



Allerheiligenvloed 2006

Achtergrondverslag van de stormvloed
van 1 november 2006

30 juni 2007

Colofon

.....

Uitgegeven door:	Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Informatie:	A. Zijderveld, L. Voogt
Telefoon:	070 311 4203/ 4227
Uitgevoerd door:	F. den Heijer, J. Noort, H. Peters, P. de Grave, A. Oost, M.Verlaan
Opgemaakt:	Artoos Drukkerijen, Rijswijk
Datum:	30 juni 2007
Status:	Definitief
Versienummer:	05

Inhoudsopgave

1.	INLEIDING	5
2.	EVALUATIE VERWACHTING WATERSTAND DELFZIJL	7
2.1	Weersverloop en verwachtingen	7
2.2	Analyse waterstandsgegevens en modelverwachtingen	9
2.3	Analyse windgegevens	12
2.3.1.	Huibertgat	13
2.3.2.	Lauwersoog	14
2.3.3.	Nieuw Beerta	16
2.3.4.	F3	16
2.3.5.	Lokale weers- en modeleffecten	17
2.4	Modelberekeningen	19
2.4.1.	Inleiding	19
2.4.2.	Modelkeuze	20
2.4.3.	Gebruik wind uit Huibertgat	22
2.4.4.	Gevoeligheidsanalyse	23
2.4.5.	Sluiting Ems-Sperrwerk	25
2.5	Conclusies en aanbevelingen	28
3.	EVALUATIE METINGEN GOLVEN SON	31
3.1	Inleiding	31
3.2	Het golfboei meetproces	32
3.3	Statistische en fysische analyse	33
3.4	Inspectie van de golfmeetboei	34
3.5	Analyse van de ruwe data	34
3.6	Conclusies en aanbevelingen	37
4.	VELDWAARNEMINGEN	39
4.1	Veekranden Groningse Waddendijken	39
4.1.1.	Emmapolderdijk	40
4.2	Duinafslag	41
4.2.1.	Beknopte beschrijving schade en duinafslag	42
4.2.2.	Beschikbare meetgegevens	44
4.3	Conclusies en aanbevelingen	46
5.	SAMENVATTING CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	49
	Referenties	53

Bijlage A Artikel in de zoutkrant van december 2006	55
Bijlage B Modellentrein en organisatiestructuur SVSD	59
Bijlage C Beschrijving uitsnede Kuststrookfijnmodel	63
Bijlage D Veekrandwaarnemingen	65
Bijlage E Veldwaarnemingen duinafslag	67

1 Inleiding

Op 31 oktober en 1 november 2006 trok een zware storm over ons land, met hoge waterstanden langs de kust tot gevolg. De waterstand bij Delfzijl bereikte met 4.83 m+NAP een recordhoogte sinds de start van de waarnemingen in 1825. Van de stormvloed, de Allerheiligenvloed 2006, is door de SVSD een stormvloedflits en stormvloedrapportage gemaakt [1] waarin in detail verslag is gedaan van de omstandigheden.

De waterstand bij Delfzijl was ruim 80 cm hoger dan verwacht. Tevens zijn er 2 uitzonderlijk hoge golven geregistreerd ten noorden van Schiermonnikoog (SON). Ook gaven veekranden aan dat golven langs de Groningse noordoost kust hoog tegen dijken opliepen en is er duinafslag geweest. Zie voor een verdere inleiding het artikel in de zoutkrant van december 2006 (bijlage A en [2]).

Het bovenstaande is aanleiding geweest om een uitgebreide evaluatie van de Allerheiligenvloed 2006 door RWS te starten. Het doel is te analyseren of de kwantiteit en kwaliteit van de informatie tijdens en na stormvloeden verder kan worden verbeterd. In dit rapport worden achtereenvolgens de volgende onderwerpen behandeld:

- a) Evaluatie van de waterstandsverwachting te Delfzijl (hoofdstuk 2)
- b) Evaluatie van de golfboeimetingen SON (hoofdstuk 3)
- c) Nadere verslaglegging van de informatie over veekranden en duinafslag (hoofdstuk 4).

Er worden tevens aanbevelingen gedaan voor een verdere verbetering van de instrumenten die voor de verwachtingen van waterstanden bij storm, en voor de toetsing op veiligheid worden gebruikt. Deze zijn in hoofdstuk 5 samengevat.

Daadwerkelijke verbetering en activiteiten voor bijvoorbeeld het instrumentarium voor de SVSD of voor kennisontwikkelingsprojecten zijn hier niet beschreven. Wel worden hiertoe voorstellen gedaan. Dit achtergrondrapport is als een aanvullend rapport op de standaard stormvloedrapportage [1] te zien.

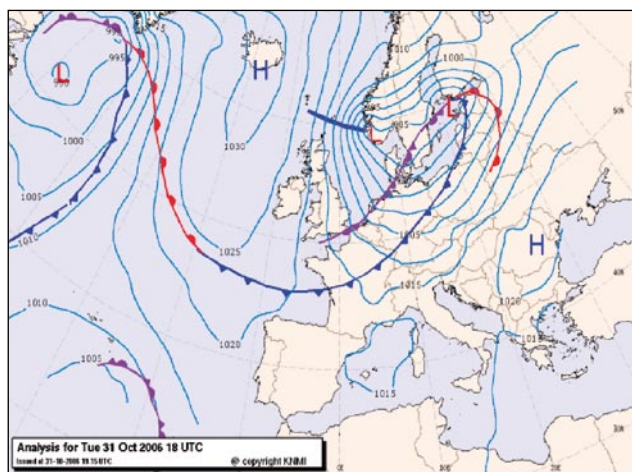
2 Evaluatie verwachting waterstand Delfzijl

2.1 Weersverloop en verwachtingen

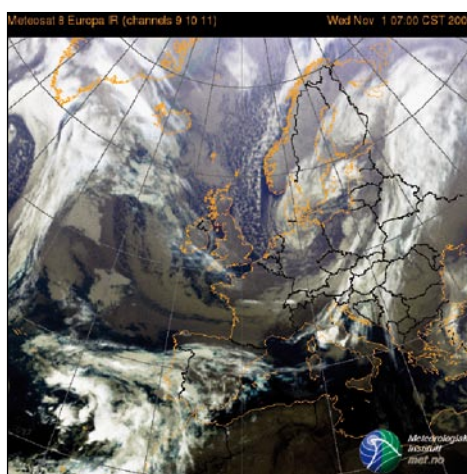
Weersverloop

Een lagedrukgebied trok van het zeegebied tussen IJsland en Schotland via zuid Noorwegen naar Denemarken. Het koufront van de depressie passeerde op 31 oktober omstreeks 8 uur de Nederlandse kust. Achter het koufront stond er een harde westenwind (7 Bft). Omstreeks 18 uur passeerde de back-bent occlusie van de depressie de Nederlandse kust (zie Figuur 2.1). Achter de occlusie was de wind boven de hele Noordzee geruimd naar het noordwesten. Aan de westflank van de depressie stond op het oostelijke deel van de Noordzee een zware storm (10 Bft). Op het westen en zuiden van de Noordzee stond een harde tot stormachtige noordwestenwind (7 – 8 Bft). In de loop van de avond en nacht nam de wind met name boven het oostelijk deel van de Wadden toe tot een zware noordwesterstorm. Er werden in Groningen en Friesland plaatselijk zeer zware windstoten gemeten

Figuur 2.1 Lagedrukgebied op 31 oktober 2006, 18 uur.



Figuur 2.2 Satelliet opname 31 oktober 2006.



van 115 km/h. Op zee waren de windstoten nog veel krachtiger. Rond het hoogwater in de Eems-Dollard passeerde een trog met buien (een trog is een langgerekt gebied met relatief lage luchtdruk, waarbinnen de isobaren meestal dicht bij elkaar liggen, waardoor er hogere windsnelheden in kunnen voorkomen). Hierdoor nam

de wind tijdelijk nog verder in kracht toe. In de loop van de ochtend van 1 november ruimde de wind verder naar noord en nam de wind geleidelijk af tot stormachtig boven de Wadden en hard op de rest van de Noordzee.

Verwachtingen

In het verloop van de 10 daagse verwachtingen vanaf 23 oktober valt op dat de storm in de deterministische uitvoer op 30 oktober pas in beeld komt. In het ensembleset waren wel oplossingen aanwezig met veel wind, maar deze waren sterk ondervertegenwoordigd. De weerkaart van 31 oktober laat een hogedrukgebied bij IJsland zien en een NNW stroming op de Noordzee (zie Figuur 2.1). Op de weerkaart van 1 november om 1 uur is een trog te zien die rond 7 uur bij de Wadden aankomt. De wind in het Waddengebied zat rond de 8 à 9 Bft. Meetstation F3 100 km ten noorden van Terschelling zat op 10 Bft met windstoten van 150 km/u. Tijdens het hoogtepunt van de storm, tussen 3 uur en 7 uur, viel de windmeting bij Huibertgat uit. Voor deze periode waren wel achteraf uurlijkse gemiddelde waardes beschikbaar. In Nieuw Beerta (een locatie op het land) is een windkracht 7 Bft en later 8 tot 9 Bft gemeten.

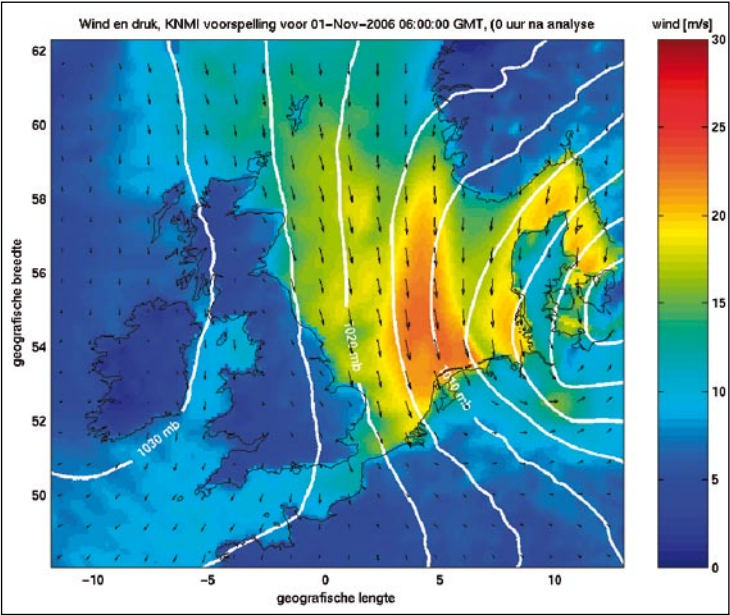
Gezien de ontwikkelingen op de Noordzee en de westelijke Waddenzee en de verwachtingen voor het noordelijke kustgebied heeft de SVSD voor de sectoren Hoek van Holland, Den Helder en Harlingen waarschuwingen uitgegeven. De uitgegeven waterstandsverwachtingen waren in goede overeenstemming met de opgetreden waterstanden (zie tabel 2.1).

Op 31 oktober om 23.30 uur werd een alarmering gegeven voor de sector Delfzijl, dat voor de dijkbeheerders een signaal is om dijkbewaking in te stellen. Verwacht werd dat het hoogwater, met een waterstand van NAP + 400 cm, bij Delfzijl omstreeks 6 uur zou optreden. Dat is ongeveer een uur eerder dan het astronomische hoogwater. Voor de hoogte van de verwachte waterstand werd, mede gezien de ervaringen bij de locaties in het westelijke kustgebied en de zeer geringe variaties in de opeenvolgende berekeningen van de meteorologische modellen, besloten om de modelverwachting van het waterbewegingsmodel DCSM8 te volgen. De gebruikte modelresultaten waren gebaseerd op de HIRLAM-berekening van 31-10-2006 18 uur. Evenals bij de waterstandverwachting voor Harlingen werd besloten om de correctie van het Kalman-filter niet toe te passen op de waterstandsverwachting. Het operationele Kalman-filter is op dit moment niet geschikt voor de Wadden doordat waterstandsmetingen noordelijk van Den Helder niet worden meegenomen. Doordat de actuele ontwikkeling van de storm in de Wadden rond het tijdstip van afgeven van het alarm iets achterbleef tegenover eerdere modelverwachtingen is de DCSM verwachting met 10 cm verlaagd.

Tot en met het tijdstip van hoogwater bij Huibertgat (5h20 NAP +312 cm) volgden de waterstanden langs de gehele kust binnen normale toleranties de verwachtingen. Op basis van deze feiten was er voor

de SVSD geen reden om de hoogte van de waterstandsverwachting voor Delfzijl bij te stellen. Terwijl de verwachtingen voor de sector Harlingen uiteindelijk goed overeenkwamen met de waarnemingen, ontstond voor Delfzijl echter een groot verschil tussen verwachte en de opgetreden waterstand. Dit is aanleiding om voorliggende evaluatie uit te voeren, waarin gezocht is naar oorzaken van de verschillen tussen de verwachtingen en de metingen.

.....
Figuur 2.3 KNMI windveld voor 1 november 2006.



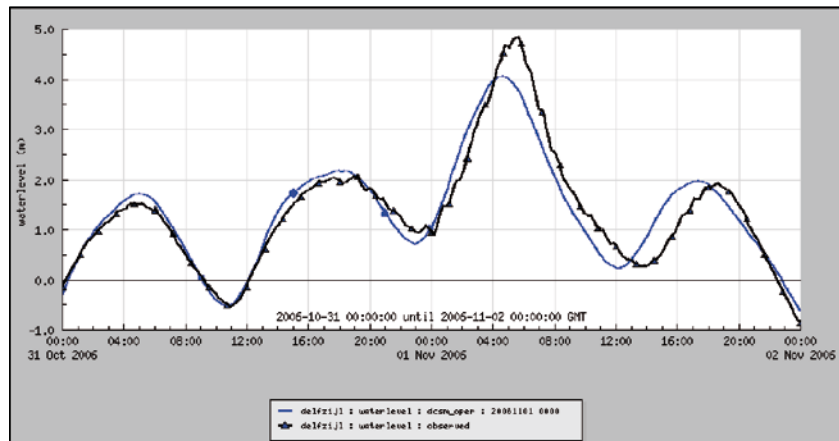
sector station	datum	2006	astronomisch HW		SVSD ver- wach- ting	opgetreden HW		scheve opzet op HW	VW/ W/ A *	tijdstip geven waarschuwing / alarmering
			tijd	stand		tijd	stand			
West Holland	Hoek van Holland	31 okt	22h26	+108	+240	22h40	+247	139	W	31 okt 16h30
Den Helder	Den Helder	1 nov	02h24	+78	+220	02h30	+238	160	W	31okt 20h30
Harlingen	Harlingen	1 nov	04h24	+105	+320	04h00	+326	221	W	31 okt 22h00
Delfzijl	Delfzijl	1 nov	07h00	+138	+400	06h40	+483	345	A	31 okt 23h30
VW = voorwaarschuwing W = waarschuwing A = alarmering										

.....
Tabel 2.1 Weergave van de verwachtingen en opgetreden waterstanden voor de sectoren langs de Nederlandse Kust. De tijden zijn gegeven in wintertijd (MET).

2.2 Analyse waterstandsgegevens en modelverwachtingen

De door SVSD verwachte waterstand van 4.00 m + NAP lag boven alarmpeil, zodat een alarmering werd afgegeven. Op 1 november om 6:00 is bij Delfzijl een waterstand opgetreden van 4.83 m. +NAP. Dit heeft ertoe geleid dat de Groningse waterschappen dijkbewaking hebben ingesteld en dat de coupure is gesloten.

Figuur 2.4 Gemeten (zwart) en van model DCSM8 verwachte waterstand (blauw) voor Delfzijl



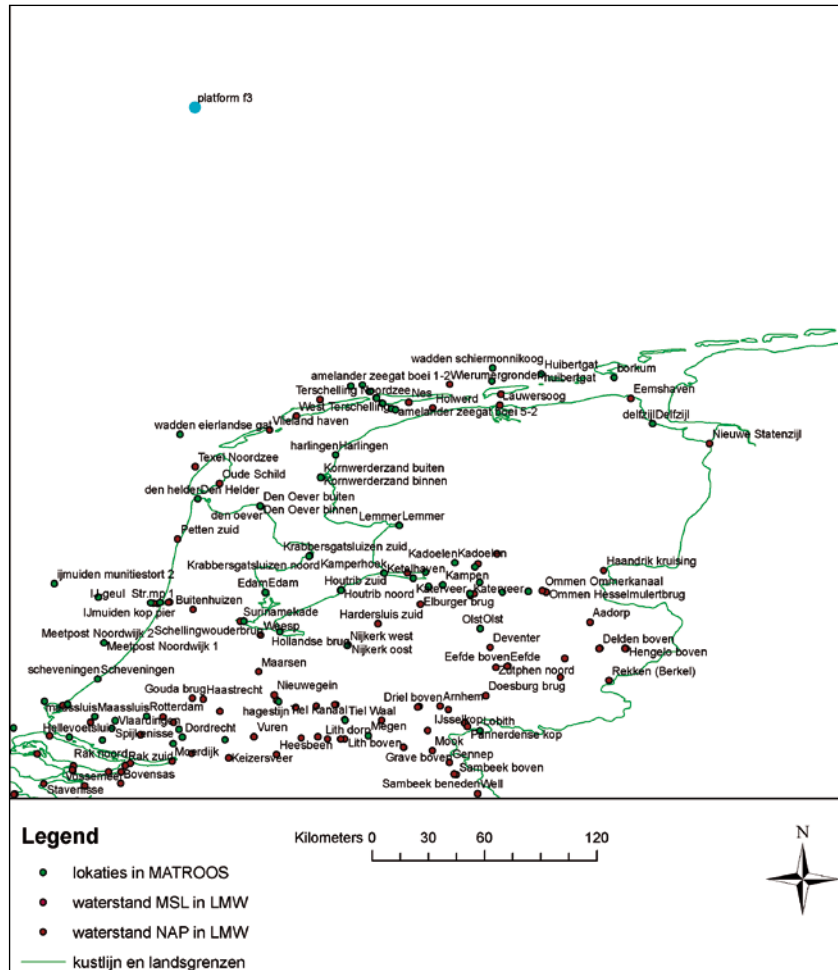
In Figuur 2.4 staan grafieken van de modelverwachtingen DCSM8 en gemeten waterstanden in Delfzijl. Hier is het verschil van ongeveer 80 cm te zien. De SVSD verwachting lag nog iets lager dan de met het model berekende waarde, maar het grote verschil met de metingen is vergelijkbaar. In de verdere analyse is daarom besloten om vooral de oorzaak voor de lage modelverwachting te onderzoeken. De term 'verwachte waterstand' staat in het vervolg voor 'modelverwachting DCSM8'.

Ten einde na te gaan wat de oorzaak van het verschil tussen verwachte en waargenomen waterstand is geweest, is eerst een inventarisatie gemaakt van de beschikbare data van metingen en modellen. Bij Rijkswaterstaat worden dagelijks modelberekeningen uitgevoerd met verschillende modellen. De resultaten van deze berekeningen worden in een database opgeslagen, tezamen met gemeten waarden. Alle metingen worden in een centrale database opgeslagen, DONAR. Modelverwachtingen worden daarnaast in een ander systeem bewaard, met de naam MATROOS [10]. Met dit systeem kunnen direct analyses worden uitgevoerd tussen verwachtingen en metingen, daarom is MATROOS intensief gebruikt bij de analyses in dit hoofdstuk. Naast de modelberekeningen van Rijkswaterstaat worden ook de uitkomsten van het meteorologisch model van het KNMI en modelberekeningen van Europese partners opgeslagen. Ten behoeve van deze evaluatie zijn ook gegevens opgevraagd bij Europese partners. De verwachtingen van de omliggende landen waren vergelijkbaar of lager dan de DCSM8 verwachting. Het model waarmee de SVSD rekent ten behoeve van de verwachtingen is het DCSM8 model. Het DCSM8 model heeft een resolutie van ongeveer 8 kilometer. Over het algemeen levert het DCSM8 model voldoende nauwkeurige resultaten, met name voor het Noordzeegebied. Voor de Waddenzee is het model in de regel ook voldoende, hoewel in sommige gevallen het model tekort schiet. Hierop wordt in paragraaf 2.4.2 nader ingegaan. Het Hydro-Meteo Centrum Rijnmond van Rijkswaterstaat gebruikt naast het model DCSM8 ook fijschaliger modellen. Één van deze modellen is het

Kuststrookmodel¹. De modelresultaten van dit model waren voor de Allerheiligenvloed 2006 vergelijkbaar met de resultaten uit DCSM8. Voor de modelberekeningen in deze studie is gebruik gemaakt van een uitsnede van het Kuststrookmodel omdat door de hogere resolutie detailkeuzes in de schematisatie veel minder invloed hebben. In Bijlage B is een beschrijving opgenomen over de beschikbare hydrodynamische modellen en hun relatie met elkaar. RWS noemt dit gehele systeem ook 'modellentrein'. Een overzicht over de organisatiestructuur van de SVSD en de informatiestromen tijdens een zitting is eveneens opgenomen in Bijlage B.

In Figuur 2.5 is een overzicht gegeven van de locaties waar waterstanden worden gemeten in Noord Nederland. Opvallend is dat, in tegenstelling tot de verwachting bij Delfzijl, de waterstandsverwachting van Huibertgat wel goed is, terwijl de stations slechts 60 km van elkaar verwijderd liggen. Bij Huibertgat liggen de het verschil tussen verwachte en gemeten waterstand maximaal 12 cm geweest.

Figuur 2.5 Meetstations
waterstanden



¹ In Bijlage C staat een korte beschrijving van een uitsnede van het gebruikte kuststrookmodel.

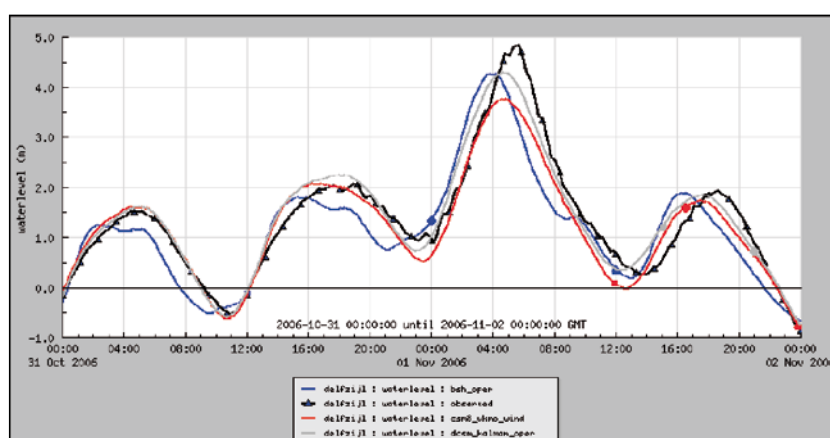
De vraag is nu wat er in de Eems-Dollard is gebeurd, waardoor een groot verschil tussen gemeten en verwachte waterstand is opgetreden.

Vanuit Duitsland zijn waterstandsgegevens over Borkum verkregen. Hier bleek dat het DCSM8 model van Rijkswaterstaat afweek van de meetwaarden, terwijl het Duitse model BSH hier wel een goede verwachting opleverde. De resultaten van DCSM8 en BSH waren echter voor Delfzijl vergelijkbaar. Mogelijk is het meetpunt Borkum niet goed opgenomen in het DCSM8-model.

De modelresultaten van verschillende modellen laten voor Delfzijl echter allemaal een consistent beeld zien, waarbij de maximale waterstand in Delfzijl met ongeveer 80 cm wordt onderschat (zie Figuur 2.6).

Figuur 2.6:

Waterstandsverwachtingen [m NAP] met het Duitse model (BSH, blauw), DCSM8 (met HIRLAM wind en Kalman, grijs), DCSM8 met Engelse windverwachting (UKMO wind, rood). Gemeten waterstand in zwart.



De inventarisatie levert daarmee op dat er in de Eems-Dollard veel opzet is opgetreden die niet door de modellen werd verwacht, en dat de oorzaak daarvan niet alleen aan de keuze van de combinatie van de modellen ligt (zie ook Bijlage B)

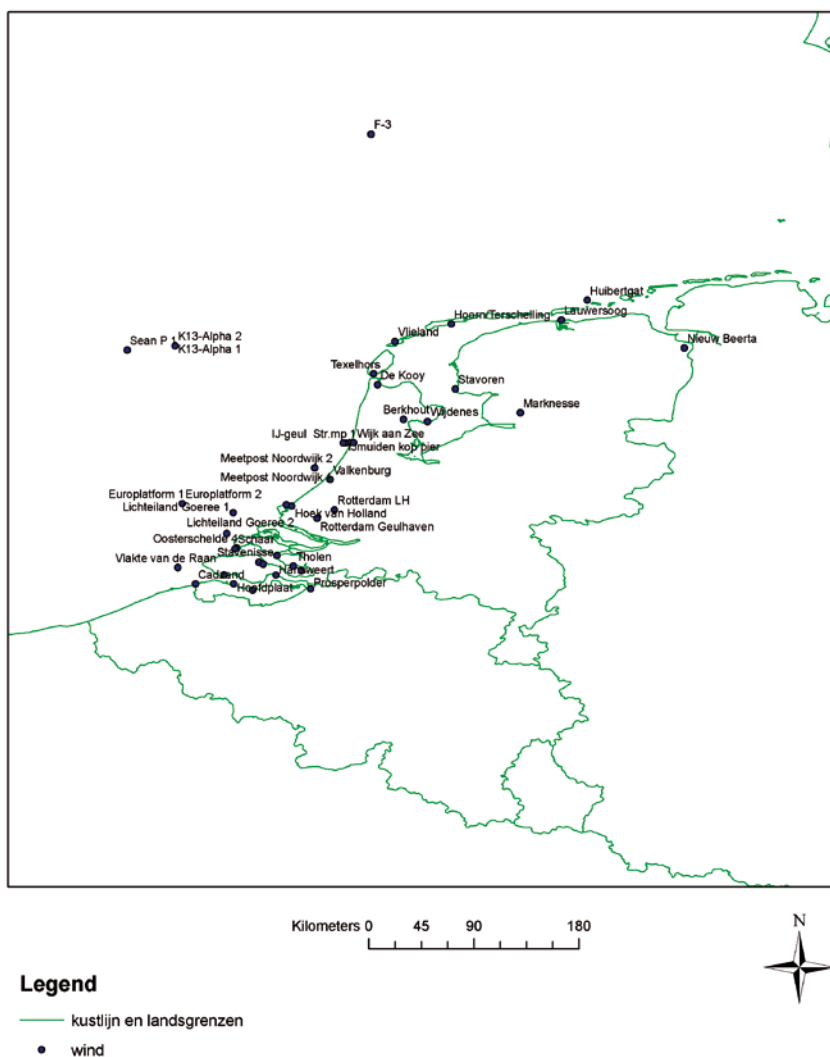
2.3 Analyse windgegevens

Bij de verwachting van de waterstanden wordt gebruik gemaakt van de verwachtingen van wind die het KNMI maakt met behulp van het meteorologisch voorspelmodel HIRLAM. Met behulp van HIRLAM wordt 4 maal per dag een weersverwachting afgegeven. De verwachting voor de windsnelheid en de windrichting wordt onder meer in het DCSM8 model gebruikt voor de verwachting van de waterstanden in de Noordzee en Waddenzee.

In deze analyse is gekeken naar de beschikbare meetgegevens in het gebied rondom Delfzijl. Voor de wind zijn de meetgegevens van de volgende stations geanalyseerd (zie Figuur 2.4 voor de ligging van de meetstations): Huibertgat, Lauwersoog, Nieuw Beerta en F3.

Verder is gekeken naar lokale weerseffecten die gevolgen kunnen hebben gehad voor de wind in de Eems-Dollard en daarmee de opzet.

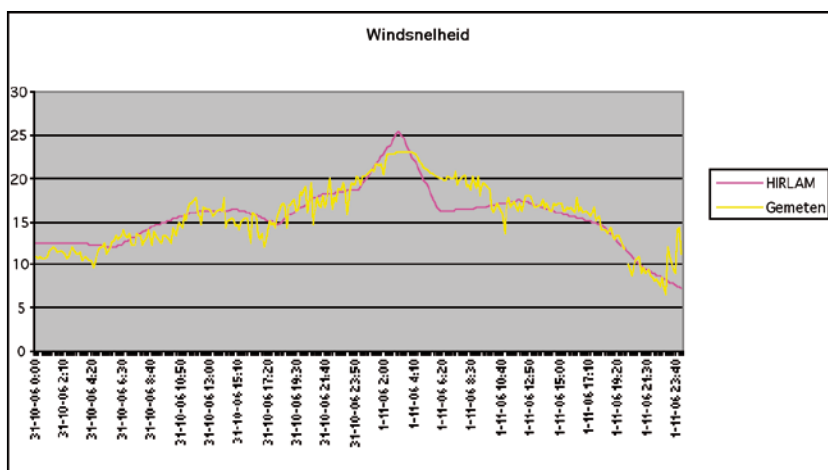
Figuur 2.7 Meetstations voor wind



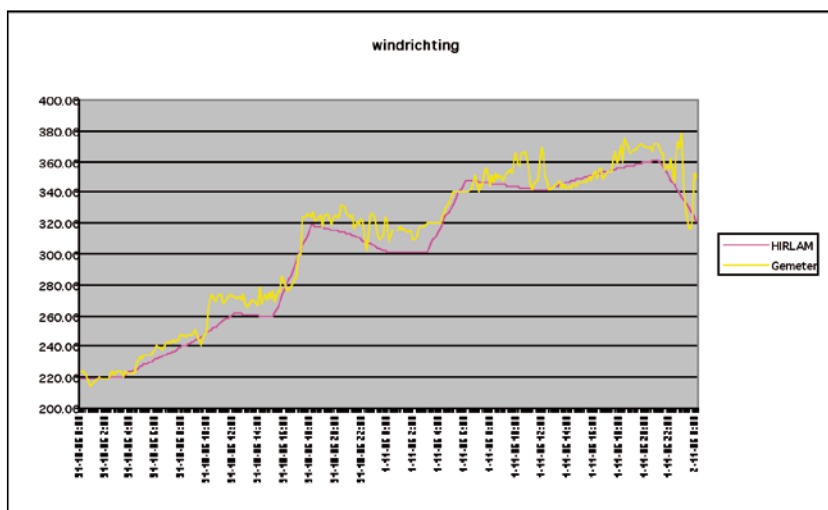
2.3.1. Huibertgat

De meetgegevens voor Huibertgat zijn niet helemaal volledig. Er is een periode (tussen 3 uur en 7 uur) dat er geen 10 min waarnemingen voor de wind beschikbaar zijn. Wel zijn uurgegevens beschikbaar. Dit zijn uurgemiddelde waarden, pieken in de windsnelheid zijn daardoor niet terug te vinden. Dit is te zien in Figuur 2.8.

Figuur 2.8 Windsnelheid in Huibertgat (gemeten en verwacht)



Figuur 2.9 Windrichting in Huibertgat (gemeten en verwacht)



Over het algemeen waren de meteo-verwachtingen voor Huibertgat redelijk in lijn met de gemeten waarden. Er zijn weliswaar verschillen:

1. HIRLAM verwachtte een piek om 3 uur van 25 m/s (3-uurlijkse verwachting). Deze komt in de metingen niet terug. Er is een windsnelheid van 23 m/s gemeten (gemiddelde uurwaarde).
2. In de periode van 4 uur tot ongeveer 9 uur is de gemeten wind hoger dan de verwachting van HIRLAM. Met een maximaal verschil van 3.8 m/s rond 6 uur.
3. In de periode van 0 uur tot 5 uur is de gemeten windrichting gemiddeld 12 graden noordelijker geweest dan dat de verwachting aangeeft (zie Figuur 2.9).

De verschillen zijn beperkt en het is niet aannemelijk dat deze verschillen de fout in Delfzijl volledig kunnen verklaren. Bekend is wel dat het gebied gevoelig is voor de windrichting. Als de wind precies het estuarium van de Eems-Dollard inblaast, dan kan de opzet ver oplopen, terwijl dat veel minder het geval is als de windrichting daar iets van verschilt. De mogelijke impact van bovengenoemde verschillen is daarom wel geanalyseerd.

2.3.2. Lauwersoog

De gemeten windsnelheid in Lauwersoog ligt structureel hoger dan de verwachte windsnelheid door HiRLAM in de periode van 31 oktober 2006 18 uur tot 1 november 2006 18 uur, zie Figuur 2.10.

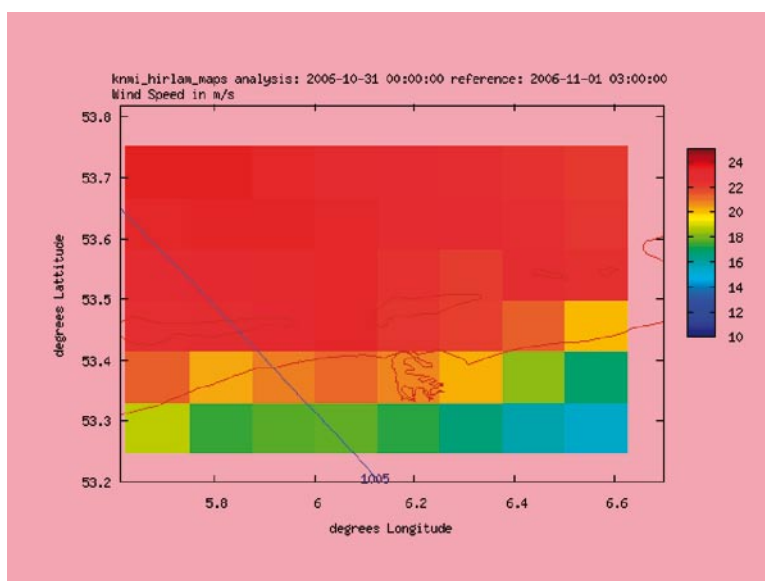
.....

Figuur 2.10: Gemeten windsnelheid [m/s] bij Lauwersoog (zwart), en verwachte windsnelheid uit het HiRLAM model met de volgende starttijden: 2006-10-31 18:00:00 (grijs); 2006-11-01 00:00:00 (rood); 2006-11-01 06:00:00 (blauw).



.....

Figuur 2.11 Het windveld tijdens de storm nabij Lauwersoog



In figuur 2.11 staat het berekende windveld tijdens de storm. In het HiRLAM model wordt de windsnelheid boven delen van de Waddenzee afgeremd. Dit is waarschijnlijk de invloed van nabijgelegen land en de beperkte resolutie van 22 km. Dit is een bekend effect waarvoor in enige mate wordt gecompenseerd door gebruik van het zogenaamd land-zee-masker. Duidelijk is dat het uitmaakt welke HIRLAM-cel gekozen wordt als zijnde representatief voor Lauwersoog. Het windmeetstation in Lauwersoog staat langs de kust en bij de noordenwind van de storm zal de windsterkte boven open water worden gemeten. De gemeten wind in Lauwersoog wijkt nauwelijks af van de gemeten wind in Huibertgat. De gemeten windrichting is hier over de hele linie goed in overeenstemming met de verwachting en laat ook een gelijke trend met de wind in Huibertgat zien.

2.3.3. Nieuw Beerta

Nieuw Beerta is een station in Noord Oost Groningen (zie figuur 2.4). Nieuw Beerta is weliswaar een landstation, maar levert nuttige informatie, omdat dit station – ten opzichte van Huibertgat – aan de andere kant van de Eems-Dollard ligt.

Figuur 2.12 Gemeten windsnelheid [m/s] bij Nieuw Beerta (zwart), en verwachte windsnelheid uit het HiRLAM model met de volgende starttijden: 2006-10-31 18:00:00 (grijs); 2006-11-01 00:00:00 (rood); 2006-11-01 06:00:00 (blauw).

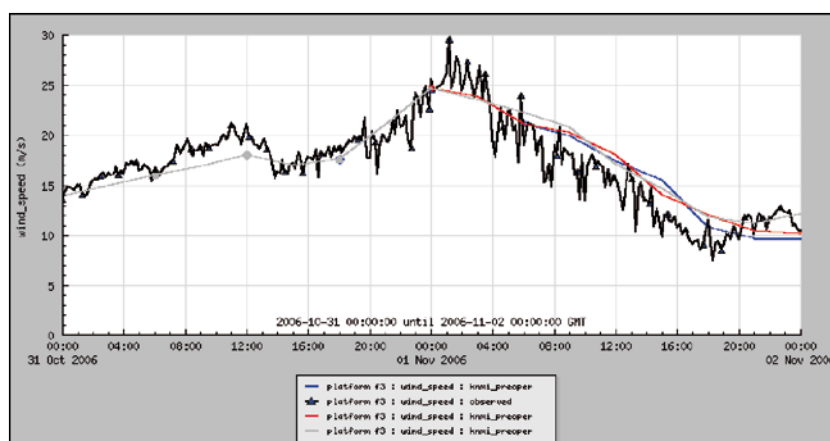


De windrichting is over het geheel genomen goed in overeenstemming met de verwachting. De opgetreden windsnelheid in Nieuw Beerta is tussen 4 uur en 8 uur aanzienlijk hoger dan de verwachte windsnelheid (zie Figuur 2.12). Er is gemiddeld een windsnelheid van 15 m/s gemeten, terwijl er gemiddeld 10 m/s is verwacht. Dat is een aanwijzing dat het tussen Huibertgat en Nieuw Beerta, boven het Eems-Dollard estuarium, harder heeft gewaaid dan verwacht.

2.3.4. F3

Platform F3 ligt ongeveer 50 km ten noorden van de waddeneilanden. De windrichting is hier goed verwacht. De windsnelheid ligt tussen 1 uur en 4 uur boven de verwachte waarde, zie Figuur 2.13.

Figuur 2.13: Gemeten windsnelheid [m/s] bij F3 (zwart), en verwachte windsnelheid uit het HiRLAM model met de volgende starttijden: 2006-10-31 18:00:00 (grijs); 2006-11-01 00:00:00 (rood); 2006-11-01 06:00:00 (blauw).



Het verschil varieert sterk in deze periode. Soms is de gemeten wind gelijk aan de verwachte waarde op andere momenten is de gemeten wind 4 tot 5 m/s hoger dan de verwachte wind.

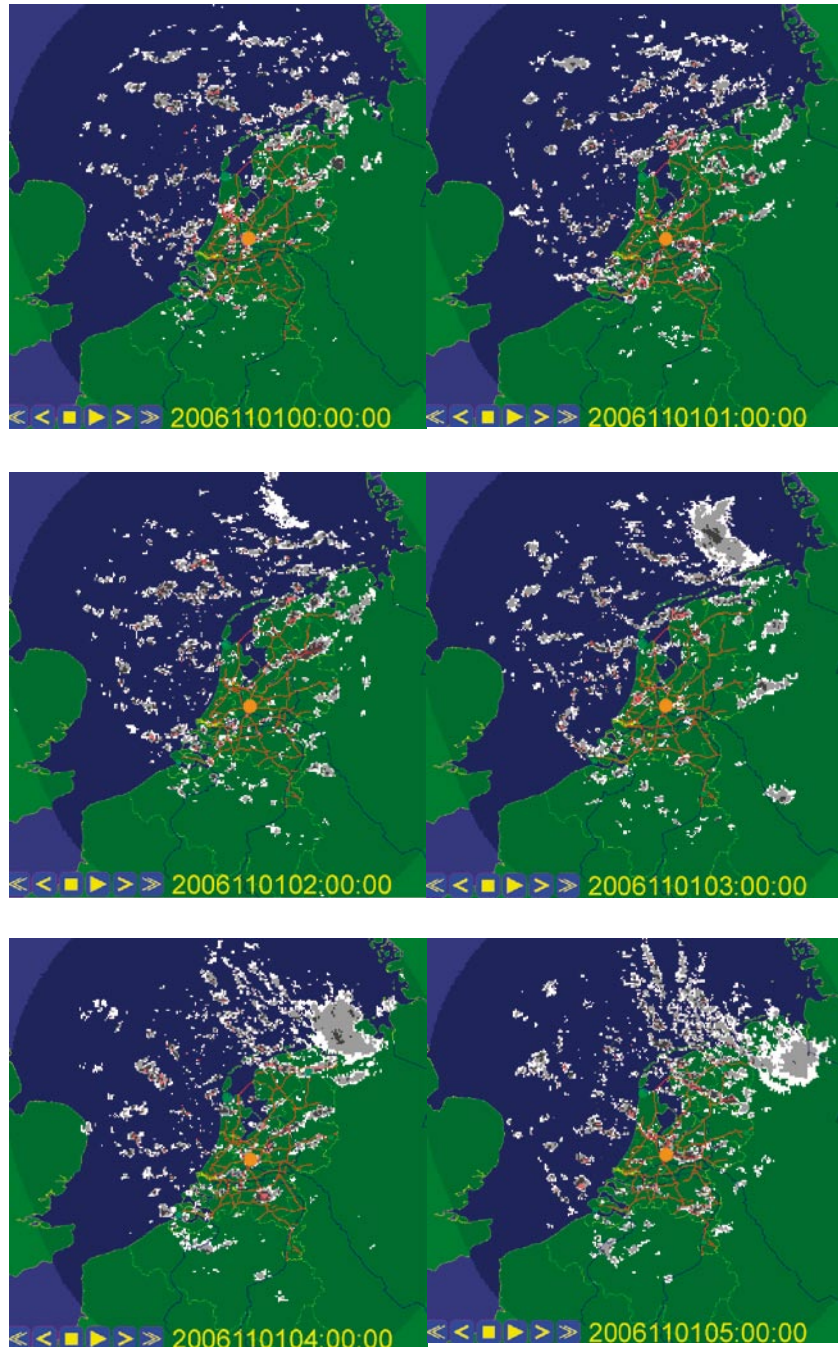
2.3.5. Lokale weers- en modeleffecten

In de nacht van 1 november trok een trog met buien over de Noordzee (zie Figuur 2.14). Deze trog passeerde het gebied van Eems-Dollard vlak voor hoogwater in de ochtend van 1 november. De daarmee verbonden tijdelijke windtoename was tevoren niet door de atmosfeermodellen verwacht. Deze aanname wordt bevestigd door met name de windgegevens in Nieuw Beerta, hier is te zien dat HIRLAM de wind tussen 4 uur en 8 uur heeft onderschat. Op de buienradar is te zien dat vanaf 5 uur het buiengebied boven Nieuw Beerta lag ². Meteorologen van het KNMI hebben bevestigd dat de lokale toename van de wind onder de trog aanmerkelijk kan zijn. Gezien de beperkte omvang van de trog en het feit dat zich in het betrokken gebied geen metingen worden verricht, was het voor de dienstdoende hydrologen en meteorologen niet mogelijk om te komen tot een verder verfijning van de modelverwachting.

Huibertgat lag op de rand van het buiengebied. In de periode tussen 4 uur en 8 uur zijn er enigszins hogere windsnelheden gemeten in Huibertgat dan verwacht was. Aangezien Huibertgat aan de rand lag, kan het zijn dat er in het Eems-Dollard-gebied nog hogere windsnelheden zijn geweest.

² De tijden van de buienrader zijn in MET. De tijden in de grafieken zijn in GMT.

.....
Figuur 2.14 Buienradar van 1:00
 t/m 6:00 uur 1 november 2006
 (bron: KNMI, tijden in grafieken
 zijn UTC)

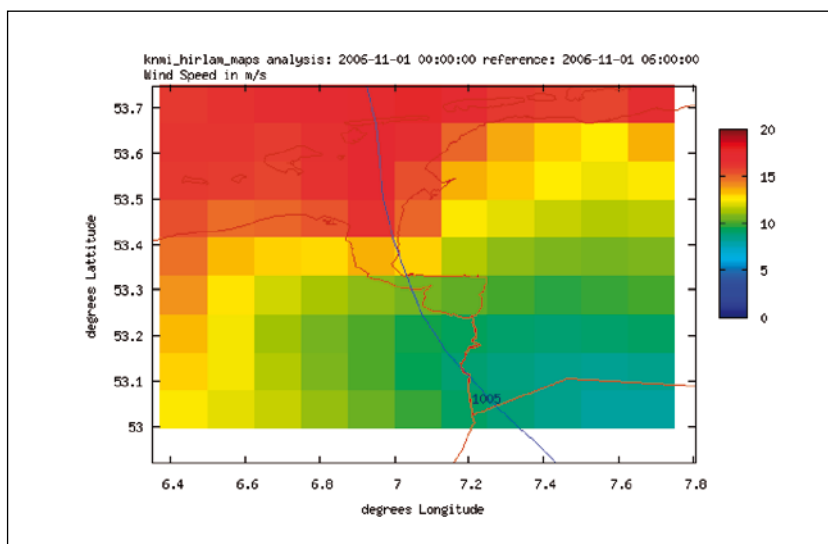


Een ander effect dat ook een rol kan spelen is dat de wind in de Eems-Dollard mogelijk überhaupt onderschat wordt door HIRLAM, als gevolg van de voor dit gebied te grove schematisatie. In figuur 2.15 staat het windveld, zoals dit door HIRLAM is verwacht. Hierin is een sterke afname te zien van de windsnelheid, komende vanuit de Noordzee naar Delfzijl toe. Zeker bij een noordenwind is het de vraag of de wind zo sterk in de Eems-Dollard afneemt. Als de wind over open water de Eems-Dollard inwaait, mag aangenomen worden dat de wind daarboven nauwelijks zal afnemen. HIRLAM rekent voor iedere cel een windsnelheid uit die het gemiddelde is van de wind over de verschillende oppervlakken die in de cel aanwezig zijn, zoals

zee of grasland of bos. Bij het gebruik van de windsnelheden ten behoeve van de waterstandsverwachting leidt dit mogelijk tot een onderschatting.

De effecten van een mogelijk lokaal heviger wind dan uit de beschikbare meetlocaties bleek, en de mogelijk te lage wind door een te grove schematisatie, kunnen elkaar versterken.

.....
Figuur 2.15 Windveld, zoals dit door HIRLAM is verwacht



2.4 Modelberekeningen

2.4.1. Inleiding

Op basis van de analyse die in paragraaf 2.2 en 2.3 is gepresenteerd, kunnen hypothesen worden gesteld voor de oorzaak van de afwijking tussen de verwachte en de opgetreden waterstand. In deze paragraaf worden modelberekeningen gepresenteerd op grond waarvan de hypothesen nader kunnen worden onderbouwd.

Mogelijke belangrijke oorzaken van het verschil kunnen zijn:

1. De wind in de Eems-Dollard wordt door HIRLAM onderschat.
2. Het heeft harder gewaaid in de Eems-Dollard dan wat nu uit de metingen rondom dat gebied blijkt.
3. De windrichting is anders geweest dan wat nu uit de metingen rondom dat gebied blijkt.
4. De sluiting van het Ems-Sperrwerk³.

Deze lijst is niet volledig, in een aanvullend onderzoek kunnen nog verdere factoren worden geanalyseerd, zoals bodemligging of winddragcoëfficiënt.

Voor het uitvoeren van de modelberekeningen moet een model worden gekozen. De wind-overdrachtscoëfficiënt in dit model is gelijk

³ Het Ems-Sperrwerk is een stormvloedkering in de Eems. Het Ems-Sperrwerk is tijdens deze storm gesloten geweest. Het effect van de sluiting van het Ems-Sperrwerk wordt niet in de modellen meegenomen.

gekozen aan de overdrachtscoëfficiënt die in DCSM8 wordt gebruikt.

Ad 1)

Om na te gaan wat het effect zou kunnen zijn van de onderschatting van de windsnelheid in de Eems-Dollard is een simulatie uitgevoerd, waarbij de wind in Huibertgat is gebruikt voor het hele gebied in plaats van de ruimtelijk variërende wind op basis van meerdere stations, waar de SVSD normaliter mee rekent. In 2.4.3 zijn de resultaten gepresenteerd.

Ad 2 en 3)

Om na te gaan wat de windsnelheid geweest zou moeten zijn om het verschil tussen meting en verwachting te verklaren is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij gevarieerd is met de windsnelheid. Daarnaast is ook gevarieerd met de windrichting. De resultaten staan beschreven in 2.4.4.

Ad 4)

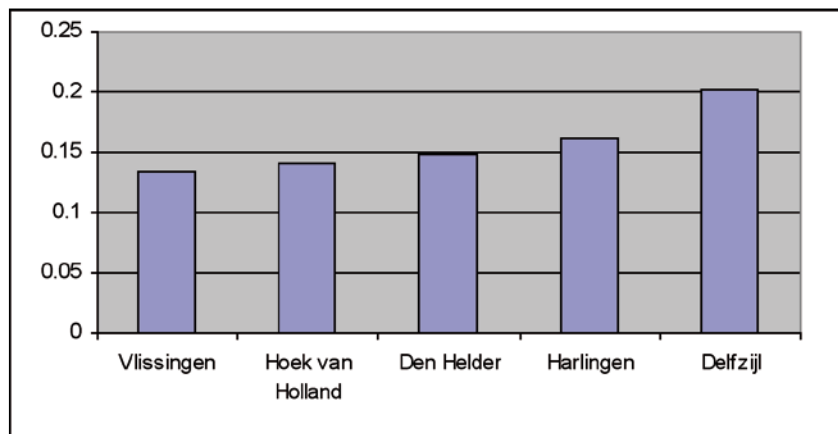
Het effect van het sluiten van het Ems-Sperrwerk is beschreven in 2.4.5.

Bij de simulaties in 2.4.3 en 2.4.4 is uitgegaan van een gesloten Ems-Sperrwerk.

2.4.2. Modelkeuze

De SVSD maakt voor de operationele verwachting gebruik van het DCSM8 model. Er is in de jaren veel ervaring opgedaan met dit model en in het algemeen presteert het model goed. Er zijn echter ook tekortkomingen. Het DCSM8 model is erg grof, zeker voor een klein gebied als het Eems-Dollard estuarium. Het gemiddelde verschil tussen de modelverwachting en de opgetreden waterstand ligt voor Delfzijl hoger dan voor de overige SVSD-locaties.

Figuur 2.16 Gemiddeld verschil (RMSE in [m]) tussen de verwachte waterstand met behulp van DCSM8 en de opgetreden waterstand over de periode 1-1-2005 tot 20-9-2006.

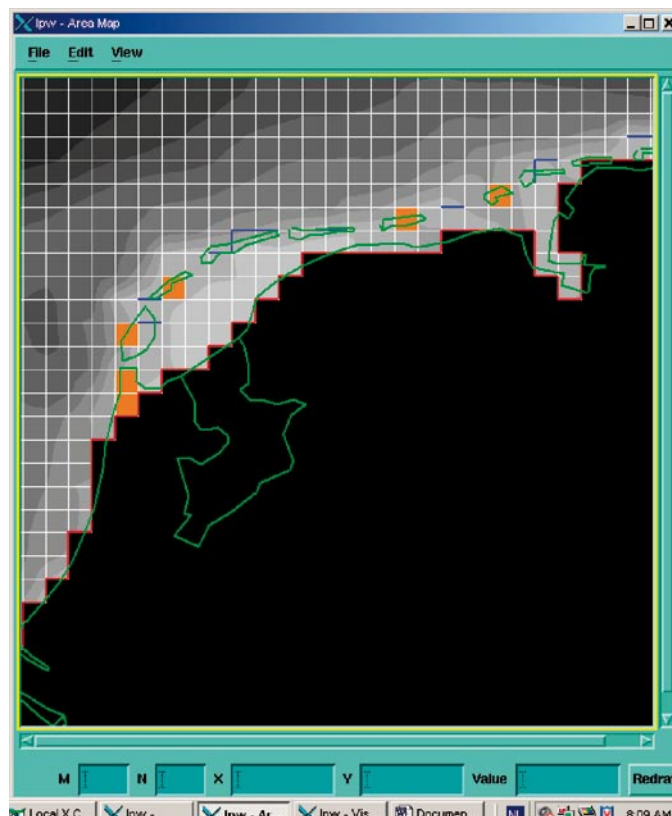


In Figuur 2.16 is het gemiddelde verschil bepaald voor alle SVSD locaties op basis van de gegevens die over de gehele beschouwde periode van 1 januari 2005 tot 20 september 2006 elke tien minuten beschikbaar zijn (dus ook tijdens niet stormvloedomstandigheden). In [11] zijn de verwachtingen van de SVSD over de afgelopen 50 jaar vergeleken met de opgetreden waterstanden. Hierin is dus gekeken naar de gemiddelde fout bij stormvloeden en ook daar is de gemiddelde fout in Delfzijl hoger dan bij de andere SVSD-locaties.

Een verklaring voor de grotere verschillen in Delfzijl is te vinden in de schematisatie van het DCSM8 model. De Eems-Dollard bestaat in het DCSM8 model uit 4 afzonderlijke cellen (Zie Figuur 2.17). Dit is erg weinig om de waterbeweging goed te modelleren in een qua geometrie complex gebied, zoals de Waddenzee en de Eems-Dollard.

Het nadeel van de lage resolutie is vooral dat de resultaten erg afhankelijk worden van keuzes in de modelopzet en de kalibratie van het model. Bij een hogere resolutie is de relatie tussen geometrie/ bodemdiepte en schematisatie veel eenduidiger, waardoor de betrouwbaarheid van de resultaten toeneemt.

.....
Figuur 2.17 Rooster van DCSM8 voor de Nederlandse kust.



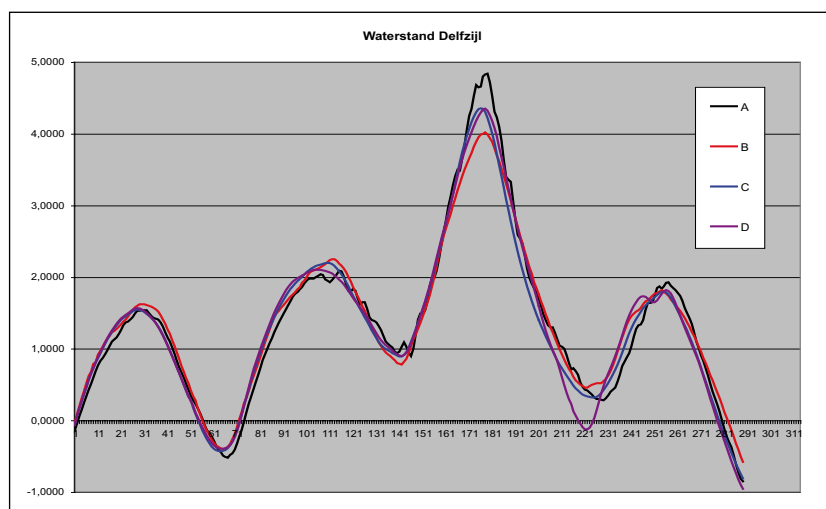
Er zijn ook nu geen concrete aanwijzingen dat het DCSM8 model in de hier onderzochte situatie onvoldoende heeft gepresteerd. Toch wordt voor het onderzoek naar het effect van verschillende hypothesen uit 2.4.1 gebruik gemaakt van een fijnschaliger model (zie modellentrein, Bijlage B). Daartoe is een uitsnede gemaakt van het KuststrookFijn

model. Er is voor het Kuststrook-Fijn model gekozen, omdat dit model voor het gebied de hoogste resolutie heeft. Een beschrijving van het gebruikte model staat in Bijlage C. Voor de randvoorwaarden is gebruik gemaakt van de resultaten van het operationele Kuststrook-Fijn model van het Hydro-Meteo Centrum Rijnmond.

2.4.3. Gebruik wind uit Huibertgat

In de operationele situatie wordt gerekend met ruimtelijk variërende wind uit HIRLAM. Om na te gaan of de wind door HIRLAM in deze situatie is onderschat, zijn twee simulaties uitgevoerd met gebruik van de wind in Huibertgat. Hierbij is zowel met de gemeten als met de verwachte wind door HIRLAM gerekend.

Figuur 2.18 Vergelijking effect van de gebruikte wind.



Betekenis grafieken:

- A Gemeten waterstand (maximale waterstand 4.83 m)
- B Operationele modelverwachting (maximale waterstand 4.01 m)
- C Modeluitkomst met gebruik van de gemeten wind in Huibertgat over het gehele modelgebied (maximale waterstand 4.34 m)
- D Modeluitkomst met gebruik van de door HIRLAM verwachte wind in Huibertgat over het gehele modelgebied. (maximale waterstand 4.34 m)

In Figuur 2.18 is te zien dat:

- het gebruik van de wind bij Huibertgat een extra waterstandsverhoging van 33 cm geeft te zien, ten opzichte van de operationele verwachting.
- de maximale verwachte waterstand van 4.34 m nog steeds 49 cm lager is dan de werkelijk opgetreden maximale waterstand van 4.83 m. Toch ondersteunt de berekening de hypothese dat de wind boven open water een beter uitgangspunt is voor de verwachting dan een windveld dat ook op landpunten is gebaseerd.
- Het effect van het gebruik van gemeten of verwachte waarden van de wind in Huibertgat weinig verschil maakt.

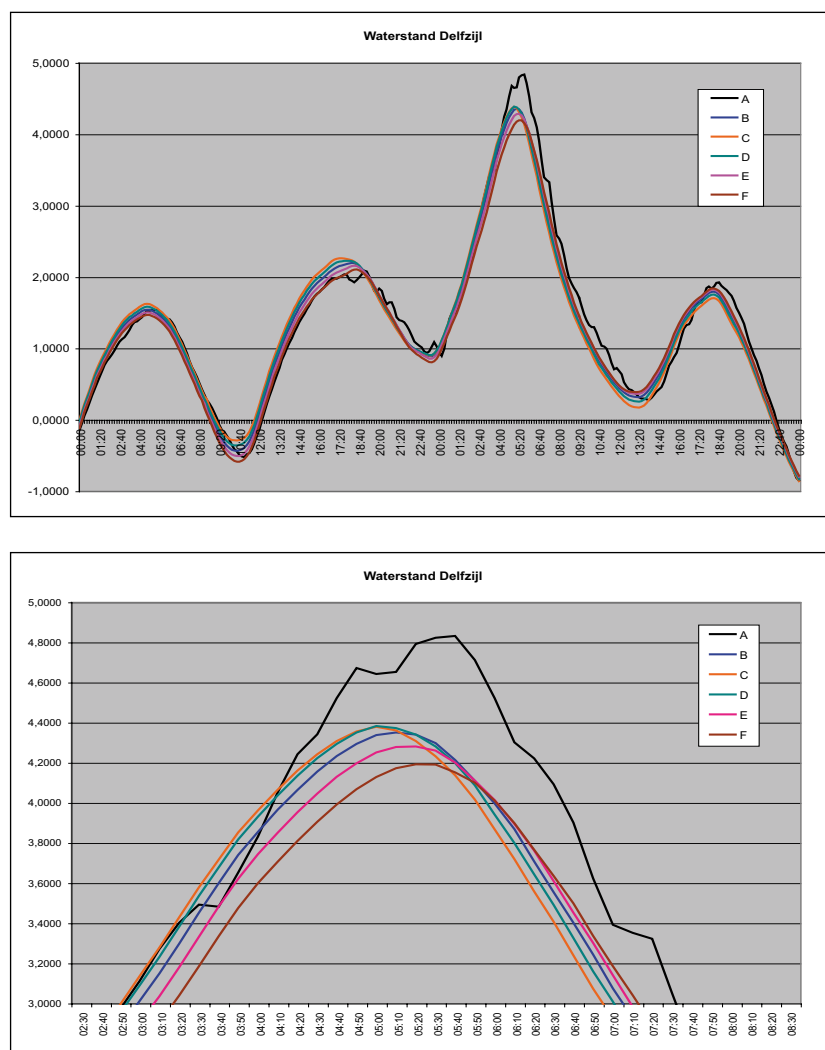
2.4.4. Gevoeligheidsanalyse

Van het Eems-Dollard estuarium is bekend dat de opzet erg gevoelig is voor de windrichting. Bij een noordenwind wordt het water recht het estuarium ingeblazen, waardoor de wateropzet maximaal is. Om een indruk te krijgen in wat het effect op de waterstand in Delfzijl is ten gevolge van een andere windrichting of een hogere windsnelheid is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Referentie is de wind uit HIRLAM in Huibertgat. Deze wind is als uniforme wind (in de ruimte) voor het model gebruikt. Vervolgens zijn er simulaties uitgevoerd met windrichtingen die 20 en 10 graden oostelijker zijn en met windrichtingen die 10 en 20 graden westelijker zijn.

De resultaten staan afgebeeld in Figuur 2.19. Hieruit blijkt dat de waterstand in Delfzijl in de opgetreden situatie weinig gevoelig is voor de windrichting. De windrichting die is opgetreden leidde dus tot vrijwel de maximaal mogelijke waterstand bij Delfzijl, in de gegeven omstandigheden. Een andere windrichting had de waterstand nauwelijks hoger doen zijn.

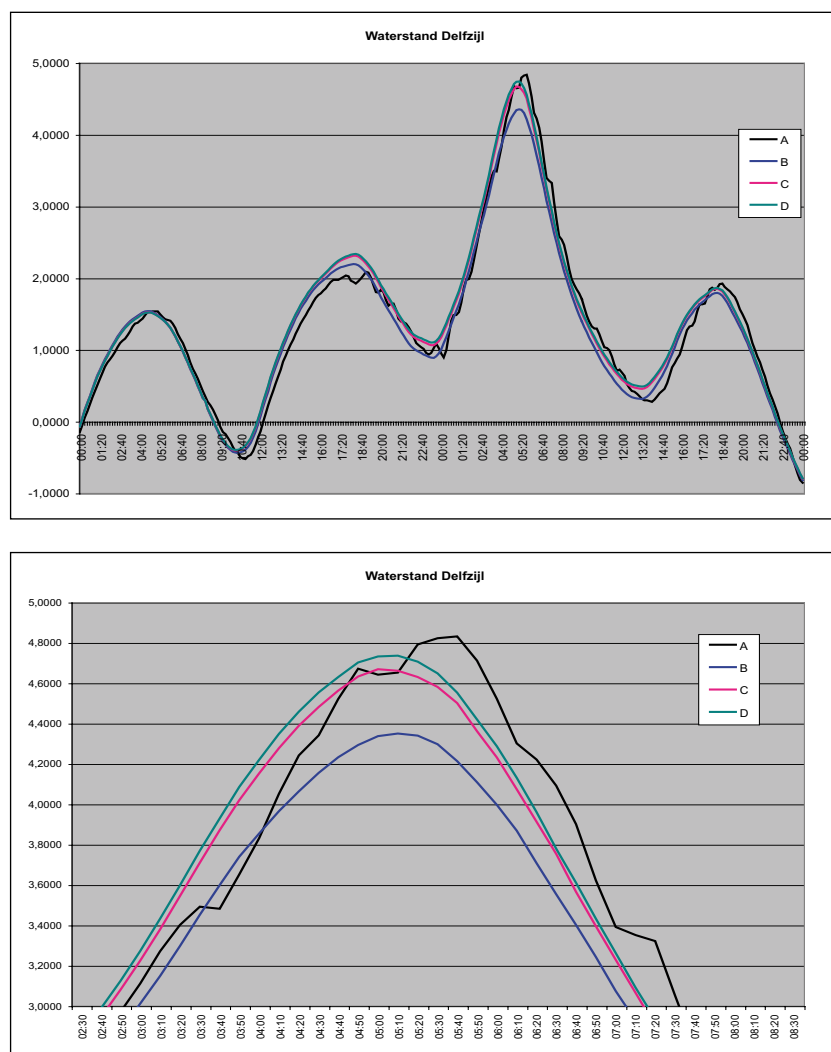
Figuur 2.19 Gevoeligheid van de resultaten voor de windrichting



- A Gemeten waterstand (max 4.83 m)
- B referentiesimulatie (max 4.34 m)
- C modelresultaat met wind graden 20° oostelijker dan referentiesimulatie (max 4.37 m)
- D modelresultaat met wind graden 10° oostelijker dan referentiesimulatie (max 4.38 m)
- E modelresultaat met wind graden 10° westelijker dan referentiesimulatie(max 4.28 m)
- F modelresultaat met wind graden 20° westelijker dan referentiesimulatie(max 4.19 m)

Verder is ook een berekening uitgevoerd met 10% meer wind. Zoals verwacht mag worden, komt de waterstand hiermee ook hoger uit, maar er blijft een verschil bestaan met de gemeten waterstand (Figuur 2.20).

Figuur 2.20 Gevoeligheid model voor de windsnelheid (waterstanden in [m NAP])



-
- A gemeten waterstand (max 4.83 m)
 - B referentiesimulatie (max 4.34 m)
 - C modelresultaat met 10 % meer wind (max 4.67 m)
 - D Modelresultaat met 12 % meer wind (max 4.73 m)

Uit de gevoeligheidsanalyse voor de windsnelheid blijkt verder dat bij 12 % meer wind de waterstand nog steeds 10 cm lager is dan wat gemeten is. Ook ligt het tijdstip van hoogwater een half uur vroeger bij de simulaties dan dat het in werkelijkheid is geweest. Dit zou erop kunnen duiden dat de windsnelheid in de periode van een half uur voor hoog water tot het daadwerkelijke hoogwater lokaal veel hoger geweest is. Dit is consistent met het passeren van de trog met het uitgebreide buiencomplex.

Het feit dat bij 12% extra windsnelheid de modelwaterstand al dicht bij de werkelijk opgetreden waarde komt ondersteunt de hypothese dat het lokaal, mogelijk mede in verband met de trog en het bijbehorende buiencomplex, aanzienlijk harder heeft gewaaaid dan door HIRLAM verwacht.

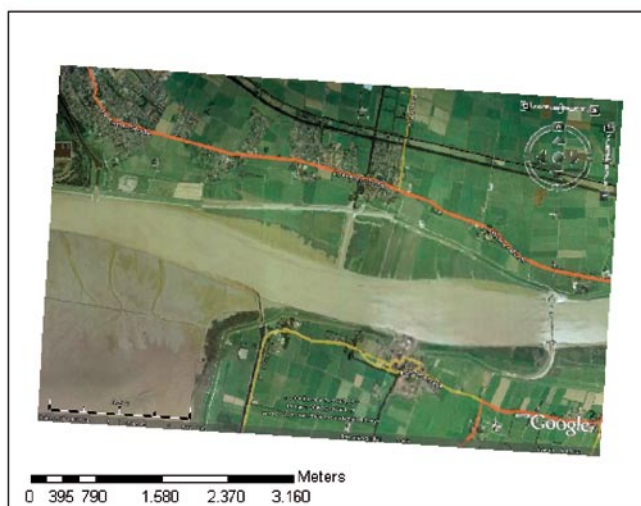
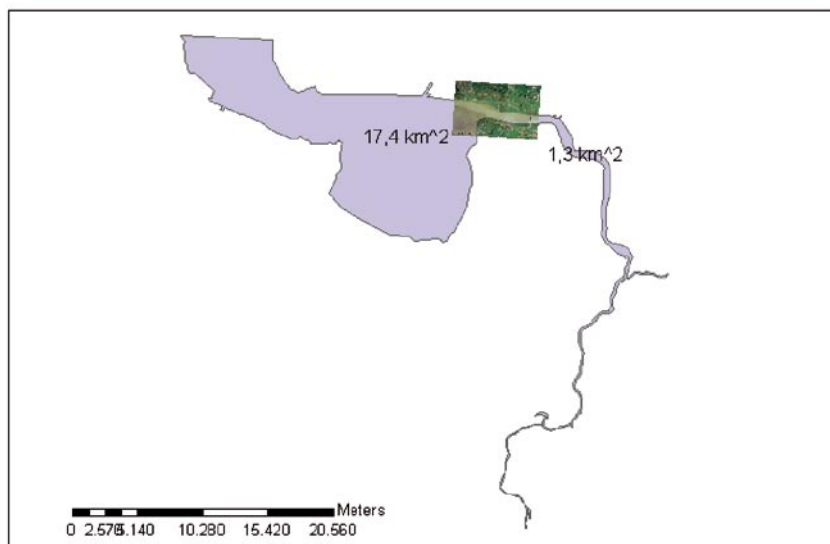
2.4.5. Sluiting Ems-Sperrwerk

Onderzocht is of het sluiten van het Ems-Sperrwerk in de Eems gevolgen heeft voor de waterstand in Delfzijl. Dit Sperrwerk is in 2002 in gebruik genomen (zie Figuur 2.21).

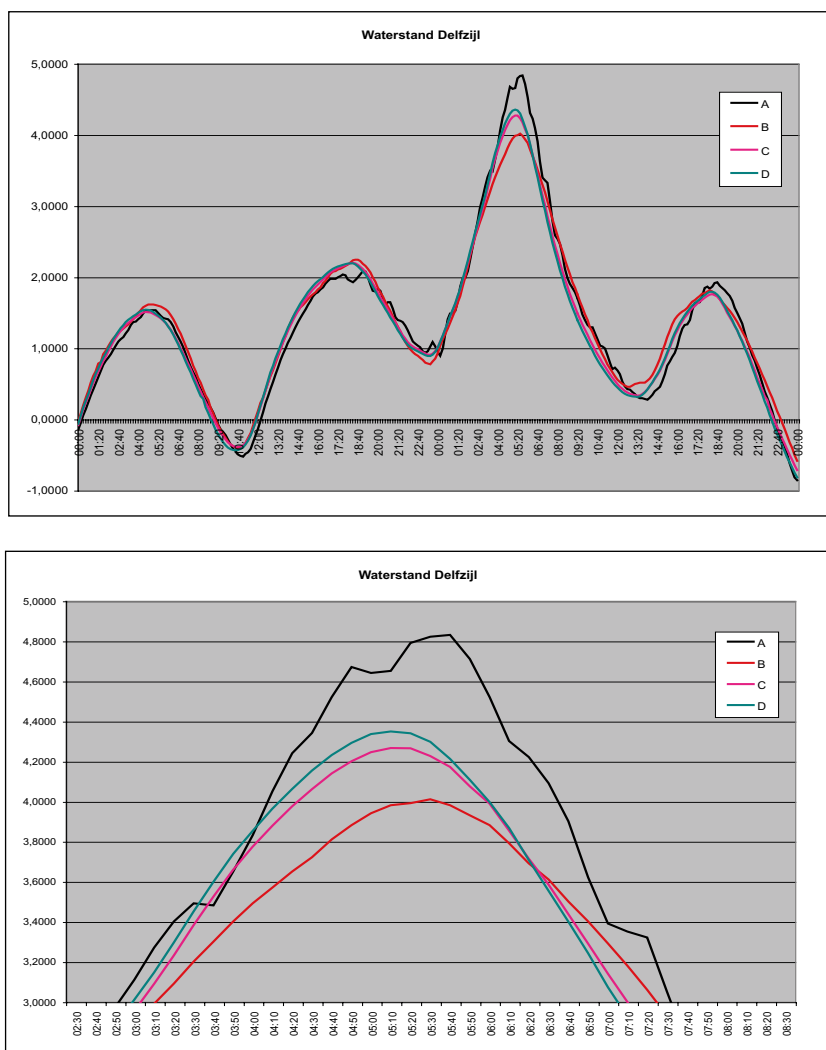
Duitsland en Nederland hebben tijdens de ontwerpfase de gevolgen onderzocht. De conclusie van dit onderzoek was dat er bij sluiting van het Ems-Sperrwerk een maximale waterstandsverhoging van 10 cm bij Delfzijl werd verwacht ten opzichte van de situatie, waarbij het Ems-Sperrwerk is geopend.

Er is bij de analyse uitgegaan van een 'worst case'-scenario, waarbij het Ems-Sperrwerk continu is afgesloten. Dit scenario is vergeleken met een volledig geopende situatie. Bij hoogwater was in Delfzijl een waterstandsstijging te zien van 8 centimeter ten gevolge van de sluiting van het Ems-Sperrwerk (zie Figuur 2.22). Gezien het gehanteerde 'worst-case' scenario zal het werkelijke effect kleiner dan 8 cm zijn geweest.

.....
Figuur 2.21 Ems-Sperrwerk



Figuur 2.22 Gevolg sluiting Ems-Sperrwerk (waterstanden in [m NAP])



- A gemeten waterstand (max 4.83 m)
- B operationele verwachting (max 4.01 m)
- C modelresultaat met verwachte wind in Huibertgat, en Eems volledig open (max 4.26)
- D modelresultaat met verwachte wind in Huibertgat, en Eems volledig gesloten (max 4.34)

Op basis van de modelberekeningen kan een deel van de verklaring voor de afwijking worden gevonden. Door de wind in Huibertgat te nemen als representatief voor het gebied en door de sluiting van het Ems-Sperrwerk mee te nemen kan het verschil van 83 cm tussen verwachting en meting gereduceerd worden tot 50 cm. De bijdrage van het Ems-Sperrwerk is hiervan maximaal 8 cm en ligt binnen de marge die bij het ontwerp is aangenomen. Het resterende verschil is mogelijk een combinatie van te lage windsnelheden bij de operationele verwachtingen door HIRLAM en lokaal verhoogde windsnelheden door de trog met buien.

In de metingen zijn wel enige aanwijzingen dat dit laatste het geval is geweest, maar omdat een meetpunt in de monding van de Eems-Dollard ontbreekt is dit niet met zekerheid vast te stellen.

2.5 Conclusies en aanbevelingen

Uit de beschreven analyses worden de volgende conclusies getrokken:

1. De waterstandsverwachtingen voor de meeste hoofdlocaties van de SVSD tijdens deze storm waren goed. Zelfs de verwachting in Huibertgat was goed. Alleen Delfzijl week sterk af.
2. De zeer hoge waterstanden in de Eems-Dollard op 1 november vormden een vrij lokaal verschijnsel. Dit werd mede veroorzaakt door een relatief smalle band op centrale Noordzee met hele hoge windsnelheden. Dit gebied bevond zich exact stroomopwaarts van het gebied nabij de Eems-Dollard.
3. De passage van een trog met buien, waarbij de windsnelheid mogelijk nog even verder opliep veroorzaakte mogelijk een extra verhoging van de waterstand. Deze trog passeerde het gebied vlak voor het hoogwater in de ochtend van 1 november. Deze tijdelijke windtoename is tevoren niet door de atmosfeermodellen verwacht.
4. De windsnelheid, die met behulp van HIRLAM wordt verwacht, is voor de Eems-Dollard te laag. Het rooster van HIRLAM is met 11 km te grof om de relatief kleine Eems-Dollard goed weer te geven.
5. Om de extra opzet te kunnen verklaren op basis van de windsnelheid, moet de windsnelheid boven open water bij Huibertgat over het gehele gebied worden aangenomen, en met ongeveer 15% worden verhoogd.
6. Het DCSM8 model is met een rooster van ongeveer 8 km erg grof voor dit gebied. De verwachtingen voor waterstand in Delfzijl zijn minder goed dan die voor de andere locaties langs de Nederlandse kust. In het operationele model wordt dit effect deels gecompenseerd door een goede kalibratie. De betrouwbaarheid kan daarmee niet worden verhoogd.
7. De sluiting van het Ems-Sperrwerk heeft tot een waterstandsverhoging van maximaal 8 cm geleid, bij aanname dat een volledige sluiting voor hoogwater plaatsvond. Dat ligt binnen de marge die bij het ontwerp als toelaatbaar is vastgesteld.

Deze conclusies leiden tot een aantal aanbevelingen:

1. Aanbevolen wordt om een extra meetlocatie voor wind te realiseren in de Eems-Dollard.

Met de beschikbare windmetingen is het niet mogelijk om een sluitende analyse van de te lage hoogwaterverwachting in Delfzijl te maken. De analyses zijn noodzakelijk om de modellen te kunnen verbeteren, en daarmee toekomstige waterstandsverwachtingen.

Tevens is de Eems-Dollard door zijn geometrie extra gevoelig voor lokale variaties van de windsnelheid en windrichting, waardoor het meten van de wind juist hier relevant is voor het hoogwater tijdens storm. Een extra windmeetpunt in de Eems-Dollard kan door de SVSD worden gebruikt om de korte termijn verwachting (< 6 uur vooruit) nog te kunnen bijstellen.
2. Er moet worden onderzocht of het waterbewegingsmodel DCSM8 moet worden vervangen door een nieuw 'SVSD-model' om de verwachtingen in de sector Delfzijl te verbeteren. Door de grove schematisatie is het huidige DCSM8 model erg gevoelig voor keuzes bij het opstellen van het model. Door kalibratie kan de kwaliteit alleen op een aantal locaties worden verbeterd.
3. Het wordt aanbevolen bij een nieuwe modelontwikkeling de invloed van andere factoren, zoals atmosferische druk, winddragcoëfficiënt, radiation stress, de bodemligging en het astronomische getij, op de kwaliteit van de waterstandsverwachting middels een gevoeligheidsanalyse nader te onderzoeken.
4. Het wordt aanbevolen voor het nieuwe model een betere KALMAN-filter te ontwikkelen.
5. De windverwachting voor de Waddenzee moet worden verbeterd, met name in en ten noorden van het Eems-Dollard gebied. Hiermee kan een nauwkeuriger beschrijving worden verkregen van het lokale windveld, dat de opzet daar relatief sterk beïnvloedt.

3. Evaluatie metingen golven SON

3.1 Inleiding

Tijdens de Noordwester storm met windkracht 10 op de Wadden zijn op 1 november 2006 op de Noordzee zeer hoge golven gemeten; geheel in overeenstemming met hetgeen men bij een storm met een dergelijke windsnelheid en windrichting mag verwachten. Zo liep de significante golfhoogte bij de ELD (Eierlandse Gat) boei en de SON (Schiermonnikoog Noord) (zie Figuur 3.1) boei op tot circa 8,5 m, hetgeen als zeer hoog aangemerkt kan worden.

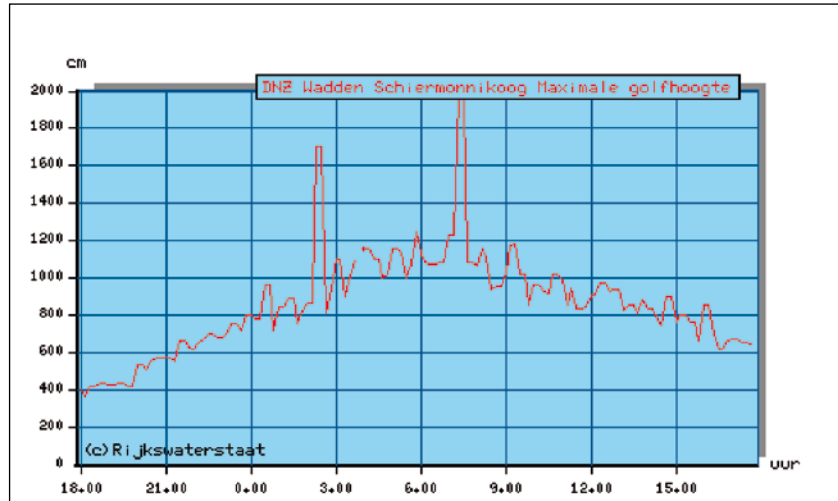
De significante golfhoogte H_s wordt in het Landelijk Meetnet van Rijkswaterstaat bepaald als het rekenkundig gemiddelde van het hoogste 1/3 gedeelte van de opgetreden golven in een tijdvenster van 20 minuten. Deze parameter geeft daarmee een betrouwbare, representatieve inschatting van de golfhoogte, maar er zijn altijd enkele individuele hoge golven die aanzienlijk groter zijn dan H_s . De hoogste gemeten golf H_{max} in een interval van 20 minuten bedraagt normaal gesproken ongeveer $1,5 H_s$, maar vrijwel nooit meer dan $2 H_s$.

Figuur 3.1 Positie golfmeetboeien ELD en SON.

Golfmeetstations



.....
Figuur 3.2 Extreem hoge
 waarden van $H_{\max}$ op 1 november
 2006.



Echter, tijdens de bovengenoemde storm heeft de Directional Waverider bij SON twee keer extreem hoge waarden voor $H_{\max}$ (zie Figuur 3.2) geregistreerd die wel erg ver boven de H_s van dat moment (circa 7,3 m) lagen.

Zo is er een $H_{\max}$ van 17 m ($\approx 2,4 H_s$) en zelfs een $H_{\max}$ van 19,8 m ($\approx 2,7 H_s$) geregistreerd. Deze waarden van $H_{\max}$ zijn zo hoog (het zouden de hoogste golven zijn die ooit op die locatie zijn gemeten!) dat de controle van de boei en de data versneld zijn uitgevoerd om na te gaan of deze golfhoogten werkelijk zijn opgetreden.

Er is reden om te twijfelen aan de juistheid van de geregistreerde waarden, zowel vanwege de zeer hoge golfhoogte op een dergelijke, tamelijk ondiepe locatie (lokale waterdiepte was ongeveer 20 m) als ook vanwege de zeer kleine kans van optreden van een dergelijke hoge $H_{\max} / H_s$ verhouding. Derhalve heeft Rijkswaterstaat besloten eerder dan anders de juistheid van de verkregen meetresultaten te controleren.

In dit hoofdstuk worden de uitgevoerde analyses in verkorte vorm gepresenteerd, en worden conclusies en aanbevelingen gegeven.

3.2 Het golfboei meetproces

De uiteindelijk aan een gebruiker/klant gepresenteerde golfinformatie is het eindresultaat van een keten van meetactiviteiten:

- Het meetinstrument. In het geval van een golfmeetboei betreft het een flexibel verankerd boeilichaam dat in het stochastische golfveld de golforbitaalbeweging van de golven volgt. Via een sensor op een horizontaal gestabiliseerd plateau wordt de verticale versnelling van de boei gemeten. Via dubbele tijdintegratie wordt dit omgezet naar de verticale uitwijking.
- De datatransmissie via radio- en telefoonverbindingen naar de centrale meetnetcomputer.

-
- De real-time validatie en verwerking van de ruwe data tot tijddomein parameters en spectrale parameters. Deze worden direct aan de gebruikers gepresenteerd via de website www.actuelewaterdata.nl.
 - Na enige tijd volgt de uiteindelijke controle op basis van fysische en statistische samenhang tussen de golfparameters, maar ook op basis van de ruimtelijke covariantie. Daarna volgt de definitieve opslag en presentatie op www.waterbase.nl.

In de volgende paragrafen wordt bovenstaande in detail beschreven.

3.3 Statistische en fysische analyse

Na het bekend worden van de waargenomen extreme golven is een eerste beschouwing uitgevoerd op basis van de in de database van Rijkswaterstaat (DONAR) beschikbare golfparameters.

In de eerste plaats is hierbij gekeken naar diverse golfparameters, zowel in het tijddomein als in het spectrale domein, van de meetlocatie SON. Belangrijke bevindingen waren dat:

- op de momenten van de extreme golven de verhouding H_{m0}/H_s kleiner was dan 1 (terwijl dat normaal gesproken andersom is),
- de golfperiode zeer lang (circa 30 s) was,
- het spectrum abnormaal veel laagfrequent energie bevatte
- enkele deelreeksen van 200 s zijn afgekeurd, die in het tijdvenster van 20 minuten lagen waarin de extreme golven voorkwamen.

In de registratie van H_{max} als functie van de tijd (zie figuur 3.2) springen de twee extreme waarden van resp. 17 en 19,8 m er als twee min of meer geïsoleerde extreme afwijkingen uit ten opzichte van een overigens tamelijk geleidelijk variërende H_{max} met waarden tussen ongeveer 10 en 12 m gedurende het hoogtepunt van de storm.

In de tweede plaats is gekeken naar de relatie van de bij SON geregistreeerde golfparameters met de overeenkomstige golfparameters van verscheidene andere locaties in de (nabije) omgeving. Daaruit bleek dat de twee bij SON geregistreeerde extreme golfhoogten niet pasten bij het algemene golfbeeld dat in de omgeving van SON aanwezig was.

In de derde plaats is gekeken naar de fysische (on)mogelijkheid dat een zodanige golfhoogte zich op een dergelijke ondiepe locatie met een waterdiepte van circa 20 m kan hebben voorgedaan. Voor beide golven, maar met name de golf met een hoogte van 19.8 m, moet dit als niet erg waarschijnlijk beoordeeld worden.

Voorlopige conclusie van de bovenstaande statistische en fysische analyse is dat de beide extreem hoge golven bij SON hoogstwaarschijnlijk berusten op onjuiste registraties, maar dat definitief uitsluitel pas gegeven kan worden na analyse van de ruwe boeimeetgegevens.

De ruwe golfdata van SON wordt niet direct opgeslagen in het meetnet, maar in een interne datalogger in de boei. Daarom is direct na de storm besloten om de boei zo spoedig mogelijk naar de kant te halen voor een nadere analyse van de ruwe data.

3.4 Inspectie van de golfmeetboei

Na het lichten van de boei is de uitwendige en inwendige gesteldheid van de boei onderzocht. Uit de Rijkswaterstaat rapportage [3] alsmede het inspectierapport [4] van de boeileverancier blijkt eenduidig dat de Directional Waverider uitwendig als onbeschadigd (zie figuur 3.3) beschouwd kan worden en dat er kennelijk tijdens de storm van 1 November geen aanvaring of een soortgelijke calamiteit van de Directional Waverider is opgetreden.

.....
Figuur 3.3. De SON boei in het lab bij Rijkswaterstaat.



Bovendien heeft het gedetailleerde calibratie-onderzoek [5] van de boeileverancier duidelijk gemaakt dat de boei ook inwendig volkomen onbeschadigd was en meettechnisch in prima conditie verkeerde. Kennelijk zijn de gemeten hoge golfhoogten dus niet te wijten aan een beschadiging van het meetinstrument.

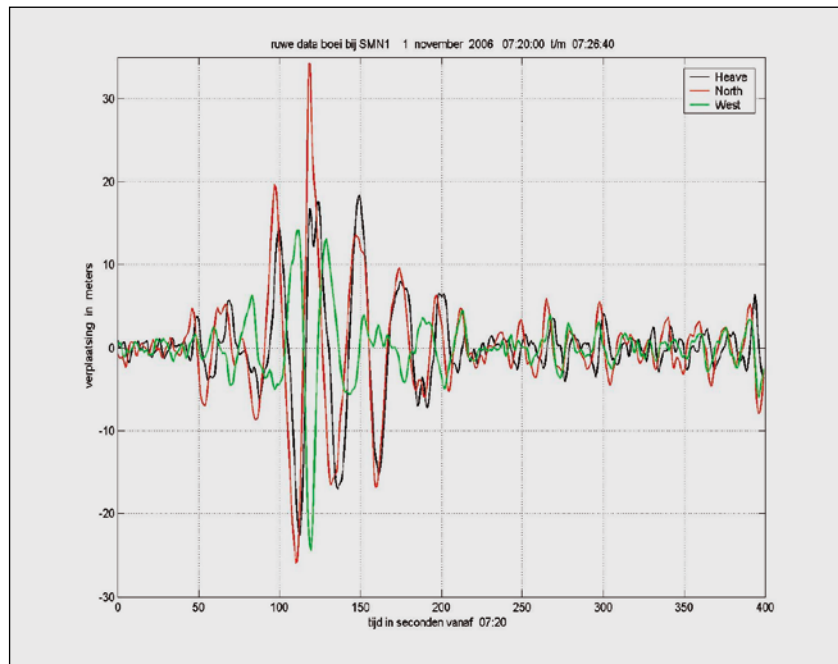
3.5 Analyse van de ruwe data

Door Rijkswaterstaat zijn de ruwe meetgegevens uit de interne datalogger van de boei gehaald. Die data betreffen de uit de gemeten versnellingen berekende verplaatsingen. Uit de analyse van de ruwe data is gebleken dat de op www.actuelewaterdata.nl gepresenteerde extreme waarden van

$H_{\max}$ in feite nog maar een deel van de onjuiste registratie waren. De grootste uitwijkingen waren voorafgaand aan de validatie nog ongeveer een factor 2 groter en zouden dus overeen gekomen hebben met golfhoogten tot pakweg 40 m, zie figuur 3.4 Het grootste deel van het signaal is al afgevangen door de directe data validatie en dus niet aan de gebruikers gepresenteerd, maar een gering deel niet. In dit deel van het signaal bevonden zich de waarden van 17 en 19.8 m. De definitieve controle en validatie voor ontsluiting via www.waterbase.nl is er op gericht om dit soort fenomenen af te vangen.

Figuur 3.4:

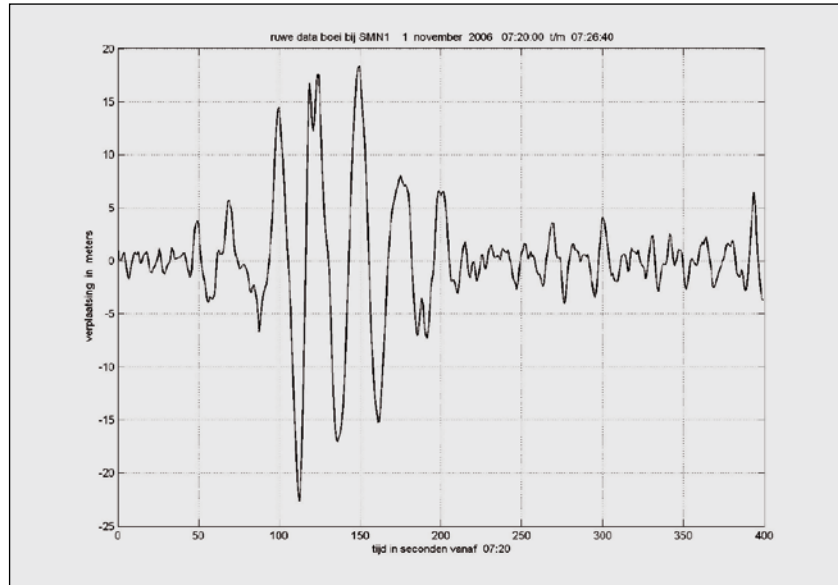
Opslingerverschijnselen zonder afkeurcriterium. Verplaatsingen van de boei in drie richtingen, bij de verticale verplaatsingen zou een golfhoogte van 40 m te zijn opgetreden en de grootste horizontale verplaatsing is 60 m.



In de beschikbare "ruwe uitwijkingen" is het effect van de overdracht van het interne digitale filter (dat zorgt voor de dubbele tijdintegratie van versnellingen naar verplaatsingen) te herleiden. Als er door plotselinge schokken een extreme versnelling (bijvoorbeeld groter dan de valversnelling) is opgetreden, is dit aan de data te zien (Figuur 3.5). De ruwe data is nader uitgezocht door de boeileverancier [6]. Daarbij is geconcludeerd dat de data van de twee extreme golfhoogten duidelijk de eigenschappen dragen van het bovengenoemde digitale integratiefilter in de boei. Volgens de boeileverancier zijn er één of meerdere 'foute' versnellingswaarden opgetreden, die zich vervolgens na vermenigvuldiging met de filtercoëfficiënten manifesteren als extreme verplaatsingen (Figuur 3.5).

.....

Figuur 3.5: De verticale verplaatsing van de boei in de periode die tot te maximale golfhoogte van 19,8 m heeft geleid. De boei is gedurende ongeveer 2½ minuut van slag geweest en daarbij is de buitengewoon hoge meetwaarde geproduceerd.



Afgezien van die twee extreme incidenten zijn alle overige golfmetingen volgens de boeileverancier in orde. Deze gedachtegang is door hen nader onderbouwd door de geregistreeerde uitwijkingen voor zover mogelijk terug te vertalen naar geschatte versnellingen. Daaruit kwam duidelijk naar voren dat de geregistreeerde hoge uitwijkingen goed verklaard kunnen worden door aan te nemen dat er één of meerdere zeer hoge versnellingen zijn opgetreden.

De oorzaak van deze grote versnellingen zal nooit met zekerheid achterhaald kunnen worden, maar als enige plausibele mogelijkheid lijkt in aanmerking te komen een situatie met brekende golven. Waarschijnlijk hebben die de boei een zodanige klap gegeven dat de versnellingsmeters gedurende enige tijd (1 à 2 minuten) van slag waren (zie Figuur 3.5), maar vrij snel daarna weer betrouwbaar zijn gaan meten. Een dergelijk scenario stemt met de meetdata overeen. De twee extreme golfregistraties komen dus niet met daadwerkelijk opgetreden golven overeen; de rest van de geregistreeerde golven zijn wel in orde gebleken.

Op basis van de ruwe data kan worden gesteld dat de twee geregistreeerde hoge golven van respectievelijk 17 en 19,8 m bij Schiermonnikoog niet daadwerkelijk zijn opgetreden, maar op onjuiste registraties berusten.

3.6 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzoek naar de registraties van extreme golven bij SON leidt tot de volgende conclusies:

- De op 1 november 2006 bij Schiermonnikoog gemeten extreme golfhoogten met een $H_{\max}$ van 17,5 m en 19,8 m berusten op onjuiste registraties.
- De boei ziet er aan de buitenkant niet beschadigd uit en ook een nader onderzoek van de boei (test en calibratie bij de leverancier) heeft geen indicaties voor enigerlei inwendige beschadiging opgeleverd, zodat geconstateerd kan worden dat zich ter plaatse van de golfmeetboei geen extreme calamiteiten (bijvoorbeeld aanvaringen of botsingen met objecten) hebben voorgedaan. Het instrument verkeert meettechnisch in prima conditie en dus zijn de gemeten hoge golfhoogten niet te wijten aan een beschadiging van het meetinstrument.
- Uit de analyse van de ruwe data is gebleken dat de op www.actuelewaterdata.nl gepresenteerde extreme waarden van $H_{\max}$ in feite nog maar een deel van de onjuiste registratie waren. De grootste uitwijkingen waren voorafgaand aan de validatie nog ongeveer een factor 2 groter. De definitieve controle en validatie voor ontsluiting via www.waterbase.nl is er op gericht om dit soort fenomenen af te vangen.
- Tevens is uit die analyse gebleken dat er kennelijk één of meer plotselinge, sterke fluctuaties in de versnelling (bijvoorbeeld een klap) zijn opgetreden. Het meest waarschijnlijke scenario is dat zich op de meetlocatie een of andere extreme situatie op zee (bijvoorbeeld het optreden van een brekende golf ter plaatse) heeft voorgedaan die de boei een enorme, plotselinge versnelling heeft gegeven. Een dergelijke extreme waarde van de versnelling wordt vervolgens door het integratiefilter in de boei ten onrechte vertaald als een extreem hoge uitwijking van het zeeoppervlak.
- Geconstateerd wordt dat een golfmeetboei geen meetinstrument is dat ook brekende golven betrouwbaar en nauwkeurig weergeeft. Kennelijk kunnen onder stormomstandigheden op zee zich soms extreme, maar niet ondenkbare situaties voordoen, waarbij de golfmeetboei niet volkomen voor deze taak berekend is. Dergelijke situaties komen echter niet vaak voor. Ondanks deze beperking (die veel andere instrumenten ook hebben) kan geconcludeerd worden dat een golfmeetboei in het algemeen zeer geschikt is voor betrouwbare en nauwkeurige golfmetingen onder velerlei omstandigheden. De (Directional) Waverider golfmeetboei heeft in de afgelopen 30 jaar zijn sporen verdiend en wordt internationaal vaak als een standaard golfmeetinstrument gebruikt. Er is dan ook geen reden om de apparatuur verder te verbeteren.
- In het algemeen (dit geldt dus niet alleen voor boeimetingen!) kan gesteld worden dat $H_{\max}$ (maar ook bijvoorbeeld $T_{\max}$) als parameter gevoelig is voor allerlei uitzonderlijke situaties, omdat

het slechts één (en dan bovendien ook nog zeer uitzonderlijke!) gebeurtenis in een tijdspanne van 20 minuten betreft. Er kan geen betrouwbaarheid (reductie van variatie) gewonnen worden door middeling, omdat alle informatie over $H_{\max}$ berust op die ene momentane meting. Het is bovendien belangrijk om te constateren dat een enkele extreme uitschieter weliswaar een zeer grote invloed heeft op $H_{\max}$, maar slechts geringe invloed heeft op H_s , omdat bij de bepaling van H_s wordt gemiddeld over een groot aantal golven.

Verder worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Aanbevolen wordt om te zorgen voor een verdere verbetering van de automatische procedures voor datavalidatie, omdat een dergelijke actie op korte termijn de beste mogelijkheden biedt om de betrouwbaarheid van de golfgegevens die direct via www.actuelewaterdata.nl verspreid worden, te verbeteren. Het streven moet zijn dat de datavalidatie in het Landelijk Meetnet zo betrouwbaar is dat bij gebruik van de data achteraf geen aanvullende validatie meer nodig is.
- Gelet op de geconstateerde tekortkomingen bij metingen met golfmeetboeien op zee, verdient het aanbeveling om ook diverse in het verleden opgetreden extreme golfsituaties nog eens nader te bekijken om te bezien of dergelijke verschijnselen zich soms wellicht vaker hebben voorgedaan en daarbij door de (automatische) validatie zijn afgevangen. Daarbij moet met name aandacht worden gegeven aan locatiegebonden en eventueel sensorgebonden aspecten. Gezien het feit dat de uitgebreide off-line validatie procedure alle uitschieters identificeert (en corrigeert), kan er wel worden verondersteld dat de meetwaardes voor gemiddelde en significante golfhoogtes in het verleden correct zijn opgeslaan.
- Gezien het feit dat bepaalde golfparameters (bijvoorbeeld $H_{\max}$ en $T_{\max}$) erg gevoelig zijn voor onjuiste registraties of uitzonderlijke uitschieters, zou er nader onderzocht moeten worden in hoeverre het zinvol is om dergelijke gevoelige parameters bij de real-time ontsluiting via internet (www.actuelewaterdata.nl) aan de gebruikers van golfinformatie te verstrekken.

4. Veldwaarnemingen

4.1 Veekranden Groningse Waddendijken

Bij storm lopen de golven tegen de dijken op. Vooral wanneer er op voorlanden begroeiing aanwezig is dat tijdens de storm vrijkomt, zal er na de storm een hoeveelheid hiervan op de dijk liggen. De golven schuiven dit zogenaamde veek omhoog en dat blijft min of meer ter plaatse van de hoogst opgetreden golfoploop liggen (zie figuur 4.1). Een precieze relatie met de golfoploop is niet bekend, maar het ruimtelijk beeld van de veekranden geeft wel een goede indicatie voor de belasting die de dijk heeft weerstaan.

Figuur 4.1 Veek tot aan de buitenberm (foto waterschap Noorderzijlvest)



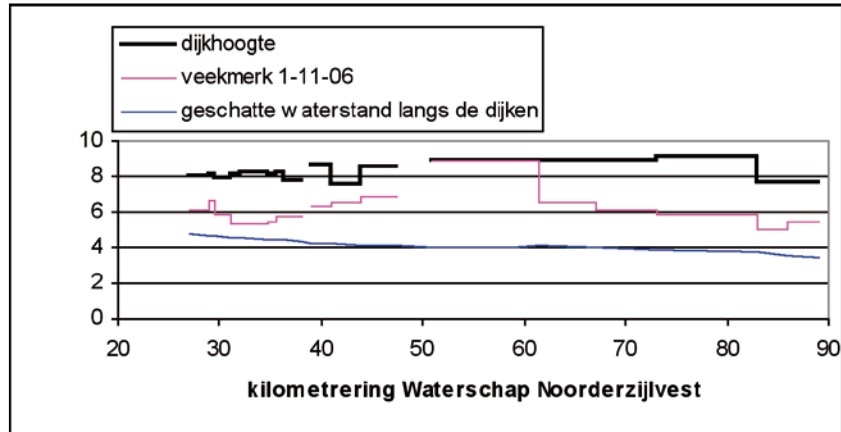
Het waterschap Noorderzijlvest heeft vlak na de storm de hoogte van de onderzijde van de hoogstliggende veekrand opgenomen. Per dijkvak is een gemiddelde veekrandhoogte bepaald voor elk van de dijkvakken tussen Lauwersmeer en Delfzijl.

In figuur 4.2 zijn de veekranden voor alle dijkvakken uitgezet, samen met de aanwezige kruinhoogte en een schatting van de hoogst opgetreden waterstand. De waterstand is alleen bij Delfzijl en Lauwersmeer gemeten, en aanvullend aan de hand van modelsimulatie met het Kuststrook-Fijn model zijn de tussenliggende waarden geschat (figuur 4.3).

Bij Delfzijl (km 27) is een hoge waterstand opgetreden, maar zijn de golven niet zo hoog tegen de dijk opgelopen. Opvallend is dat bij een korte strekking dijk die in de Eems-Dollard op het noorden ligt (nabij km 30) de veekrand ruim een halve meter hoger ligt dan bij

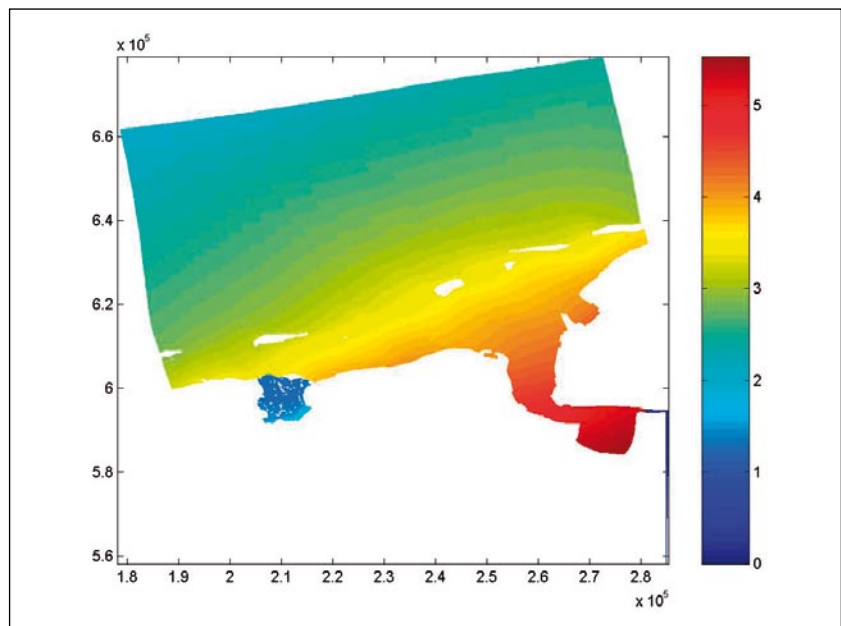
de naastliggende vakken. Bij Eemshaven (km 41 tot 51) is heeft de golfloop het veek al hoger opgestuwd en de Emmapolderdijk (km 51-61) is met name zwaar belast. Meer naar het westen neemt de veekrandhoogte weer af tot ca. 2 m boven het bereikte waterniveau bij Lauwersmeer (km 89).

Figuur 4.2 Overzicht van de ligging van de veekranden tussen waterniveau en Kruinhoogte.



In Bijlage D is een lijst met de gemeten veekrandhoogtes opgenomen.

Figuur 4.3 Resultaat van een modelsimulatie ter schatting van de maximaal opgetreden waterstanden langs de Groningse dijken.



4.1.1. Emmapolderdijk

Zoals te zien is in figuur 4.2 is er van kilometer 51 t/m 61 een veekrand gemeten die min of meer op kruinniveau ligt. Het betreft hier de Emmapolderdijk, die als een van de laatste waterkeringen in het gebied op deltahoogte is gebracht (1980). Als de veekrand als een maat voor de golfloop wordt gezien dan zou de golfloop de kruin hebben bereikt, terwijl de maximale waterstand tijdens de storm nog ruim een meter beneden het toetspeil bleef.

Het is verder opmerkelijk dat alleen de veekrand bij de Emmapolderdijk vrijwel op kruinniveau ligt, en veel lager langs alle andere hier beschouwde waterkeringen. Hiervoor is wel een duidelijke verklaring. De Emmapolderdijk heeft een veel steiler buitentalud dan veel andere zeedijken. Ook de aangrenzende dijkvakken in Groningen hebben een minder steil talud. Het is bekend dat golven verder tegen de dijk oplopen naarmate de helling steiler is.

Analyse van de ontwerpgegevens [7] leert dat destijds voor het bepalen van de kruinhoogte is uitgegaan van een golfoploop van ongeveer tweemaal de golfhoogte. De huidige kennis, die in de toetsregels in [8] en [9] is opgenomen, leert dat bij een relatief steil buitentalud de golfoploop ruim driemaal de golfhoogte kan zijn. Bij de 2e toetsronde die gerapporteerd is in 2006 [7] is de Emmapolderdijk door de beheerder goedgekeurd. Echter, bij het voorbereiden van de Hydraulische randvoorwaarden voor de 3^e toetsronde is voorgesteld de waarden voor de waterkering langs de Waddenzee in Groningen (waaronder die voor de Emmapolderdijk) te verhogen omdat ze veel lager zijn dan het aangrenzend gedeelte in Friesland, en veel lager dan de originele ontwerpwaarden.

Aanbevolen wordt na een dergelijke storm veekrandmetingen uit te voeren. Daarnaast wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen om met behulp van deze veekrandmetingen de huidige overslagformules te toetsen en mogelijk terug te rekenen naar de golfhoogte aan de teen van de dijk.

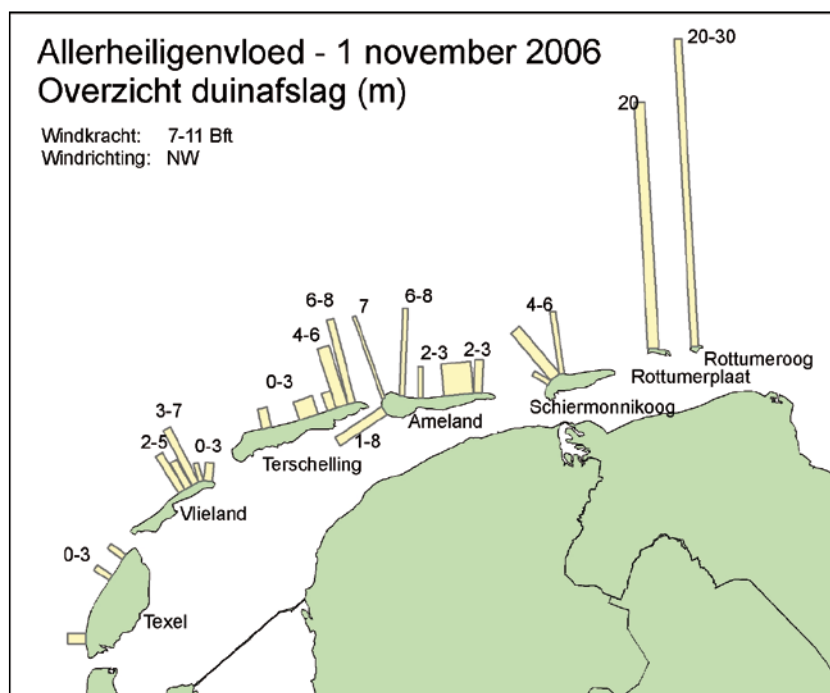
4.2 Duinafslag

Duinafslag is een incidenteel verschijnsel, dat sterk verschilt van structurele kustachteruitgang. Het zijn de getijstroom en de gemiddelden van de golfomstandigheden over meerdere jaren die de jarenlange trend in de kustachteruitgang (of kustaangroei) bepalen. Zand dat tijdens een storm van het duin afslaat komt in het algemeen terecht op het strand of op de onderwateroever direct voor het strand. Het levert daar ook een bijdrage aan de sterkte van de waterkering. De ervaring leert dat de duinafslag door een storm zich na enige tijd op natuurlijke wijze geheel of gedeeltelijk weer herstelt, onder invloed van golven en wind.

De extreme waterstanden, in combinatie met bijbehorende hoge golven hebben in het Waddengebied op enkele plaatsen tot aanzienlijke duinafslag geleid. Langs de Hollandse kust en rond de Delta heeft vrijwel geen duinafslag plaatsgevonden, in deze evaluatie worden deze gebieden daarom buiten beschouwing gelaten. De schatting van de mate van duinafslag die opgetreden is op de diverse locaties in het Waddengebied is grafisch weergegeven in Figuur 4.4. Deze gegevens zijn gebaseerd op visuele waarnemingen in het veld,

een nauwkeuriger beeld kan verkregen worden door een nadere analyse van de beschikbare meetgegevens.

.....
Figuur 4.4 Overzicht duinafslag



4.2.1. Beknopte beschrijving schade en duinafslag

Hieronder volgt een beknopte omschrijving van de gevolgen van de storm op de verschillende Waddeneilanden. Een meer uitgebreid verslag van de opgetreden schade en duinafslag is te vinden in Bijlage E.

Texel

De schade op Texel bleef beperkt, ook de duinafslag is meegevallen. Wel zijn duidelijke veranderingen in het kustprofiel geconstateerd ter plaatse van de uitgevoerde suppleties. Zoals te verwachten valt na de eerste storm op een strandsuppletie is het zand aldaar in een meer natuurlijk profiel komen te liggen. Op enkele plaatsen is het banket verdwenen.

Vlieland

Op Vlieland is weinig schade geconstateerd. Langs het gehele strand zijn embryonale duintjes verdwenen; tevens heeft voornamelijk aan de noordzijde van Vlieland enige duinafslag plaatsgevonden. Figuur 4.5 geeft een beeld van de duinafslag bij paal 48 - 50.

Figuur 4.5 Duinafslag Vlieland
– Paal 48 – 50



Terschelling

Aanzienlijke schade is aangericht aan de buitenste duinenrij van de zeereep, met name in het gebied van paal 22 t/m het Amelander gat. Op de Boschplaat heeft sterke afslag plaatsgevonden, het einde van de plaat is met 300 m ingekort. Een grote strandgeul naar de Cupidopolder ter hoogte van paal 27.600 heeft zich gevormd.

Ameland

Een groot deel van het zand van de laatste strandsuppletie op Ameland is lager in het profiel komen te liggen. Ter hoogte van km 14 zijn een aantal door RWS aangebrachte kerven sterk verstoven. Aan de oostkant is een inscharing gevormd die tot aan het oostelijk deel van het NAM-platform reikt.

Schiermonnikoog

De schade op de kust van Schiermonnikoog valt mee. De embryonale duintjes op Schier op het strand zijn grotendeels verdwenen; het groene strand dat zich tot ca. km paal 15 uitstrekt heeft de storm grotendeels doorstaan. Een groot deel van het weggeslagen zand is onmiddellijk voor de duinen tot afzetting is gekomen. Bij de washovers (dit zijn doorbraakgeulen waar door golven en stroming zand landinwaarts wordt getransporteerd) is er voornamelijk sprake geweest van erosie van de stuifdijk en de duintjes die bij de washovers vanaf de dijk noord-zuid georiënteerd naar binnen lopen.

Rottumerplaat

De duinen aan de noord-kant van Rottumerplaat zijn deels afgeslagen. Tot aan de eerste knik is zo'n 20 m duin afgeslagen, waarbij zich een zeer steile afslagrand heeft gevormd. Aan het eind van de eerste knik is het resterende duin nog 10 m breed. De Westerduinen zijn verdwenen, terwijl de natuurlijke duinen aan de noordwesthoek zijn afgevlakt maar hun vegetatie hebben behouden. Geen veranderingen

zijn opgetreden aan de Noordkwelder. De ligging van het Zeegat van de Lauwers is naar schatting zo'n 200 m naar het oosten verplaatst.

Rottumeroog

Grote delen van Rottumeroog hebben onder water gestaan. Aan de Noordzee-kant is 20 à 30 m van de hogere duinen afgeslagen. Over de gehele lengte resteert een steil klif. Op meerdere plaatsen is de duinenrij niet meer gesloten. Het zeewater kon vrijelijk van noord naar zuid, van de Noordzee naar de Waddenzee, stromen. Zand van de duinen is op de kwelders en de onbegroeide wadplaten terecht gekomen. Het areaal jonge kwelder met kreken en prielen en droogvallende zandplaten als hoogwatervluchtplaats voor vogels lijkt daardoor te zijn toegenomen. Aan het noord-oost strand is zo'n 20 m van aangelegd duin afgeslagen. De baai aan de oostpunt is veranderd in een strandvlakte.

4.2.2. Beschikbare meetgegevens

Laseraltimetrie

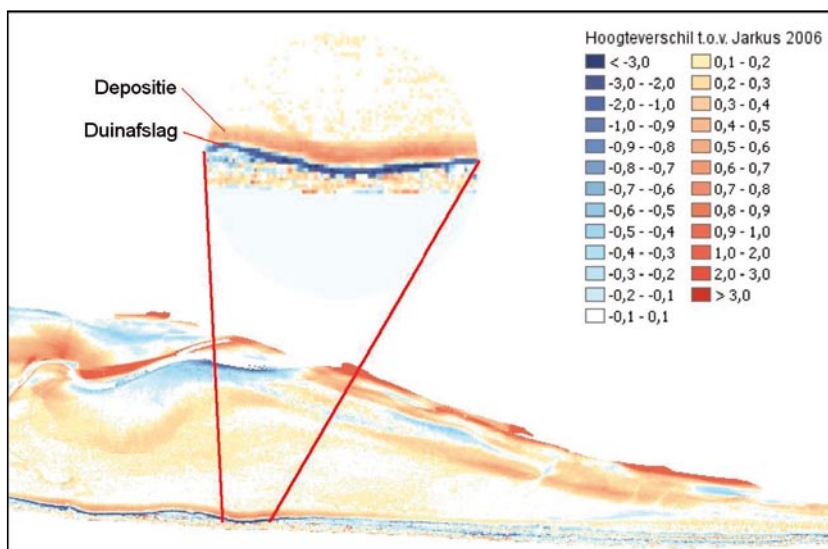
De hoogteligging van het strand en de eerste duinenrij van Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog, Rottumerplaat en Rottumeroog is enkele weken na de storm op initiatief van het RIKZ opgenomen met laseraltimetrie. In de tussenliggende weken is er geen zware storm meer geweest, en mede op basis van informatie van beheerders wordt aangenomen dat er in de tussenliggende weken nauwelijks wijzigingen in het kustprofiel zijn opgetreden.

Een deel van de gegevens is gebruikt om na te gaan of er een nadere analyse van de duinafslag mee kan worden uitgevoerd.

In eerste instantie is gekozen voor het bewerken van de gegevens tot een gebiedsdekkend grid met cellen van 5x5m. De puntdichtheid van de metingen is echter zodanig hoog dat ook het bewerken tot een fijner (1x1m) grid mogelijk is.

De Jarkus-metingen van begin 2006 kunnen als referentiemetingen gebruikt worden om inzichtelijk te maken wat de effecten van de storm zijn geweest op het duinprofiel, en op de zandvolumes op het strand en in de eerste duinenrij. Meetgegevens van de tussenliggende periode zijn niet beschikbaar, evenals referentiemetingen voor Rottumeroog en Rottumerplaat. Een voorbeeld van een verschilkaart is gegeven in Figuur 4.6.

Figuur 4.6 Detail verschilkaart
Ameland Km 6-7

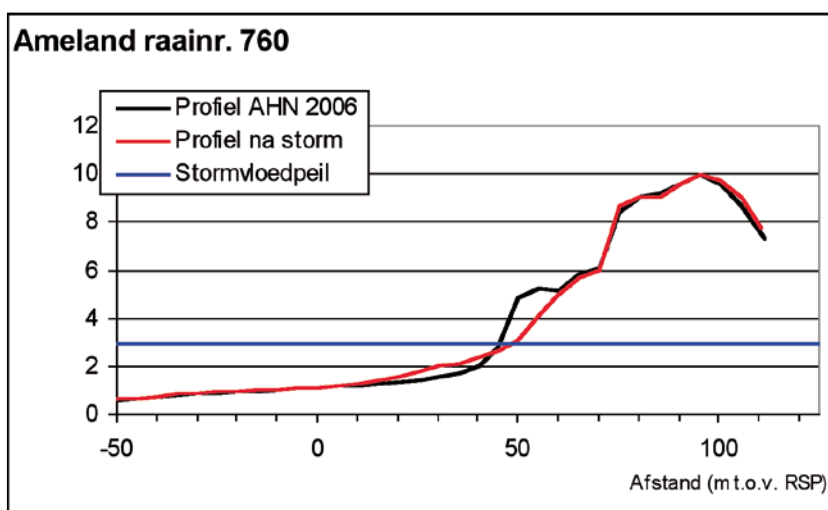


Met deze informatie is het mogelijk afslagprofielen voor bijvoorbeeld een Jarkus raai te genereren. In Figuur 4.7 is een voorbeeld weergegeven voor Ameland, raai 760. Duidelijk is de afslag en de afzetting meer zeewaarts te zien. Tegelijkertijd wordt ook geconstateerd dat voor het verkrijgen van duinafslagprofielen de gebruikte punt dichtheid (het grid) enigszins aan de grove kant is. De profielen bevatten in werkelijkheid details (bv. scherpere overgangen) welke in het hier gebruikte grid van 5x5m niet naar voren komen.

Uit de analyse wordt geconcludeerd dat voor het beoordelen van de hoeveelheid duinafslag de laseraltimetrie een geschikte methode is. Het is dan mogelijk om over een groot gebied de duinafslag objectief te beoordelen. Zo behoeft de visuele inspectie, met de interpretatieverschillen die daarbij een rol zullen spelen, alleen te dienen voor een eerste indruk.

De set aan gegevens, die opgebouwd wordt als er gemeten wordt na zware stormen waarbij duinafslag is opgetreden, dient tevens om de rekenmodellen voor duinafslag te controleren en eventueel verbeteren.

Figuur 4.7 Afslagprofiel
Ameland raai 760



Luchtfoto's

De schade aan de kust na de storm is ook vastgelegd door middel van luchtfoto's. Er zijn zowel foto's genomen vanuit een helikopter (vogelvlucht perspectief) als hoge-resolutie-loodrechtfoto's (Figuur 4.8). De loodrechtfoto's zijn geo-referenced (en dus te gebruiken in combinatie met GIS-applicaties) en hebben een zeer hoge resolutie (1 pixel = 0,175 x 0,175m).

.....
Figuur 4.8 loodrechtfoto
Ameland 1x1 km. (hoek
linksonder (RD): 174, 608)



Lodingen

Om het gedrag van de vooroever bij Ameland te monitoren, in verband met de daar recentelijk aangebrachte suppletie, is getracht snel na de storm lodingen uit te voeren. Deze hebben, door de continue te hoge golfslag, geen doorgang kunnen vinden. Nadat een volgende storm plaatshad is besloten de extra lodingen niet meer uit te voeren omdat er geen analyse meer kon worden gemaakt van de specifieke gevolgen van Allerheiligenvloed.

4.3 Conclusies en aanbevelingen

De inventarisatie van gegevens met betrekking tot veekrandmetingen en duinafslag, en de analyse ervan leidt tot de volgende conclusies:

- Aanbevolen wordt na een zware storm veekrandmetingen uit te voeren. Daarnaast wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen om met behulp van deze veekrandmetingen de huidige overslagformules te toetsen en mogelijk terug te rekenen naar de golfhoogte aan de teen van de dijk.

-
- Visuele inspectie van de afslag na een storm levert snel een eerste indruk op draagt bij aan een kwalitatief beeld van de gevolgen van een stormvloed.
 - Laseraltimetrie is een krachtige bron van gegevens om een kwantitatief beeld van de duinafslag te verkrijgen, waarmee enerzijds een objectief beeld van de duinafslag door een zekere stormvloed, en anderzijds een goede basis voor het valideren van rekenmodellen voor duinafslag kan worden gegenereerd.
 - Lodingen dienen om met name het gedrag van de onderwateroever in beeld te brengen. Ze dienen wel snel na een stormvloed uitgevoerd te worden om de gemeten effecten ook aan een duidelijke oorzaak te kunnen toeschrijven.
 - Met dGPS onder laag water condities kan tot ca. –1 m onder LW gemeten worden. Voor aanvulling van het profiel tot na de brekerbanken is een inventarisatie van geschikte meettechnieken nodig.

Er wordt aanbevolen om voordat het stormseizoen 2007-2008 begint een draaiboek op te stellen hoe met stormvloeden en de resulterende hydrologische en morfologische verschijnselen in de toekomst om te gaan. De informatiebehoefte van diverse belanghebbenden, waaronder RWS (Kustlijnzorg, modelontwikkeling), en de waterkeringbeheerders zal hierin leidend moeten zijn. Tevens moet worden aangegeven wanneer het draaiboek wordt uitgevoerd. Bijvoorbeeld wanneer op een bepaalde locatie het waarschuwings- of het alarmpeil bereikt is, dan wel na contact met de beheerders die direct zicht hebben op de opgetreden schade.

5. Samenvatting conclusies en aanbevelingen

De stormvloed van 1 november 2006, de Allerheiligenvloed genaamd, heeft na analyse van de waterstandsverwachting, de golfmetingen bij Schiermonnikoog Noord (SON), de veekranden en de duinafslag, geleid tot aanbevelingen voor het informatie- en kennisontwikkelingsproces. Het betreft aanbevelingen voor het instrumentarium van de SVSD, voor het inwinnen en interpreteren van gegevens en voor vervolgactiviteiten naar aanleiding van de gegevens van de Allerheiligenvloed 2006. In het volgende worden de conclusies voor het gebeurde tijdens de Allerheiligenvloed en de aanbevelingen voor het vervolg kort samengevat.

De waterstandsverwachting

De verwachting van de SVSD was overal langs de Nederlandse kust nauwkeurig, maar in Delfzijl was de verwachting 83 cm te laag.

Belangrijke oorzaken lagen in

- de begrensde nauwkeurigheid van de windvelden,
- de grove schematisaties in de modellen,
- lokale weer-effecten die door gebrek aan meetinformatie niet werden waargenomen,
- het Ems-Sperrwerk was voor het eerst tijdens stormvloed gesloten, wat een geringe verhogende invloed op de waterstand had in het Eems-Dollard-estuarium.

De volgende aanbevelingen worden op basis van de analyse gedaan:

- Aanbevolen wordt om een extra meetlocatie voor wind te realiseren in de Eems-Dollard. Met de beschikbare windmetingen is het niet mogelijk om een sluitende analyse van de te lage waterstandsverwachting in Delfzijl te maken. De analyses zijn noodzakelijk om de hydrodynamische modellen te kunnen verbeteren, en daarmee toekomstige waterstandsverwachtingen. Tevens is de Eems-Dollard is door zijn geometrie extra gevoelig voor lokale variaties van de windsnelheid en windrichting, waardoor het meten van de wind juist hier relevant is voor het hoogwater tijdens storm. Een extra windmeetpunt in de Eems-Dollard kan door de SVSD worden gebruikt om de korte termijn verwachting (< 6 uur vooruit) te kunnen bijstellen.
- Er moet worden onderzocht of het waterbewegingsmodel DCSM8 moet worden vervangen door een nieuw model met een hogere resolutie, om de verwachtingen voor de sector Delfzijl te verbeteren. De invloed van het Ems-Sperrwerk kan in het nieuwe model worden opgenomen.
- Het wordt aanbevolen bij een nieuwe modelontwikkeling de invloed van andere factoren, zoals atmosferische druk,

winddragcoëfficiënt, radiation stress, de bodemligging en het astronomische getij op de kwaliteit van de waterstandsverwachting middels een gevoeligheidsanalyse nader te onderzoeken.

- De windverwachting voor de Waddenzee moet worden verbeterd, met name in en ten noorden van het Eems-Dollard gebied. Hiermee kan een nauwkeuriger beschrijving worden verkregen van het lokale windveld, dat de opzet daar relatief sterk beïnvloed.

De golfmetingen bij SON

De op 1 november 2006 bij de boei Schiermonnikoog Noord (SON) gemeten extreme golfhoogten met een maximale golfhoogten van 17,5 m en 19,8 m komen niet overeen met daadwerkelijk opgetreden golven van die hoogte op zee, maar berusten op onjuiste registraties. Het grootste deel van de onjuiste registratie is bij de automatische en directe datavalidatie in het instrument al afgevangen. De definitieve controle en validatie die normaliter na elk winterseizoen wordt uitgevoerd, is er op gericht om alle onjuiste registraties af te vangen.

Uit de analyse is gebleken dat er kennelijk één of meer plotselinge, sterke fluctuaties in de versnelling (bijvoorbeeld een klap) zijn opgetreden. Het meest waarschijnlijke scenario is dat zich op de meetlocatie een brekende golf heeft voorgedaan die de boei een enorme, plotselinge versnelling heeft gegeven. Een dergelijke extreme waarde van de versnelling wordt vervolgens in de boei (ten onrechte) vertaald als een extreem hoge uitwijking van het zeeoppervlak. De significante golfhoogte, die veelal voor verdere analyses wordt gebruikt, is gebaseerd op een representatief gemiddelde over een grotere periode, en de invloed van onjuiste registratie in delen van het meetsignaal is gering. Ondanks het geconstateerde feit dat er in omstandigheden met brekende golven onjuiste registraties voorkomen in delen van het meetsignaal, is er dan ook geen reden om de apparatuur verder te verbeteren. De (Directional) Waverider wordt internationaal vaak als een standaard golfmeetinstrument gebruikt.

Aanbevolen wordt om te zorgen voor een verdere verbetering van de automatische procedures voor datavalidatie, omdat een dergelijke actie op korte termijn de beste mogelijkheden biedt om de betrouwbaarheid van de golfgegevens die direct via internet verspreid worden, te verbeteren.

Veldwaarnemingen

De inventarisatie van de gegevens met betrekking tot veekranden, en de analyse ervan leidt tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

- Veekranden geven na een storm een indruk van de opgetreden golfoploop tijdens de storm. Op grond van de veekrandwaarnemingen van waterschap Noorderzijlvest, is geconstateerd dat de Emmapolderdijk zwaar belast is. De golfoploop heeft daar praktisch de kruin bereikt, terwijl de waterstand nog ver beneden toetspeil bleef.

-
- Aanbevolen wordt na een zware storm veekrandmetingen uit te voeren. Daarnaast wordt aanbevolen om nader onderzoek te doen om met behulp van deze veekrandmetingen de huidige overslagformules te toetsen en mogelijk terug te rekenen naar de golfhoogte aan de teen van de dijk.

De inventarisatie van gegevens met betrekking tot duinafslag, en de analyse ervan leidt tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

- De extreme waterstanden en hoge golven hebben tijdens de allerheiligenvloed 2006 in het Waddengebied op enkele plaatsen tot aanzienlijke duinafslag geleid. Dat betreft bijvoorbeeld de buitenste duinenrij van de zeereep op Terschelling en de duinen aan de noordkant van Rottumerplaat.
- Visuele inspectie van de afslag na een storm levert snel een eerste indruk op draagt bij aan een kwalitatief beeld van de gevolgen van een stormvloed.
- Laseraltimetrie is een krachtige bron van gegevens om een kwantitatief beeld van de duinafslag te verkrijgen, waarmee enerzijds een objectief beeld van de duinafslag door een zekere stormvloed, en anderzijds een goede basis voor het valideren van rekenmodellen voor duinafslag kan worden gegenereerd.
- Lodingen dienen om met name het gedrag van de onderwateroever in beeld te brengen. Ze dienen wel snel na een stormvloed uitgevoerd te worden om de gemeten effecten ook aan een duidelijke oorzaak te kunnen toeschrijven.

Er wordt aanbevolen om voordat het stormseizoen 2007-2008 begint een draaiboek op te stellen voor het inwinnen, verwerken, analyseren en presenteren van de gegevens van stormvloeden met betrekking tot veldwaarnemingen zoals duinafslag en veekranden.

Referenties

- [1] Stormvloedrapportage SR84
- [2] De zoutkrant, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, december 2006
- [3] LIB gebruiksrapport golfmeetboei, Rijkswaterstaat, RIKZ, 30 november 2006.
- [4] Inspectierapport, Datawell, 15 januari 2007.
- [5] Calibratierapport, Datawell, 15 januari 2007.
- [6] Detectie en reparatie van extreme versnellingswaarden. Datawell, intern rapport, december 2006.
- [7] Berekening kruinhoogte Emmapolderdijk. Memorandum 76-2. Meet- en adviesdienst Delfzijl, Rijkswaterstaat, directie Groningen, 1974.
- [8] Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 2002
- [9] De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001 - 2006 (VTV). Ministerie van verkeer en Waterstaat, januari 2004.
- [10] MATROOS velden – gebruikershandleiding CALPREA interface, F.A.T. Kleissen en E. Maliepaard, Xi-advies, september 2006.
- [11] Evaluatie van 50 jaar stormvloedverwachtingen. De nauwkeurigheid van de stormvloedverwachtingen en de juistheid van de berichtgeving van de SVSD onderzocht over de periode 1954 t/m 2004. Rapport RIKZ/2006.010, april 2006.

Bijlage A Artikel in de zoutkrant van december 2006

Stormvloed in Noord Nederland

In de nacht van dinsdag 31 oktober en woensdag 1 november trok een zware noordwesterstorm langs de Nederlandse noordkust. De storm veroorzaakte een stormvloed en hoge golven op de Noordzee. In Delfzijl trad de hoogste waterstand op die ooit is gemeten. Ten noorden van Schiermonnikoog werden recordgolfhoogten gemeten. De Stormvloedwaarschuwingsdienst (SVSD) kwam in actie en waarschuwde tijdig de beherende instanties.

De storm

Een lagedrukgebied trok van het zeegebied tussen IJsland en Schotland via zuid Noorwegen naar Denemarken. Na het passeren van de depressie ten noorden van ons land is de wind boven de hele Noordzee geruimd naar het noordwesten. Er stond op het oostelijke deel van de Noordzee een zware storm (10Bft). Er werden in Groningen en Friesland plaatselijk zeer zware windstoten gemeten tot 115 km/h. Op zee waren de windstoten nog veel krachtiger.

In nauwe samenwerking met het KNMI heeft de SVSD in de loop van dinsdagmiddag en –avond, geheel volgens de stormvloedprocedure en ruim 6 uur voor de tijdstippen van hoogwater, waarschuwingen gegeven voor de sectoren West Holland (provincies Noord- en Zuid-Holland), Den Helder (kop van Noord-Holland) en Harlingen (provincie Friesland). Omdat verwacht werd dat het stormeffect langs de Groningse kust het grootste zou zijn werd voor de sector Delfzijl (provincie Groningen) rond 23h30 een alarmering (advies voor het instellen van dijkbewaking) gegeven.

De waterstanden

De zware noordwesterstorm veroorzaakte met name in het noordoostelijke kustgebied een uitzonderlijk grote wateropzet. Het maximale effect van de storm viel samen met de nachthoogwaters in het noordelijk kustgebied. Bij Delfzijl werd op 1 november om 6h40 de hoogste hoogwaterstand (NAP +4.83m) ooit gemeten. Dit record stond sinds 1825 op NAP +4.60m. We hadden te maken met doottij. In geval van springtij zou de waterstand bij Delfzijl naar schatting ongeveer 35 cm hoger geweest zijn, het gemiddelde verschil tussen springtij en doottij bij Delfzijl.

De waterstandsverwachtingen die zijn uitgegeven door de SVSD vielen voor alle kustsectoren van Cadzand tot de monding van de Eems-Dollard ruim binnen de nauwkeurigheid voor stormvloedverwachtingen (ca. 15 cm). Echter voor Delfzijl werd een

waterstand van NAP +400 cm verwacht en werd uiteindelijk NAP +483 cm gemeten.

Volgens de gangbare classificatie van stormvloeden valt deze stormvloed in de categorie middelbare stormvloeden. De hoogste waterstand zoals die bij Delfzijl is opgetreden, komt gemiddeld 14 maal per 1000 jaar voor. In het westen en zuiden van het land traden ook hoge waterstanden op, maar omdat het effect van de storm daar minder was bleven de hoogwaterstanden beperkt tot hoogtes die wel vaker voorkomen, soms meer dan eens per jaar.

De SVSD heeft een onderzoek gestart om de oorzaak van deze grote afwijking bij Delfzijl tussen verwachting en gemeten hoogste waterstand bij Delfzijl te achterhalen. De verwachting wordt voor een belangrijk deel gebaseerd op modelberekeningen. Deze worden op hun beurt weer grotendeels gebaseerd op verwachte (meteorologische en hydraulische) omstandigheden. Het onderzoek zal zich richten op de overeenkomsten en verschillen tussen verwachte en opgetreden omstandigheden, en op de vertaling daarvan in de modellen. Een gevoeligheidsonderzoek wordt uitgevoerd om mede richting te geven aan de zoektocht naar een verklaring.

De golven

De zware noordwester storm veroorzaakte eveneens hoge golven op de Noordzee, met name in het noordoostelijk kustgebied. Ter plaatse van golfmeetlocatie Schiermonnikoog (SON), gelegen op diep water 11 km ten noorden van het Waddeneiland, is een significante golfhoogte van meer dan 8 m gemeten. De significante golfhoogte is een representatief gemiddelde van golven in een onregelmatig golfveld dat bestaat uit grotere en kleinere individuele golven. Een waarde van ruim 8 m is bij SON niet eerder gemeten. Deze significante golfhoogte is weliswaar een record, maar de waarde past nog steeds in het normale statistische beeld. Deze golfhoogte komt naar schatting 1 tot 2 maal voor per 100 jaar. De definitieve waarden worden overigens vastgesteld na uitvoerige controle op de registraties.

In de golfregistraties komen 2 bijzondere individuele golfhoogten voor van 17 m en 19,8 m hoog. Het is bekend dat de hoogste registraties uit een serie golven veel hoger zijn dan de significante golfhoogte. In dit geval zijn de registraties zodanig uniek dat de controle op eventuele meetfouten, die normaal gesproken pas aan het einde van de winterperiode wordt uitgevoerd, direct zal plaatsvinden. Hiervoor is de meetboei naar de wal gehaald en vervangen door een andere.

In de registraties van 1 november van de andere golfmeetlocaties nabij onze kust komen deze grote waarden niet voor. Toch is het niet onmogelijk dat er lokaal zeer grote golven voorkomen. We weten vanuit de literatuur dat ze op de oceaan en in de diepere delen van de Noordzee wel visueel zijn waargenomen. Daadwerkelijke

registraties met meetapparatuur van zogenaamde 'freak waves' zijn echter zeer zeldzaam. RIKZ heeft een grondige validatie van de metingen opgestart, die definitief uitsluitsel moet geven of het om een monstergolf of meetfouten gaat.

Evaluatie van de stormvloed

Naast de validatie van ingewonnen meetgegevens en de evaluatie van de modelverwachtingen voor de SVSD zijn tevens een aantal acties opgestart. Deze moeten nadere informatie over de storm verzamelen en de gevolgen monitoren. Bijvoorbeeld is met behulp van laseraltimetrie en fotografie de duinafslag op de Waddeneilanden opgenomen. Alle informatie over de storm, de gevolgen ervan en hieruit resulterende nieuwe inzichten worden door RIKZ in 2007 verder zorgvuldig geanalyseerd en gebundeld. Uiteraard zal deze informatie ook via de Zoutkrant worden verspreid.

Frank den Heijer RWS RIKZ
frank.den.heijer@rws.nl

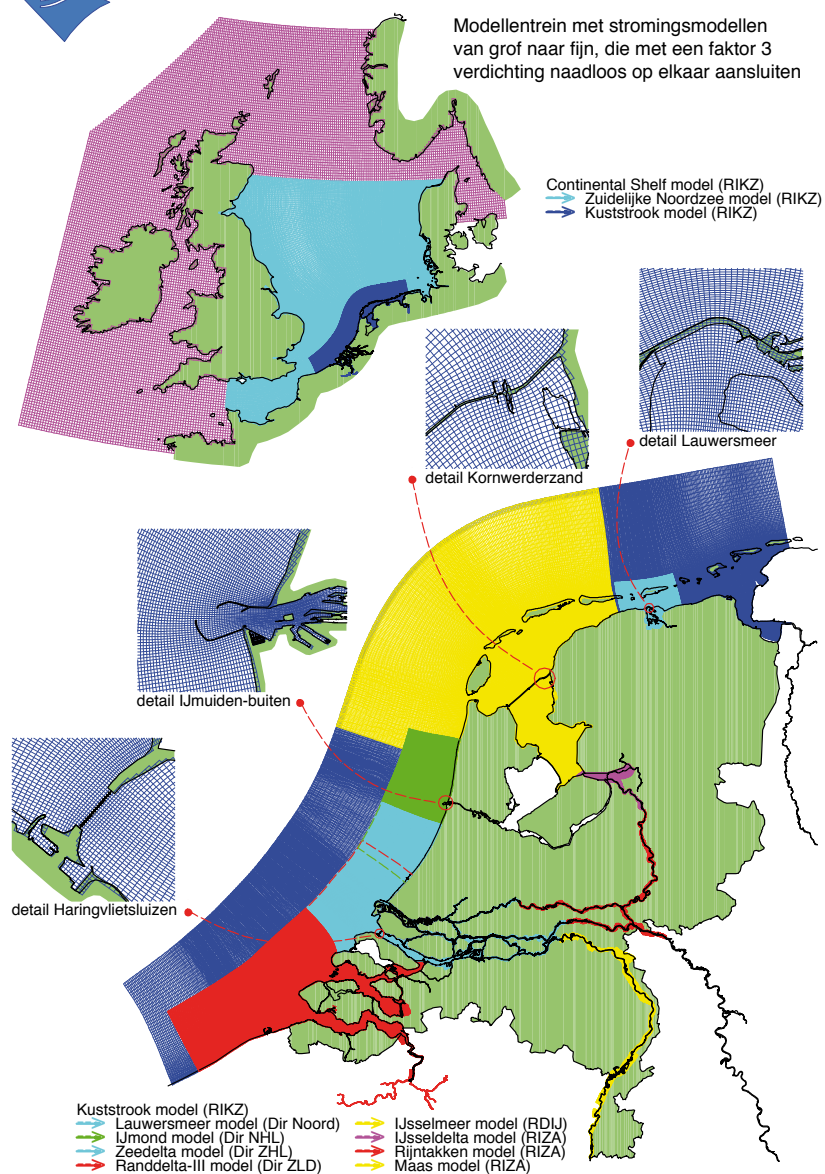
Annette Zijderveld RWS RIKZ
annette.zijderveld@rws.nl

Leo Voogt RWS RIKZ
leo.voogt@rws.nl

Figuur B1: Modellentrein van
RWS



Van Oceaan tot Nederlandse binnenwateren



Bijlage B Modellentrein en organisatiestructuur SVSD

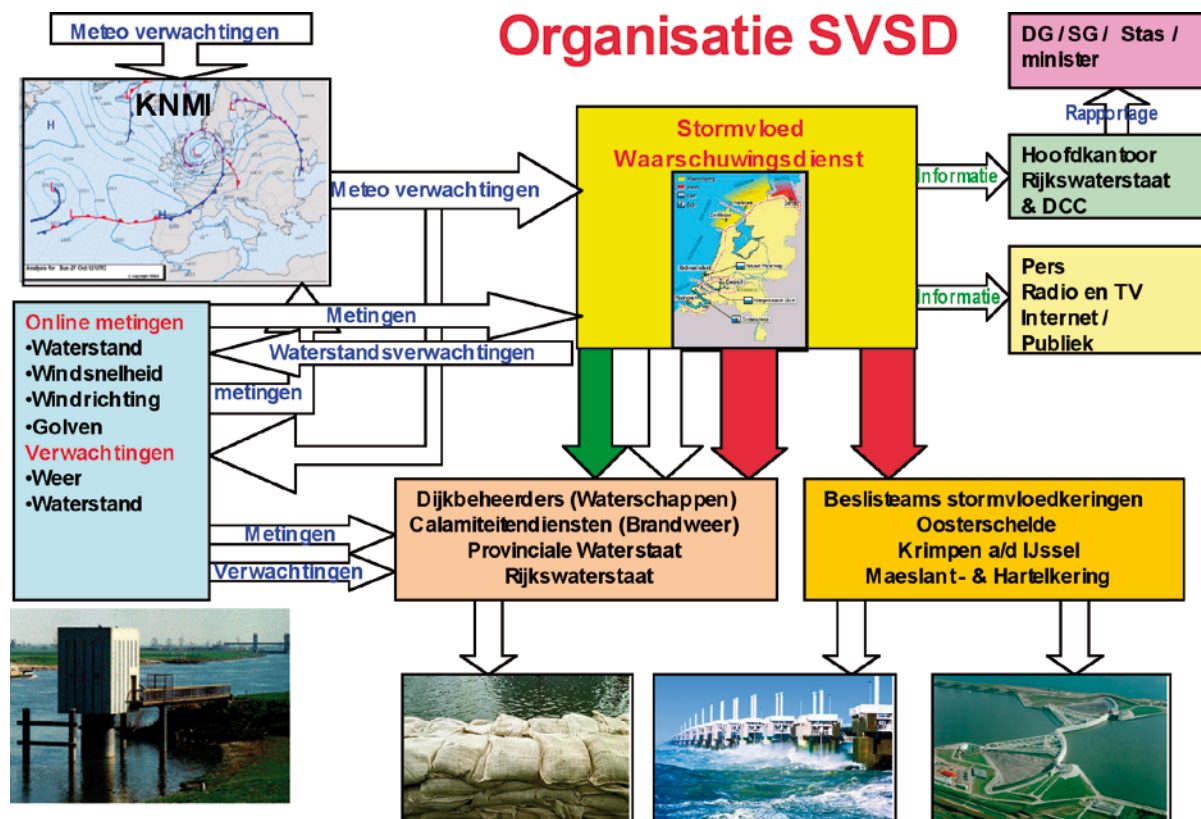
De 'modellentrein' van RWS bevat een aantal hydrodynamische waterbewegingsmodellen, die waterstanden, stromingen en zoutgehalte berekenen. Deze numerieke modellen worden voor de dagelijkse verwachtingen, bijvoorbeeld ten behoeve van de scheepvaart, alsook voor verwachtingen in extreme omstandigheden ingezet.

Het Dutch Continental Shelf Model (DCSM8) omvat het gehele gebied van de Noordzee, daarin zijn het Zuidelijke Noordzeemodel (ZUNO) en het Kuststrook-fijn model genest. Afhankelijk van de taken worden bij de Hydro-Meteo Centrum Zeeland en het Hydro-Meteo Centrum Rijnmond nog verdere detailmodellen van de Nederlandse kustwateren gedraaid, die eveneens in figuur B1 te zien zijn.

Ten behoeve van waterstandsverwachtingen tijdens een stormvloed draait het DCSM8 model bij het KNMI direct gekoppeld aan het meteorologische model HiRLAM.

In figuur B2 is de organisatiestructuur van de SVSD op hoofdlijnen weergegeven. De operationele waterbewegingsmodellen, zoals het DCSM8 model, draaien zowel bij het KNMI als bij Hydro-Meteo Centra van Rijkswaterstaat (Rijnmond en Zeeland). Voor de SVSD zijn de berekeningen afkomstig van het KNMI de basis voor de waterstandsverwachtingen. In nauwe samenwerking met het KNMI en de Hydro-Meteo Centra worden tijdens een zitting deze verwachtingen opgesteld, waarbij de eindverantwoordelijkheid bij de SVSD ligt.

.....
Figuur B2: Organisatiestructuur
 en informatiestromen SVSD

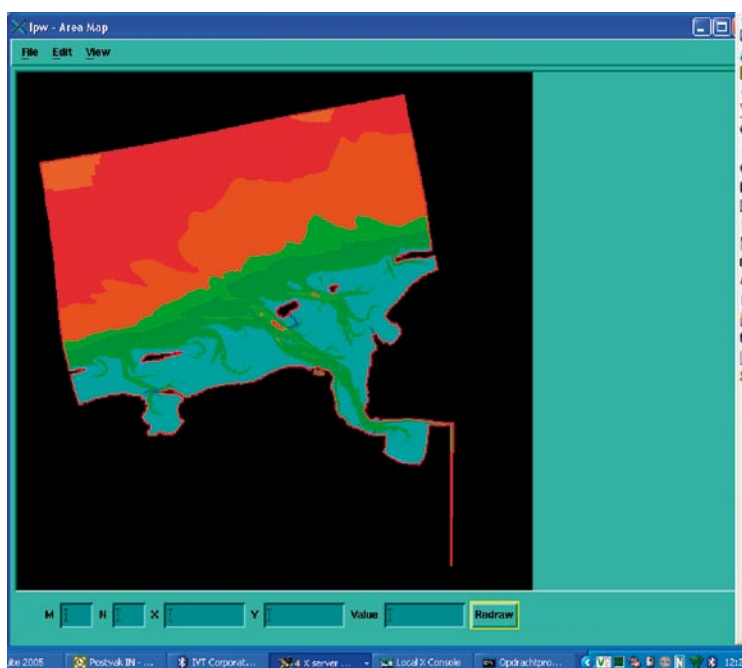


Bijlage C Beschrijving uitsnede Kuststrookfijnmodel

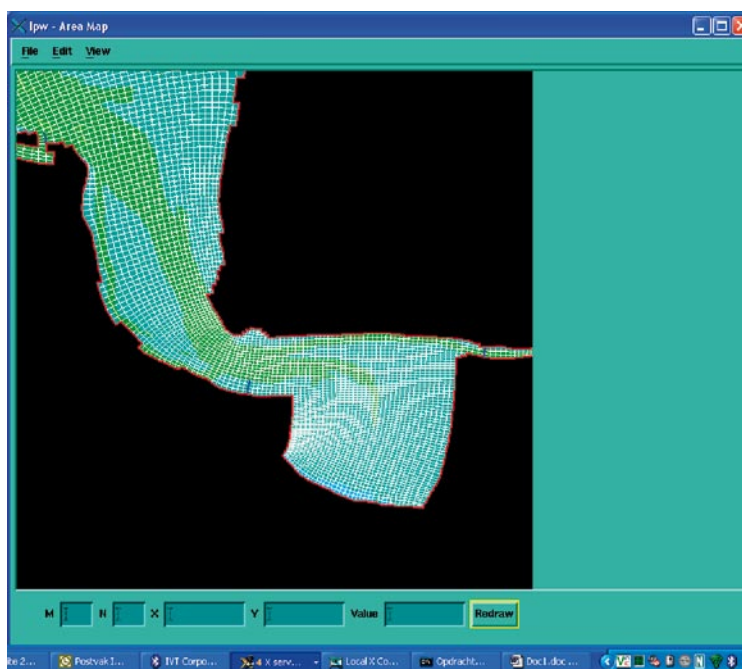
C.1 Rooster en bodemligging

Als basis voor de modelberekeningen, die in dit rapport staan beschreven, is een uitsnede van het Kuststrook fijn model gebruikt. In Figuur C1 is de bodemligging van het gebruikte model afgebeeld. In Figuur C2 is het rooster van het deel van de Eems-Dollard afgebeeld.

Figuur C1 Bodem Kust-oost



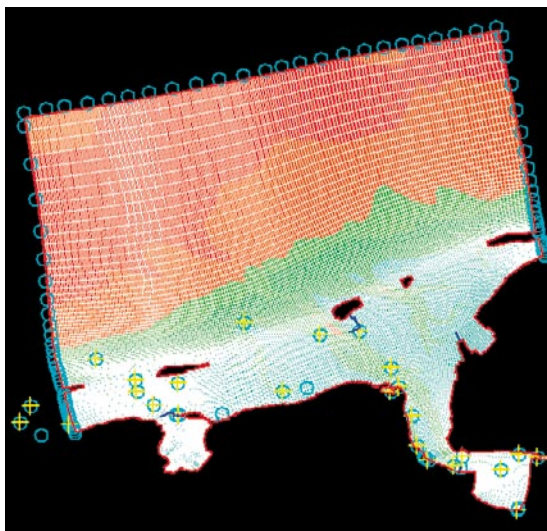
Figuur C2 Uitsnede van de Eems-Dollard



C.2 Randen

De locaties voor de randvoorwaarden staan afgebeeld in figuur C3. Voor de randvoorwaarden zelf zijn de simulatiegegevens van het Kuststrookmodel gebruikt. Deze gegevens zijn met behulp van Matroos opgehaald.

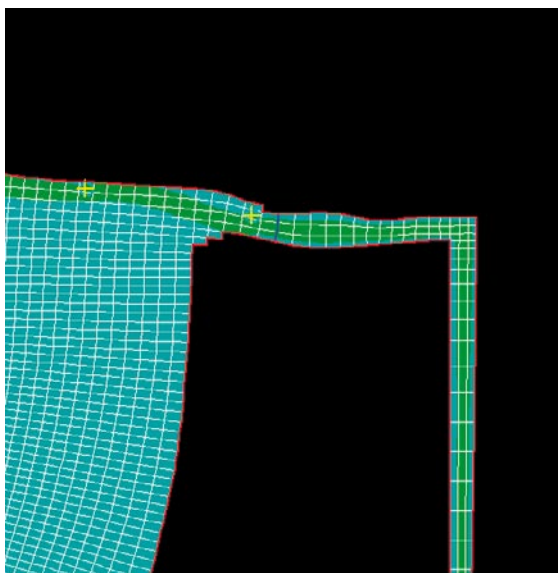
.....
Figuur C3 Locaties van de randvoorwaarden



C.3 Afsluiting Eems

De afsluiting van de Eems ten gevolge van het Ems-Sperrwerk is met behulp van schotjes gesimuleerd (zie figuur C4). Hierdoor is gedurende de totale simulatieperiode de Eems afgesloten geweest.

.....
Figuur C4 Modelling van de afsluiting van de Eems



Bijlage D Veekrandwaarnemingen

(Bron: Waterschap Noorderzijlvest)

Kilometrering 26 – 27, haven Delfzijl (58)

Kruinhoogte NAP + 7,04 m (ca 250 m)
 NAP + 7,503 m (overig)

Waterhoogte NAP + 4,83 m

Maximale golfhoogte geen golven door ligging in de luwte

Kilometrering 27 – 29, Delfzijl (57)

Kruinhoogte NAP + 8,02 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,12 m

Kilometrering 29 – 31, (56)

Kruinhoogte 29 - 29,5 NAP + 8,13 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,63 m

Kruinhoogte 29,5 – 31 NAP + 7,92 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,87 m

Kilometrering 31 – 32, (55)

Kruinhoogte NAP + 8,07 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,35 m

Kilometrering 32 – 34,7, (54)

Kruinhoogte NAP + 8,21 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,37 m

Kilometrering 34,7 – 35,5, (53)

Kruinhoogte NAP + 8,08 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,42 m

Kilometrering 35,5 – 36,3, (52)

Kruinhoogte NAP + 8,22 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,79 m

Kilometrering 36,3 – 38, (51)

Kruinhoogte NAP + 7,81 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,79 m

Kilometrering 38 – 39, (50)

Geen waarneming

Kilometrering 39 – 41, (49)

Kruinhoogte NAP + 8,62 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,30 m

Kilometrering 41 - 47,5, Eemshaven (48)

Oostelijk in haven

Kruinhoogte NAP + 7,57 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,60 m

Midden in haven

Kruinhoogte NAP + 8,61 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,90 m

Kilometrering 47,5 – 51, ovg. Emmapolderdijk – Eemshavendijk (47)

Geen waarneming (Gelegen achter buitendijks haventerrein)

Kilometrering 51,0 – 61,4, noordelijk knikpunt Emmapolder (46)

Kruinhoogte NAP + 8,90 m

Veekrandwaarneming NAP + 8,85 m

Kilometrering 61,4 – 67,0 ovg Noordpolder en Lauwerspolder (45)

Kruinhoogte NAP + 8,90 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,60 m

Kilometrering 67,0 – 73,0 langs Linthorst-Homanpolder (44)

Kruinhoogte NAP + 8,90 m

Veekrandwaarneming NAP + 6,06 m

Kilometrering 73,0 – 83,0 ovg negenboerenpolder – linthorst homanpolder (43)

Kruinhoogte NAP + 9,07 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,85 m

Kilometrering 83,0 – 86,0 langs de marnewaard

Kruinhoogte NAP + 7,67 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,00 m

Kilometrering 86,0 – 89,0 buitenhaven Lauwersoog

Kruinhoogte NAP + 7,90 m

Veekrandwaarneming NAP + 5,50 m

Kilometrering 89,0 – 89,1 Lauwersoog

Geen waarneming

Bijlage E Veldwaarnemingen duinafslag

In deze bijlage staat een beschrijving van de schade en duinafslag die is opgetreden op de diverse Waddeneilanden bij de stormvloed van 30 oktober – 1 november 2006.

Texel

(Bron: C.W. Boer, DNH)

Hoewel er op Texel aanzienlijke windsnelheden en waterstanden zijn gemeten (Noordwest 10, waterstand Den Helder 238 + NAP) bleef de schade beperkt, en is de duinafslag meegevallen. Duidelijke veranderingen zijn in het kustprofiel geconstateerd ter plaatse van de uitgevoerde suppleties:

Km 8.80 – 10.63	Banket is op de meeste plaatsen verdwenen, maar het strand is nog niet op het niveau van voor de suppletie. Op een plaats juist ten zuiden van het strandslag (raai 10.33) ligt het strand laag, en is de eerste geringe duinafslag over ca. 200 m zichtbaar
Km 10.63 – 14.40	Nabij paal 14 is enige afslag waargenomen van de primaire jonge duintjes
Km 14.40 – 16.94	Hier is het banket versmald. Zoals gebruikelijk na de eerste storm op een strandsuppletie is het zand in een meer natuurlijk profiel komen te liggen
Km 16.94 – 25	Tussen de raaien 23.40 en 24.20 zijn delen van de primaire jonge duintjes afgeslagen. Ook zijn bij De Koog delen van de verhogingen bij paviljoens weggeslagen.
Km 25 – 31	Tussen 28.20 en 29 is het strand verlaagd en zijn delen van de primaire jonge duintjes afgeslagen.

Vlieland

(Bron: J.R. Witting, Rayonopzichter RWS Vlieland)

Op Vlieland zijn waterstanden gemeten van 2.75 +NAP. De veekrand ligt op +2,7 m NAP (Kruin op +5,20 m). Op Vlieland is de volgende schade geconstateerd:

- Het pad van 20 is uitgespoeld, ter plaatse van het pad van 6 heeft zich alleen een steile zandrand gevormd. Bij de Fortweg is een steile rand door weggeslagen zand ontstaan. Door de nieuwe steilranden zijn de overgangen moeilijk toegankelijk.
- Bij het Badhuys zijn enkele stelconplaten ondermijnd.
- Langs het gehele strand zijn embryoduintjes verdwenen.

Afslaggegevens Vlieland:

Km 45.72 – 47.38	2-5 m afslag.
Km 47.38 – 48.80	2-3 m voorduin afgeslagen.
Km 48.80 – 50.32	aanwezige steilrand 3-7 m
Km 50.32 – 53.95	0-3 m voorduin afgeslagen

Terschelling

(Bron: J.C. Smit, Rayonopzichter RWS Terschelling)

De buitenste duinenrij van de zeereep is door de storm aangetast, met name in het gebied van paal 22 t/m het Amelander gat. Tijdens hoogwater (om 4:30u) zijn waterstanden gemeten van 2,70m + NAP.

Dinsdagmiddag zijn schotten in de coupures van de WB kade geplaatst. Op het veerhaventerrein en langs de WB kade hebben om 3:15u 25 auto's in het water gestaan. Er was een hoeveelheid water op de ventweg van de WB kade aanwezig tussen de schuren van de Rederij Doeksen en het RWS kantoor. Het water kwam uit de straatkolken de straat op.

Er is nagenoeg geen schade aan de strandovergangen. Ook is er geen schade bij de strandpaviljoens. Op de Boschplaat heeft grote afslag plaatsgevonden, het einde van de plaat is met 300 m ingekort (28.400 = einde Boschplaat). Een diepe strandgeul heeft zich gevormd over het strand naar de Cupidopolder (ter hoogte van paal 27.600).

Afslaggegevens Terschelling

Km 1 – 8	Geringe afslag aan buitenste duinenrij Noordsvaarder (zuidzijde)
Km 2 – 8	Geen afslag geconstateerd (stuifkuilen km 3-4 nagenoeg ongewijzigd; km 6-7 afname breedte van het strand)
Km 8 – 10	Duintjes op het strand gehalveerd
Km 16 – 20	Embryonale duintjes verdwenen en/of aangetast; bij km 16,5 afslag en aanzet tot kerfvorming. Peer Gynt plak is verder uitgestoven
Km 22 – 23	Embryonale duintjes verdwenen en/of aangetast.
Km 23 – 24	Grote voorduinen verdwenen. Aantasting/afslag aan de Scherm nabij ingang west- zijde Cupido Polder
Km 24 – 26	Embryonale duinen rondom het Huske van de Hoek zijn verdwenen.
Km 26 – 27	Buitenste duinenrij van de Cupidopolder is gehalveerd. Er zijn hoge afslagranden ontstaan en veel zand is elders in het profiel terecht gekomen.
Km 27 – 28.4	De buitenste duinenrij van de Cupidopolder is afgeslagen. Het zeewater kan al bij geringe waterstanden de polder instromen. Afslag over ca. 300 m aan de oostpunt van Terschelling.

Ameland

(Bron: T. Overdiep, hoofd RWS Rayon Ameland, e.a.)

Een groot deel van het zand van de laatste strandsuppletie op Ameland is lager in het profiel komen te liggen. Ter hoogte van km 14 zijn een aantal door RWS aangebrachte kerven sterk verstoven. Aan de oostkant is een inscharing gevormd die tot aan het oostelijk van het NAM-platform reikt.

.....
Verstoven kerven Ameland



.....
Nieuw gevormde inscharing aan de oostkant van Ameland (info. J. Krol, Natuurcentrum Ameland)



Afslaggegevens Ameland

Km 47 – 49.5	1 tot 8 m
Km 49.5 – 1	2,5 m
Km 2.6 – 3.2	7 m
Km 7 – 8	6 tot 8 m
Km 10 – 11:	2 m
Km 11 – 15:	geen afslag, wel zijn de geplaatste dwarsschermen grotendeels verdwenen (suppletiegebied).
Km 15 – 23:	2 tot 3 m

.....
Afslag op Ameland (J. Krol,
Natuurcentrum Ameland)



Engelsmanplaat

(Bron: H. Dubblinga)

Van de Engelsmanplaat is de baak weggeslagen: deze is aangespoeld op Schiermonnikoog.

Schiermonnikoog

(Bron: T. Overdiep, hoofd RWS Rayon Ameland, e.a.)

De schade aan de kust van Schiermonnikoog valt mee. Bij paal 5 zijn de duinen met een oorspronkelijke hoogte van 2,5-3 m "in elkaar gezakt" met ca. 2 m. De veekrand stond aan de Waddenzeekant op ca. +3,5 m NAP (kruin op: +6,3 m NAP). Een meetboei is losgeslagen en aangespoeld op Schiermonnikoog. Lokale waarnemingen laten zien dat de waterhoogte zelfs tot + 4 m NAP is opgelopen.

De embryonale duintjes op het strand zijn grotendeels verdwenen; het groene strand dat zich tot ca. km paal 15 uitstrekt heeft de storm grotendeels doorstaan. De breedte van het strand heeft geresulteerd in een relatief zwakke golfaanval op de kust omdat de lange golven al uitgedempt waren; dit verklaart ook de zeer lokale duinerosie. Een groot deel van het weggeslagen zand is onmiddellijk voor de duinen tot afzetting is gekomen. Bij de washovers is er voornamelijk sprake geweest van erosie van de stuifdijk en de duintjes die bij de washovers vanaf de dijk noord-zuid georiënteerd naar binnen lopen. Dit zand is naar binnen gevoerd. Op slechts een enkele plek was ook in het centrale deel van de washover erosie opgetreden en zand gereactiveerd.

Het strandpaviljoen aan de Badweg heeft enige schade opgelopen, Het strandpaviljoen t.h.v. km 6 is verloren gegaan. Ook in de jachthaven van Schiermonnikoog was de schade groot. Containers die dienst deden als tijdelijk havenkantoor raakten op drift en diverse schepen zijn gezonken.

.....
Schiermonnikoog: Foto: Keimpe
Knijft, Rijkswaterstaat



Afslaggegevens Schiermonnikoog

Km 2-3 1 tot 2 m

Km 3-6 4 tot 6 m

Rottumerplaat

(Bron: B. Corté, RWS)

De duinen aan de noord-kant zijn deels afgeslagen. Tot aan de eerste knik is zo'n 20 m duinafslag waargenomen, waarbij zich een zeer steile afslagrand heeft gevormd. Aan het eind van de eerste knik is het resterende duin nog 10 m breed. De Westerduinen zijn verdwenen, terwijl de natuurlijke duinen aan de noordwesthoek zijn afgevlakt maar hun vegetatie hebben behouden. Geen veranderingen zijn opgetreden aan de Noordkwelder, wel aan natuurlijke duinen noord-westkant. De ligging van het Zeegat van de Lauwers is naar schatting zo'n 200 m naar het oosten opgeschoven.

Rottumeroog

(Bron: B. Corté, RWS & M. Firet, Staatsbosbeheer regio Noord)

Het water heeft het beheergebouw op Rottumeroog net niet bereikt. Een Duitse zeilsloop is op Noordstrand met tractor geborgen. Grote delen van Rottumeroog hebben onder water gestaan. Aan de Noordzee-kant is 20 à 30 m van de hogere duinen weggeslagen. Over de gehele lengte resteert een steil klif. Op meerdere plaatsen is de duinenrij niet meer gesloten. Het zeewater kon vrijelijk van noord naar zuid, van de Noordzee naar de Waddenzee, stromen (washover-proces). Zand van de duinen is op de kwelders en de onbegroeide wadplaten terecht gekomen. Het areaal jonge kwelder met krekens en prielen en droogvallende zandplaten als Hoogwatervluchtplaats voor vogels lijkt daardoor te zijn toegenomen.

Langs het noord-oost strand is zo'n 20 m van het duin afgeslagen. De baai aan de oostpunt is veranderd in een strandvlakte. Aan de west- en noordwestzijde van Rottumeroog waren in de afgelopen jaren vele embryonale duintjes gegroeid. Na de storm zijn de meeste van deze duintjes weer 'platgeschoven'. Het wortelstelsel van de

pionierplanten is intact gebleven, dus het proces van invang van zand aan aangroei gaat weer opnieuw van start. Een cyclisch proces van opbouw en afbraak die kenmerkend is voor dit soort plekken in het Wadden-ecosysteem. Ook hier zijn wat kreken uitgeslepen. En verder is er veel oud materiaal van de voormalige kustverdediging onder het zand tevoorschijn gekomen. Het fundament van het systeem is onaangetast. Ook aan zuidoostkant zijn duinen afgeslagen.

.....
Rottumeroog: water tot dicht bij
het beheerhuis.

