met de meetsignalen. Daarmee kan Triton beter worden afgeregeld. En daarmee wordt een breder inzicht in de oorzaak van de hinder op het strand verkregen. Deze verbetering en uitbreiding van de getoonde analyse draagt bij aan het efficiënter oplossen van het probleem van de beheerder met de hinder op het strand.

Gedetailleerde berekening van de scheepsgeïnduceerde waterbeweging op het strand

Voor een complete simulatie van de scheepsgeïnduceerde waterbeweging wordt een combinatie van de Rapid-berekening van de omstroming van een schip en een Triton-berekening van de voortplanting en vervorming van de scheepsgolven op een strand voorgesteld. Met enkele verkennende berekeningen zijn goede resultaten behaald (Verheij et al, 2001 en Groeneweg, 2001). Dit valt onder het programma Kennis Primair Proces en RWS Zeeland kan dit onderwerp voorstellen voor opname in dat programma.

Empirische relatie voor de waterspiegeldaling op een locatie

Voor het afleiden van een empirische relatie van de waterspiegeldaling, haalgolfhoogte en de retourstroomsnelheid op een bepaalde locatie wordt aanbevolen rekening te houden met de effecten van het versnellen of vertragen van een schip, de vertrimming van een schip en de getijstroming. Verwacht wordt dat daarmee een empirische relatie voor een bepaalde locatie kan worden bepaald met minder spreiding en dus een grotere nauwkeurigheid dan de getoonde spreiding. Een empirische relatie op een locatie draagt bij aan het efficiënter oplossen van het probleem van de beheerder met de hinder op het strand.

Advies voor één type schip

Voor een bepaald type schip kan met de combinatie van de modellen Rapid en Triton een maximum vaarsnelheid worden bepaald afhankelijk van de getijfase, diepgang, belading van het schip en de vorm van het strand waarbij juist geen onaanvaardbare hinder ontstaat. Dit is een aanbeveling voor reders die geïnteresseerd zijn in het voorkomen van hinder door hun schepen.

Onderhoud van het strand

De richtlijnen voor het onderhoud van het strand verdienen een betere onderbouwing omdat ze op slechts enkele indicatieve resultaten zijn gebaseerd. De in maart/april 2011 uitgevoerde strandsuppletie op het Badstrand heeft niet bijgedragen aan het reduceren van de hinder door scheepsgolven op het strand, omdat de suppletie hoofdzakelijk boven gemiddeld hoogwater is aangebracht. Voor het reduceren van de hinder zou een suppletie tot het gemiddelde laagwater peil gewenst zijn.

Het verdient aanbeveling de onderbouwing van de richtlijnen te versterken en de gevolgen voor de duurzaamheid van een strandsuppletie te verkennen. Waarschijnlijk is het mogelijk met een nadere studie deze richtlijnen te verfijnen en de mate van de reductie van de hinder aan te geven. De bovengrens van gemiddeld hoogwater kan waarschijnlijk wat omlaag. Een nadere studie bestaat uit een analyse van strandprofielen en uit een serie berekeningen van scheepsgolven op een strand met het golfmodel Triton.

Opslag van de veldmetingen

De veldmetingen vormen een unieke database. Een deel van de veldmetingen zijn in deze rapportage niet geanalyseerd. Het verdient aanbeveling deze veldmetingen op te slaan, zodat deze database gebruikt kan worden voor eventuele toekomstige studies naar de grote scheepsgolven op het Badstrand met het doel de verschijnselen volledig te kunnen verklaren.

8 Literatuur

- Groeneweg, J. (2001) Verkenning golfbelasting op kribben, Q3042/H3968, WL|Delft Hydraulics, Delft
- Hoitink, A.J.F., Peters, H.C. and M. Schroevers (2007) Field verification of ADCP surface gravity wave elevation spectra. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 24 (5): 912-922.
- Nortek BV (2010) Golf- en Stroomsnelheidsmetingen op het Slik van Bath, Juni en Juli 2010, P10050, Revisie 3.
- Schroevers, M., B.J.A. Huisman, M. van der Wal, J. Terwindt (2011) Measuring ship induced waves and currents on a tidal flat in the Western Scheldt Estuary, Conference paper IEEE Current Wave and Turbulence Measurement Conference 2011.
- Strong, B. (2000) Workhorse ADCP Multi-Directional Wave Gauge Primer, RD Instruments. Oct. 2000.
- Verheij, H.J., H.C. Raven, N. Doorn, M.J.A. Borsboom en J.P. Lambeek (2001) Numerical modelling of ship induced water motions, feasibility and validation study, WL| Delft Hydraulics en Marin, Q2576, Delft
- Wal, M. van der (2009) Grote scheepsgolf over strand bij Zoutelande op 10 juni 2006, project 1002099, Deltares, Delft
- Wal, M. van der, A. van der Hout en T. Jongeling (2011) Sardijngeul - grote scheepsgolven op het Badstrand in Vlissingen, bureaustudie, project 1203778, Delft
- Wijk, J. van der (1996) Lexicon van de watersport, visserij, koopvaardij, marine en bruine vloot, Uitgeverij Balans, ISBN 9050183700, 9789050183703

A Bijlage: ADCP instellingen

Instelling zoals gebruikt in januari 2011

```
; Vlissingen boulevard golfmeting, 1200kHz Wave ADCP raw data setup
; 3-01-2011 Rinus Schroevers / Jan van 't Westende
; Single ping 2 Hz data, continu
; Water Depth 8 m NAP
; Frame Height 0.6m
; Bin Size      0.5m
; Ensemble Size 488 bytes?
; Data Rate     orde 32 MB/day ?
; Battery Use   orde 37 Wh/day ?

; Restore factory defaults
CR1
; Set deployment name
RNBVVLi
; Set time of first ping
TF9/12/05 08:00:00
; No internal wave processing
HP0
; Store data internally, no serial output
CF11101
; Heading alignment
EA0
; Heading bias
EB0
; Beam coordinates, tilt applied, heading not applied, 3 beam solution & bin mapping allowed
EX00111
; Calculate speed of sound, use data from all available sensors
EZ1111111
; Transducer depth 6m (used only if pressure sensor fails)
ED00600
; Set salinity (sea water)
ES32
; Disable false target filter
WA255
; Set ambiguity velocity
WV250
; Wide band profiling
WB0
; blanking 10 cm
WF0010
; Store velocity, echo intensity, correlation, percentage good
WD111100000
; Single ping ensemble (3 pings per ensemble)
WP3
```

; Ensembles at 2 Hz
TE00:00:00.50
; New ping immediately follows previous ping
TP00:00:00.00
; Number of ensembles per burst (staat nu uit)
;TC2400
; Set burst interval (staat nu uit)
;TB00:20:00.00
; Depth cell size 0.5m
WS50
; Number of depth cells 15
WN15
; High ping rate mode 1
WM1
; Keep parameters in NVRAM
CK
; Start deployment
CS
; DO NOT REMOVE THIS LINE!!

B Bijlage: Gegevens van 20 geselecteerde scheepspassages

Tabel B1 Overzicht van kenmerkende gegevens van 20 geselecteerde scheepspassages.

Event	Tijd schatting AIS	Scheepsinformatie	in/uit- gaand	Vaarsnelheid			ADCP info	Waterstand	Waterspiegeldaling en haalgolf				ur, meting, max	ur, berekend energie meth	haalgolf, amplitude meting	Secundaire golven		Getij
				V_s (knp)	V_{max} (m/s)	V_s/V_{lim} (%)	ens. numb. ADCP	Waterstand Vlissingen tov NAP (m)	Doorsnede geul (m ²)	dh, meting (m)	dh, berekend energie meth (m)	dh, periode Tp, handmatig (s)	ur, meting, max (m/s)	ur, berekend energie meth (m/s)	haalgolf, amplitude meting (m)	Sec golf, periode, handmatig (s)	Sec golf, periode berekend (s)	V_{getij} (m/s)
1	2011-01-03 10:33	Patras	in	5,7	11,9	24	7100	-0,66	5941	0,04	0,06		-0,08	0,08	0,14		1,5	0,24
2	2011-01-03 11:30	MISSISSAUGA EXPRESS	uit	12,4	13,0	46	13900	0,29	6634	0,29	0,15	67	-0,30	0,35	0,29		3,3	0,26
3	2011-01-03 15:15	Carina	in	8,5	12,1	35	41300	1,47	7437	0,12	0,07	78,5	-0,18	0,28	0,13		6,7	-0,41
7	2011-01-04 08:41	Komet	in	9,9	11,6	43	165364	-2,01	5146	0,03	0,08	81			0,17		2,6	0,17
9	2011-01-04 12:23	Marijta	in	9,3	11,8	39	194000	0,41	6634	0,07	0,04	93,5	-0,11	0,16	0,09		2,4	0,36
13	2011-01-05 10:43	SEAHAKE	uit	11,6	12,1	48	353900	-1,62	5350	0,36	0,13	59	-0,17	0,33	0,26		3,0	0,28
18	2011-01-21 09:15	IRIS BOLTEN	uit	13,2	11,5	57	175500	-1,89	4919	0,42	0,12	85	-0,35	0,54	0,23		2,4	0,31
19	2011-01-21 12:54	UCT Everad	uit	10	11,7	43	194544	-0,32	6171	0,12	0,07	45	-0,11	0,22	0,14		2,6	0,24
20	2011-01-21 14:08	Oranje	uit	13	12,7	51	203410	1,79	7635	0,24	0,11	52	-0,28	0,40	0,21		3,9	0,33
22	2011-01-21 14:57	BSLE Pacific	uit	8	12,1	33	206550	2,53	8444	0,08	0,05		-0,12	0,11	0,11		2,1	0,00
25	2011-01-22 15:31	CONTI SALOME	in	15,1	13,4	56	385000	2,45	8220	0,12	0,08	81,5	-0,14	0,16	0,17		9,6	0,06
26	2011-01-23 11:56	STEN MOSTER	in	11	11,8	47	532900	-1,81	5258	0,18	0,11	62,5	-0,18	0,27	0,22		6,5	0,42
27	2011-01-23 14:52	MARIKA	uit	11,5	12,9	45	554204	0,12	6471	0,25	0,16	76	-0,18	0,35	0,32		6,3	0,36
30	2011-01-24 14:42	ORANJE	uit	14	12,1	56	729600	-0,77	5802	0,30	0,12	72	-0,43	0,41	0,24		4,3	0,26
34	2011-01-26 09:53	SEANULLET	uit	12,6	12,6	50	105000	0,13	6471	0,14	0,06	59	-0,19	0,17	0,16		3,3	-0,33
41	2011-02-18 09:46	STOLT KITTIWAKE	uit	12,1	10,9	55	507000	-1,61	5350	0,08	0,08	50	-0,09	0,15	0,15		4,4	0,44
42	2011-02-18 12:53	Valentine	uit	13,9	12,7	55	529500	1,3	7338	0,12	0,08	70	-0,13	0,20	0,15		4,5	0,41
43	2011-02-18 17:03	Sten Baltic	uit	14,2	12,3	58	559263	0,64	6807	0,09	0,05	65	-0,11	0,13	0,11		3,7	-0,28
45	2011-02-23 18:20	TOR PRIMULA SEAWAYS	uit	15,7	13,2	59	1432600	1,66	7635	0,25	0,06	73,5	-0,16	0,35	0,13		4,1	-0,19
47	2011-02-26 16:57	BERGSTRUM	uit	12,1	11,8	51	1935600	-0,43	6086	0,30	0,08	117	-0,27	0,36	0,16		4,3	0,31