

Rapportage veldmetingen Pettemer Zeewering

Stormseizoen 2003-2004



Project:	SBW-Veldmetingen
Rapport:	RIKZ/2004.032
Datum:	September 2004
Auteur:	D. Hordijk
Medewerking:	A.P. Roskam

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Algemeen	3
1.2	Waarom golven meten?	3
1.3	Organisatie	4
1.4	Leeswijzer	4
2	Beschrijving meetsite Petten	5
2.1	Locatie	5
2.2	Instrumenten	6
2.2.1	Inrichting meetsite	6
2.2.2	Wijzigingen instrumentatie t.o.v. voorgaand seizoen	9
2.2.3	Werking instrumenten	9
2.3	Beheer en onderhoud	12
2.4	Data-inwinning	12
3	Verwerking & opslag meetgegevens	13
3.1	Verwerking van meetgegevens	13
3.2	Instellingen van de programmatuur	13
3.3	Opslag van meetgegevens	14
4	Beschikbaarheid & betrouwbaarheid meetgegevens	15
4.1	Beschikbaarheid meetgegevens	15
4.2	Betrouwbaarheid meetgegevens	17
4.2.1	Betrouwbaarheid van toegepaste meettechnieken	17
4.2.2	Betrouwbaarheid van metingen in de branding	20
5	Beschrijving stormseizoen 2003-2004	23
5.1	Windkarakteristieken	23
5.2	Golfkarakteristieken	24
5.3	Bodemmetingen	26
5.3.1	Type metingen	26
5.3.2	Lodingen	26
5.3.3	Kribvakmetingen	27
5.3.4	ASMIV bodemliggingsmeter	28
5.4	Selectie stormperiodes	29
6	Beschrijving stormperiode 20-22 december 2003	31
6.1	Stormcondities	31
6.2	Windmetingen	31
6.3	Waterstandsmetingen	31
6.4	Golfmetingen	33
6.5	Golfploopmetingen	34

7	Beschrijving stormperiode 7-9 februari 2004	35
7.1	Stormcondities	35
7.2	Windmetingen	35
7.3	Waterstandsmetingen	35
7.4	Golfmetingen	37
7.5	Golfoploopmetingen	38
8	Resumé & aanbevelingen	39
8.1	Resumé	39
8.2	Aanbevelingen	40
	Referenties	41
	Literatuur van Petten 1995-2004	43
	Bijlage A Foto's meetopstelling en instrumenten	
	Bijlage B Aanwezigheid meetgegevens stormseizoen 2003-2004	
	Bijlage C Overschrijdingskrommen H_{m0} en T_{m-10} stormseizoen 2003-2004	
	Bijlage D Waterstanden en astronomisch getij tijdens stormperiodes	
	Bijlage E Stormperiode 20-22 december 2003	
	Bijlage F Stormperiode 7-9 februari 2004	

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Sinds 1994 worden er fysische veldmetingen verricht bij de Pettemer Zeewering. Deze metingen worden in opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ uitgevoerd door Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland (Informatiedienst Water).

De metingen bestaan uit golf-, waterstand-, stroming-, luchtdruk- en windmetingen en worden uitgevoerd met behulp van verschillende instrumenten. Zo wordt bijvoorbeeld de verticale uitwijking van het wateroppervlak gemeten met behulp van boeien, druksensoren, radarapparatuur en stappenbaken. De golfoploop tegen de dijk wordt in beeld gebracht met behulp van een golfoploopbaak, druksensoren en videocamera's.

De metingen tot en met stormseizoen 2000-2001 zijn wel gearcheveerd, maar niet systematisch gedocumenteerd. De metingen van de laatste twee stormseizoenen 2001-2002 en 2002-2003 zijn geanalyseerd en uitvoerig beschreven in stormseizoenrapportages [Hordijk, februari 2003 en juli 2003]. Het voorliggende rapport beschrijft de veldmetingen die gedurende het stormseizoen 2003-2004 zijn uitgevoerd.

1.2 Waarom golven meten?

Nederland wordt tegen overstromingen door de Noordzee, de grote rivieren en grote meren beschermd door de zogenaamde primaire waterkeringen. In de Wet op de Waterkering is vastgelegd dat deze waterkeringen iedere vijf jaar getoetst moeten worden met het doel te bepalen of zij het voorgeschreven veiligheidsniveau kunnen garanderen. Deze toetsing geschiedt aan de hand van de Hydraulische Randvoorwaarden (HR), bestaande uit maatgevende waterstanden en golven. Het RIKZ is verantwoordelijk voor de kennis, de rekeninstrumenten en de berekeningen ten behoeve van het bepalen van de HR voor de zoute wateren.

Dicht onder de kust zijn onvoldoende golfmetingen beschikbaar om een schatting te kunnen maken van de maatgevende golven vlak voor de dijken. Om toch HR af te kunnen geven wordt gebruik gemaakt van golfmetingen die sinds ca. 25 jaar op een vijftal stations op diep water worden uitgevoerd. Op basis van deze beschikbare metingen wordt een schatting gemaakt van de maatgevende golfcondities op diep water. Deze opgeschaalde condities worden vervolgens met behulp van een numeriek golfmodel, zoals het spectraal golfmodel SWAN, vertaald

naar maatgevende condities vlak voor de dijk, welke tenslotte de basis vormen voor de golfrandvoorwaarden (HR) voor onze waterkeringen.

Om betrouwbare golfrandvoorwaarden af te kunnen geven dient uiteraard gebruik gemaakt te worden van een betrouwbaar golfmodel. Voor de verificatie van de huidige golfmodellen zijn met name metingen op ondiep water (vlak voor de dijk) noodzakelijk. De verificatie van het golfmodel SWAN gebeurt voor de gesloten Hollandse kust op basis van onder andere stormmetingen bij Petten.

Het doel van de meetcampagne bij Petten is het volgen van de voortplanting van de golven vanaf diep water, door de brandingszone tot aan de dijk en tevens het meten van de golfoploop tegen de dijk. Voor een verdere uitwerking van de doelstelling wordt verwezen naar het projectplan [Jacobse, 2004]

1.3 Organisatie

De metingen bij de meetsite Petten maken deel uit van een gezamenlijk onderzoeksprogramma van RIKZ en DWW. Binnen het RIKZ is het project ondergebracht in SBW-Veldmetingen. Dit deelproject van het project Sterkte en Belasting op Waterkeringen (SBW) richt zich op het aanleveren van valide meetgegevens t.b.v. het toetsen en verbeteren van de modellen die gebruikt worden voor de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden.

De metingen en het onderhoud van de meetsite worden uitgevoerd door de Informatiedienst Water van directie Noord-Holland van Rijkswaterstaat.

1.4 Leeswijzer

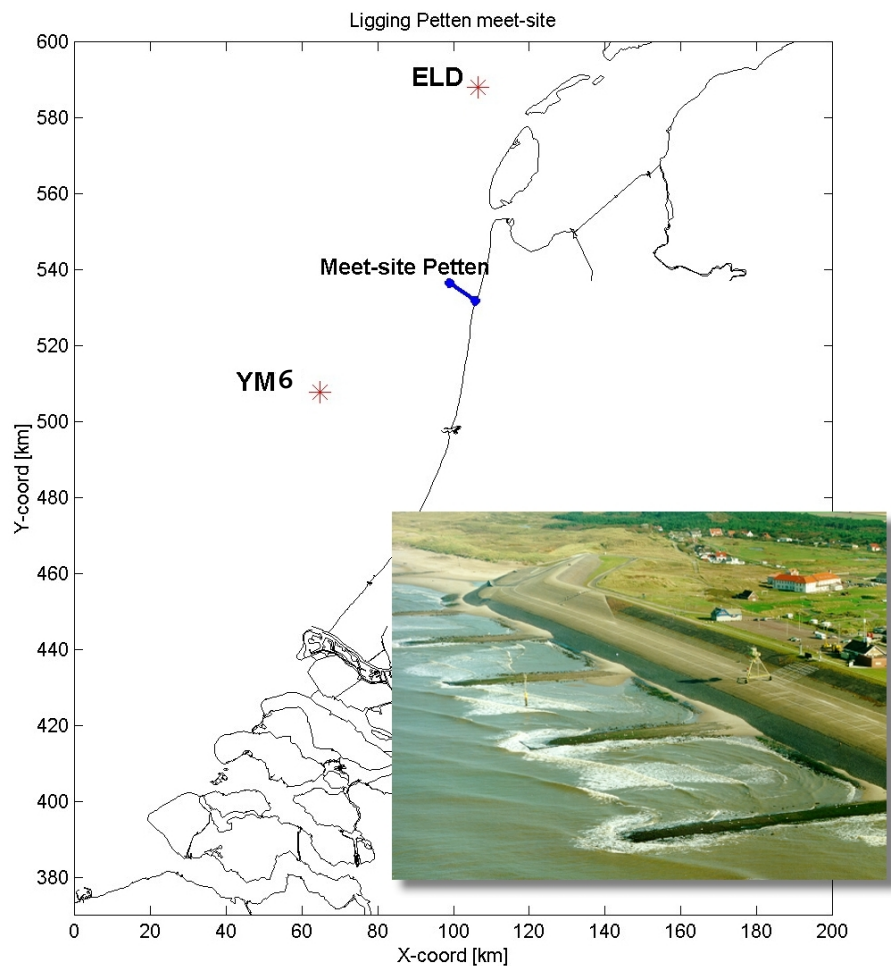
Allereerst wordt in hoofdstuk 2 de meetsite Petten beschreven. Naast een beschrijving van de inrichting van de site wordt ook ingegaan op het instrumentarium, het beheer en onderhoud en de data-inwinning. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens ingegaan op de verwerking en de opslag van de meetresultaten. De beschikbaarheid van de gevalideerde meetresultaten en de betrouwbaarheid van de meetresultaten worden behandeld in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden allereerst windkarakteristieken, golfkarakteristieken en resultaten van morfologische metingen gepresenteerd. Tevens worden op basis van de gemeten windsnelheden en waterstanden interessante stormperiodes geselecteerd, die vervolgens in hoofdstuk 6 en 7 uitvoerig beschreven worden. In hoofdstuk 8 worden tenslotte de belangrijkste karakteristieken van het stormseizoen samengevat en worden tevens enkele aanbevelingen gedaan.

2 Beschrijving meetsite Petten

2.1 Locatie

De meetsite ligt voor de kust van Noord-Holland bij het dorp Petten (ter hoogte van jarkusraai 20.830), waar de kust lokaal beschermd wordt door de Hondsbossche en de Pettemer Zeewering (figuur 2.1). De hoogte van deze zeedijk is bepaald voor een veiligheidsniveau met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar en is 12,75 meter boven NAP. Doordat de aangrenzende duingebieden zich in de loop der jaren teruggetrokken hebben, steekt de Pettemer Zeewering iets zeewaarts uit ten opzichte van de nabijgelegen kust.

Figuur 2.1 Locatie meetsite Petten



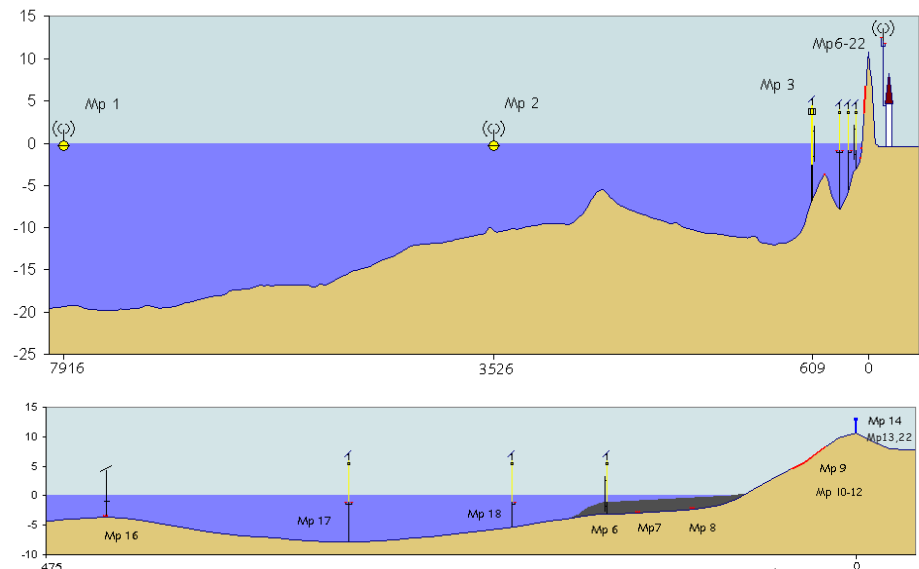
2.2 Instrumenten

2.2.1 Inrichting meetsite

Om inzicht te krijgen in de voortplanting van golven van diep water naar de kust worden de metingen bij Petten uitgevoerd op verschillende afstanden uit de dijk. Tevens worden voor de Dienst Weg en Waterbouw (DWW) golfoplooppmetingen op het boventalud van de dijk verricht. In figuur 2.2 zijn de locaties van alle meetpunten weergegeven in een dwarsdoorsnede van de kust (overeenkomend met de meetraai). Ter verduidelijking van de dichter bij de kust gelegen meetpunten is bovendien ingezoomd op dit gedeelte van de site.

De keuze van de meetinstrumenten is onder andere afhankelijk van de locatie, de te meten grootheden en de beschikbaarheid van instrumenten. De meetlocaties, de te meten grootheden, het type instrumenten en de gebruikte inwintfrequenties zijn gegeven in de tabellen 2.1 en 2.2.

Figuur 2.2 Meetsite Petten
(afstanden en
hoogten in m)



Tabel 2.1 Meetlocaties & instrumentatie meetsite Petten

Meet-punt	Sensor/instrument	Voetmaat ¹ [m]	X-coord RD [m]	Y-coord RD [m]	Z ² [m tov NAP]	Locatie
MP 13	Anemometer (131), windvaan (132) Barometer (133)	-35	105798 105798	531673 531673		Dijk te Kijk ³
MP 22	Barometer (221)	-35	105798	531673		Dijk te Kijk
MP 14	Videocamera 1 (141)	-0,2	105769	531693	17,3	Dijkkruin
MP 19	Videocamera 2,3 (191, 192)	1,1	105759	531677	16,6	Dijkkruin
MP 12	Druksensor (121)	12,7	105749	531683	9,28	Boventalud dijk
MP 11	Druksensor (111)	18,2	105744	531685	7,23	Boventalud dijk
MP 9	Golfoploopbaak (091)	19,4 (midden)	105743	531686	6,92 (midden)	Boventalud dijk
MP 10	Druksensor (101)	25,6	105738	531689	5,70	Talud dijk
MP 8	Druksensor (081)	55,7	105720	531719	0,55	Talud dijk
MP 7	Druksensor (071) Druksensor (072)	75,4 75,4	105703 105703	531730 531730	0,23 -0,29	Paal kribvak Paal kribvak
MP 6	Capacitieve draad (061) Druksensor (062), Radar niveaumeter (063), Anemometer (064), Windvaan (065) Stappenbaak (066) ASM-IV (067)	? 122,9 122,7 122 122 122 122,7	105663 105663 105663 105663 105663 105663 105661	531752 531752 531752 531752 531752 531752 531715	-0,38 -0,92 9,01 12,58 12,58 -0,93	Paal brekerbank Paal brekerbank Paal brekerbank Paal brekerbank Paal brekerbank Paal brekerbank Paal brekerbank
MP 18	Druksensor (181)	170,5	105617	531771	-1,20	Bodem
MP 17	Druksensor (171, 175), Stroomsnelheidsmeter (172, 173, 174)	276,7 276,7	105522 105522	531817 531817	-3,13 -3,13	Bodem (paal) Bodem (paal)
MP 16	Druksensor (161,162)	436,6	105377	531886	-2,50	Bodem (paal)
MP 3	Stappenbaak (031) Digitale niveaumeter (032), Radar niveaumeter (033/034)	609 609 609	105234 105234 105234	531985 531985 531985	-3,00 0,00 11,32	MSW-Paal MSW-Paal MSW-Paal
MP 2	Directional Waverider (021)	3526	102896	533802	-	Pettemer Polder
MP 1	Directional Waverider (011)	7916	99003	535832	-	NAP-20m

¹ Voetmaat gedefinieerd ten opzichte van raai 20.830 met oorsprong x= 105767, y = 531690 (overeenkomend met ca. de dijkkruin) en richting (nautisch) 297,9 graden

² Ophanghoogte van het betreffende instrument

³ Informatiecentrum "Dijk te Kijk"

Tabel 2.2 Instrumentatie & inwinfrequenties

Meetpunt	Sensor/instrument	Meetvariabele [eenheid]	Inwinfrequentie (Hz)
MP 13	Anemometer (131)	Windrichting [grd],	1/60
	Windvaan (132)	Windsnelheid [m/s]	1/60
	Barometer (133)	Luchtdruk [mbar]	1/60
MP 22	Barometer (221)	Luchtdruk [mbar]	1/60
MP 14	Videocamera 1 (141)	Meetraai en brandingszone	25 beelden/sec.
MP 19	Videocamera 2,3 (191,192)	Golfoploop (o.a. in grid)	25 beelden/sec
MP 12	Druksensor (121)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 11	Druksensor (111)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 9	Golfoploopbaak (091)	Golfoploop [m]	10,00
MP 10	Druksensor (101)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 8	Druksensor (081)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 7	Druksensoren (071, 072)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 6	Capacitieve draad (061)	Oppervlakteuitwijking [m],	4,00
	Druksensor (062),	Waterdruk [mbar],	4,00
	Radar niveaumeter (063),	Oppervlakte-uitwijking [m],	2,56
	Anemometer (064),	Windsnelheid [m/s],	1 min. gem.
	Windvaan (065)	Windrichting [grd]	1 min. gem.
	Stappenbaak (066)	Waterniveau [m tov NAP]	2,56
	ASM-IV (067)	Bodemligging [m tov NAP]	3 samples / uur
MP 18	Druksensor (181)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 17	Druksensor (171, 175),	Waterdruk [mbar] en	4,00 / 1,00
	Stroomsnelheidsmeter (172, 173, 174)	stroomsnelheid [m/s]	1,00
MP 16	Druksensor (161,162)	Waterdruk [mbar]	4,00
MP 3	Stappenbaak (031)	Waterniveau [m tov NAP]	2,56
	Digitale niveaumeter (032)	Waterniveau [m tov NAP]	0,10
	Radar niveaumeter (033/034)	Oppervlakte uitwijking [m]	2,56/0,10
MP 2	Directional Waverider (021)	Oppervlakte uitwijking [m] en golfrichting [grd]	1,28
MP 1	Directional Waverider (011)	Oppervlakte uitwijking [m] en golfrichting [grd]	1,28

2.2.2 Wijzigingen instrumentatie t.o.v. voorgaand seizoen

Voor het stormseizoen 2003-2004 zijn een aantal wijzigingen in de instrumentatie aangebracht:

- Op de meetpunten 3 en 6 is een Etrometa stappenbaak geplaatst als betrouwbare referentie voor de vooralsnog onbetrouwbare radar niveaumeter.
- Op meetpunt 13 is een extra barometer geplaatst.
- Druksensor 163 op meetpunt 16 is gedurende een storm in het voorgaande seizoen defect geraakt en voorafgaande aan het stormseizoen 2003-2004 verwijderd.
- Tot en met voorgaand stormseizoen waren alle druksensoren, m.u.v. sensor 175 op meetpunt 17, uitgevoerd met een automatische luchtdrukcompensator. Uit analyse van de meetresultaten is echter gebleken dat de signalen van de luchtdrukgecompenseerde druksensoren onacceptabele afwijkingen vertoonden, die groter werden naarmate de instrumenten langere tijd onder water stonden. Voorafgaand aan het stormseizoen 2003-2004 is daarom besloten om alle druksensoren, m.u.v. sensor 162 op meetpunt 16, zodanig aan te passen dat er geen automatische compensatie voor variaties in luchtdruk meer plaatsvond. In plaats van automatische compensatie zijn de druksignalen pas bij de verwerking van de data gecompenseerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de betrouwbare luchtdrukmetingen op de meetpunten 13 en 22.
- In februari en maart is het AC-filter van de radar niveaumeters aangepast. Dit heeft geleid tot een kleine verbetering van de meetresultaten.

2.2.3 Werking instrumenten

In deze subparagraaf wordt kort ingegaan op de werking van de toegepaste instrumenten. Achtereenvolgens komen aan bod:

- Directional Waverider
- Digitale niveaumeter (DNM)
- Druksensor
- Radar niveaumeter
- Stroomsnelheidsmeter
- Stappenbaak
- Golfoploopbaak
- Videocamera
- Windsnelheid- en windrichtingsmeter
- Barometer
- Capacitieve draad
- ASMIV bodemliggingsmeter

In bijlage A zijn foto's van de meetinstrumenten opgenomen. Foto 9 geeft een overzicht van de meetopstelling voor de dijk.

Directional Waverider (zie foto 1 in bijlage A)

De directional waverider is een door Datawell geleverde boei met een diameter van 0,9 m. Het instrument bevat apparatuur voor het meten van verticale versnellingen en horizontale verplaatsingen, 'pitch', 'roll' en 'heave'. De boei is uitgerust met twee vaste versnellingsmeters, een kompas en een richtingsmeter. De ingewonnen data wordt via telemetrie naar de kust verzonden. Met behulp van de directional waverider worden de hoogte, de richting en de richtingspreiding van korte golven gemeten. MP1 geldt bij de meetsite als offshore referentiepunt (ca. 8 km zeewaarts). MP2 ligt ter hoogte van een zandrug die zich op de Pettemer Polder (keileem) gevormd heeft [figuur 2.2].

Digitale niveaumeter (DNM)

De digitale niveaumeter bestaat uit een verticale buis met een opening onder het laagste waterniveau. De stromingsweerstand van de opening werkt als een doorlaatfilter voor lage frequenties. Hoge frequenties (windgolven) dringen niet door tot in de buis. Het waterniveau in de buis wordt gemeten met een vlotter, die via een metalen draad is verbonden met een katrol. Een contragewicht houdt de draad op spanning. Uit de rotaties van de katrol volgt het verloop van de waterstand.

Druksensor (zie foto's 2 en 6 in bijlage A)

De druksensor meet de totale hydrostatische druk (luchtdruk, bovenliggende waterlaag en eventueel stromingsdruk). Bij de Pettemer meetsite zijn druksensoren geplaatst voor de bepaling van het golfspectrum in ondiep water (MP6, 7, 8, 16, 17 en 18) en voor de bepaling van de laagdikte van de oplopende golven tegen de dijk (MP8, 10, 11 en 12). Verder zijn een aantal druksensoren (sensoren 161, 171 en 062) op gelijke afstand van elkaar in de brandingszone geplaatst om de mate van reflectie van lange golven te kunnen bepalen.

Radar niveaumeter (zie foto 4 in bijlage A)

Met behulp van de door Enraf geleverde radar niveaumeters (op MP6 en MP3) wordt vanaf boven (ca. 10 meter boven NAP) de ligging van het wateroppervlak (waterstand en golfhoogten) gemeten. Dit gebeurt met een zogenaamde seabed-radar.

Stroomsnelheidsmeter (zie foto 5 in bijlage A)

Met behulp van een (Aquadopp) stroommeter (172 t/m 174) wordt de instantane stroomsnelheid in drie richtingen gemeten. De resultaten worden met name gebruikt voor het scheiden van de inkomende en de reflecterende lange golven.

Stappenbaak

De stappenbaak is bevestigd aan een in het zand gespoten paal. Het instrument bestaat uit vier secties met een totale lengte van 12 meter. De werking van de stappenbaak, bestaande uit een serie elektroden met onderlinge afstanden van 0,05 meter, berust op het principe van elektronische geleiding.

Golfoploopbaak (zie foto 3 in bijlage A)

De oploopbaak (091) die gebruikt wordt voor het meten van golfoploop tegen de dijk is van het type Marine. De werking van dit instrument, bestaande uit een serie elektroden met onderlinge afstanden van 0,05 m, berust op het principe van elektronische geleiding. De 12 m lange oploopbaak is in de dijkbekleding geplaatst en registreert de golfoploophoogte op het talud.

Videocamera (zie foto's 7 en 8 in bijlage A)

Wanneer golfoploop wordt verwacht, worden video-opnamen (191 en 192) gemaakt om de golfcondities tussen de twee strekdammen en de golfoploop tegen de dijk tweedimensionaal in beeld te brengen. Om de oploophoogte later te kunnen digitaliseren is een ruimtelijk rooster op de dijk geschilderd.

Windsnelheid- en windrichtingsmeter

De windsnelheden en bijbehorende windrichtingen worden gedurende het gehele stormseizoen continu gemeten op een tweetal locaties, te weten in de brandingszone op een hoogte van ca. NAP +10 m (064 en 065) en aan de landzijde van de dijk op een hoogte van ca. NAP +18 m (131 en 132).

Barometer

In het informatiecentrum "Dijk te Kijk" bij de meetsite en tevens op meetpunt 13 wordt de luchtdruk gemeten met een druksensor (221). De luchtdrukmeting vindt gedurende het stormseizoen continu plaats.

Capacitieve draad (zie foto 10 in bijlage A)

Het principe van de capacitieve draad berust op het meten van de capaciteit van twee dicht langs elkaar gespannen draden. Door een toename van de (zoute) waterstand langs deze draden verandert de geleidendheid, waardoor ook de capaciteit verandert. Op basis hiervan kunnen uitwijkingen van het wateroppervlak (o.a. door waterstandvariaties en golven) nauwkeurig in kaart worden gebracht.

ASMIV bodemliggingsmeter (zie foto's 11 en 12 in bijlage A)

Vanaf november 2002 is de bodemligging ter hoogte van meetpunt 6 gemeten met een ASMIV bodemliggingsmeter van de firma ARGUS uit Duitsland. Dit instrument bestaat uit 192 optische sensoren die in een metalen staaf met onderlinge afstanden van 1 centimeter zijn ingegoten. Met deze sensoren wordt de lichtdoorlatendheid van de omgeving continu gemeten. In de meetresultaten is de bodemlaag duidelijk te onderscheiden van de bovenliggende waterlaag. De bodemliggingsmeter is een stand-alone sensor met een opslagcapaciteit

van 8 Mb. De communicatie en data-uitwisseling verloopt m.b.v. een infrarood interface. De spanningsvoorziening wordt geleverd door twee 9 Volt batterijen, die bij de ingestelde meetfrequentie van eens per 20 minuten een geheel stormseizoen meegaan.

2.3 Beheer en onderhoud

De Informatiedienst Water is verantwoordelijk voor het operationeel houden van de meetsite. Hiertoe voert zij preventief en correctief onderhoud uit. Correctief onderhoud houdt in dat defecte apparatuur gerepareerd of vervangen wordt. Preventief onderhoud wil zeggen dat de apparatuur in een dusdanige staat wordt gehouden, dat de kans op correctief onderhoud klein is.

De installatie en het onderhoud van de meetopstelling op de MSW⁴-paal (MP3) mag uitsluitend door het technisch beheer van het MSW uitgevoerd worden. Om deze reden is de meetopstelling op MP3 door IT van RIKZ ontworpen en uitgevoerd. Het MSW is verantwoordelijk voor het functioneren van de DNM, maar niet voor het functioneren van de radar niveaumeter en de stappenbaak. Deze instrumenten "liften" mee met het onderhoud van de MSW-paal.

2.4 Data-inwinning

In 2001 is een systeem ontwikkeld op basis van het Qinsy-systeem, waarbij de data op afstand overgehaald kan worden. De meetdata wordt opgeslagen op twee pc's, die in een afgesloten ruimte van het informatiecentrum "Dijk te Kijk" in Petten zijn geplaatst. In 2002 is ten behoeve van een dagelijkse controle van de werking van de sensoren een netwerkverbinding naar Petten gerealiseerd. De meetdata wordt door middel van dit netwerk dagelijks naar IJmuiden gekopieerd. In IJmuiden wordt de data op cd gebrand, waarna deze voor verwerking naar Den Oever wordt gestuurd. Na verwerking van de data wordt zowel de ruwe als de verwerkte data tezamen met een verwerkingsrapport op cd gebrand en maandelijks naar het RIKZ gestuurd.

⁴ Monitoring Systeem Water

3 Verwerking & opslag meetgegevens

3.1 Verwerking van meetgegevens

De verwerking van meetdata is in het verleden door het RIKZ uitgevoerd met behulp van adhoc-programmatuur (Fortran-scripts). Om lijn te brengen in de dataverwerking en tevens een beter onderhoudbare verwerking te verkrijgen is in 2002 in opdracht van het RIKZ het golfverwerkingsprogramma Waves2002 ontwikkeld, waarmee golfgegevens per dag verwerkt kunnen worden. Recent is een batchversie met de naam Waves2004 opgeleverd, waarmee zonder al te veel inspanning langere periodes verwerkt kunnen worden. Deze zal de tot nu toe gehanteerde adhoc-programmatuur te zijner tijd geheel vervangen. Voor een beschrijving van Waves2004 wordt verwezen naar de gebruikershandleiding van Waves2004 [Dekker et al, 2004].

De verwerking van het stormseizoen 2003-2004 is uitgevoerd door de Meetinformatiedienst van directie Noord-Holland. Hierbij is gebruik gemaakt van zowel Waves2004 als de eerder genoemde adhoc-programmatuur. De Fortran-scripts zijn dit jaar echter wel zodanig aangepast dat de verwerkingsmethodiek volledig overeenkomt met die van Waves2004. De resultaten van de verwerking zijn globaal gecontroleerd door het RIKZ. Voor de opmaak van het stormseizoenverslag is nog gebruik gemaakt van de resultaten van de adhoc-programmatuur.

De validatie van meetdata is uitgevoerd op het ruwe meetsignaal, waarbij grote uitschieters, tijdfouten en stagnaties zijn verwijderd en datagaten zijn opgevuld. Een validatie op parameterniveau, waarbij de betrouwbaarheid van de parameters gecontroleerd wordt, is **niet** uitgevoerd, ook niet voor de stormen! Er is dus een globale controle, echter geen systematische validatie uitgevoerd.

3.2 Instellingen van de programmatuur

Voor de verwerking van het stormseizoen 2003-2004 zijn voor zowel de adhoc-programmatuur als voor Waves2004 de volgende instellingen gehanteerd:

- Instellingen voor validatieproces:
Bij de validatie zijn kleine uitschieters in het datasignaal verwijderd op basis van de sigma/delta-test met coëfficiënt 4. Voor het stagnatiecriterium is voor golfsignalen 6 seconden ingevoerd en voor stroomsnelheidssignalen 12 seconden. Voor de langzaam fluctuerende signalen zoals luchtdruk is geen stagnatiecontrole uitgevoerd. Voor het interpolatiecriterium is een waarde van 2 seconden aangehouden. Dit betekent dat gaten tot twee seconden

lineair geïnterpoleerd worden. Voor de achtergrond van deze criteria wordt verwezen naar de handleiding van Waves2004 [Dekker et al, 2004].

- Instellingen voor analyse:
In de adhoc-programmatuur is voor de bepaling van golfspectra en parameters voor alle instrumenten een ondergrens voor de kwaliteit van 90% aangehouden. Voor de richtingscorrectie is een waarde -2 ingevoerd. Voor de achtergrond van deze instellingen wordt verwezen naar de gebruikershandleiding van Waves2004 [Dekker et al, 2004]. Voor de bloklength (duur van de te analyseren signaalblokken) is gekozen voor een waarde van 20 minuten. Deze bloklength is voldoende lang uit het oogpunt van de betrouwbaarheid van het meetsignaal en voldoende klein om te kunnen spreken van een stationair gedrag binnen het blok. Dit laatste is over het algemeen het geval bij bloklengths kleiner dan ca. 30 minuten. De door de DNM (032) gemeten waterstand is in de analyse aangehouden als de referentie waterstand.

Verdere informatie met betrekking tot de gehanteerde instellingen is te vinden in de configuratiebestanden. Deze zijn voor elke verwerkte dag beschikbaar [paragraaf 3.3].

3.3 Opslag van meetgegevens

Zowel de ruwe als de verwerkte data zijn tezamen met de bijbehorende verwerkingsrapporten bij het RIKZ opgeslagen op een netwerkschijf met de naam `//gwdcxa/Hrmeet_sb5`. Het streven is om alle relevante data in de toekomst ook in DONAR/WADI te plaatsen.

Om de data voor een ieder toegankelijk te maken voor verdere analyse zijn de meest relevante resultaten tevens op de bij dit rapport gevoegde cd-rom gezet. Het betreft:

- Dagbestanden (gevalideerd op signaalniveau):
 - verzamelfiles (gm-, gh-, rr-, g2-, tm- en hm-files)
 - gp-files (parameters)
 - gs-files (spectra)
 - gd-files (richtingsspectra)
 - cfg-files (configuratiebestanden) en verwerkingrapporten
- Stormdata:
 - ruwe data
 - verwerkte data
- Morfologische metingen:
 - Lodingen (ascii-formaat (X,Y,Z))
 - Kribvakmetingen (ascii-formaat (X,Y,Z))

Naast bovengenoemde bestanden zijn ook een pdf-versie van dit stormseizoenverslag en een document, met een beschrijving van de indeling van de verschillende bestanden, bijgevoegd.

4 Beschikbaarheid & betrouwbaarheid meetgegevens

Dit hoofdstuk beschrijft allereerst de beschikbaarheid van gevalideerde meetdata voor het stormseizoen 2003-2004. Vervolgens wordt ingegaan op de betrouwbaarheid van deze data.

4.1 Beschikbaarheid meetgegevens

De aanwezigheid van gevalideerde meetgegevens voor het stormseizoen 2003-2004 (1 oktober 2003 t/m 30 april 2004) is in bijlage B per maand weergegeven in balkenschema's. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende kleurenschaal:

- Groen:** per dag is na verwerking en validatie minimaal 80% van de te verwachten waarden aanwezig;
- Geel:** per dag is na verwerking en validatie 50% tot 80% van de te verwachten waarden aanwezig;
- Rood:** per dag is na verwerking en validatie minder dan 50% van de te verwachten waarden aanwezig;
- Zwart:** geen meetwaarden aanwezig.

Vanaf voorgaand stormseizoen wordt de radar op meetpunt 3 via twee verschillende frequenties ingewonnen [tabel 2.2]. Dit instrument is voor beide frequenties in de balkenschema's terug te vinden. Omdat de instrumenten 091 tot en met 121, 141 en 191 op de dijk zijn geplaatst en alleen bij voldoende golfoploop 'output' geven, zijn deze niet in de balkenschema's opgenomen. De ASMIV bodemliggingsmeter is ook niet in het balkenschema opgenomen.

De beschikbaarheid van gevalideerde meetdata voor het gehele stormseizoen is in figuur 4.1 grafisch weergegeven voor alle meetinstrumenten (m.u.v. de instrumenten op de dijk). Sommige instrumenten zijn op zodanige hoogte geplaatst dat deze bij lagere waterstanden geheel of gedeeltelijk droogvallen. Voor deze momenten zijn uiteraard geen gevalideerde meetgegevens beschikbaar. Omdat dit de prestatie van de betreffende instrumenten vertekent (lager beschikbaarheidspercentage) is de beschikbaarheid voor deze instrumenten in figuur 4.1 gearceerd weergegeven.

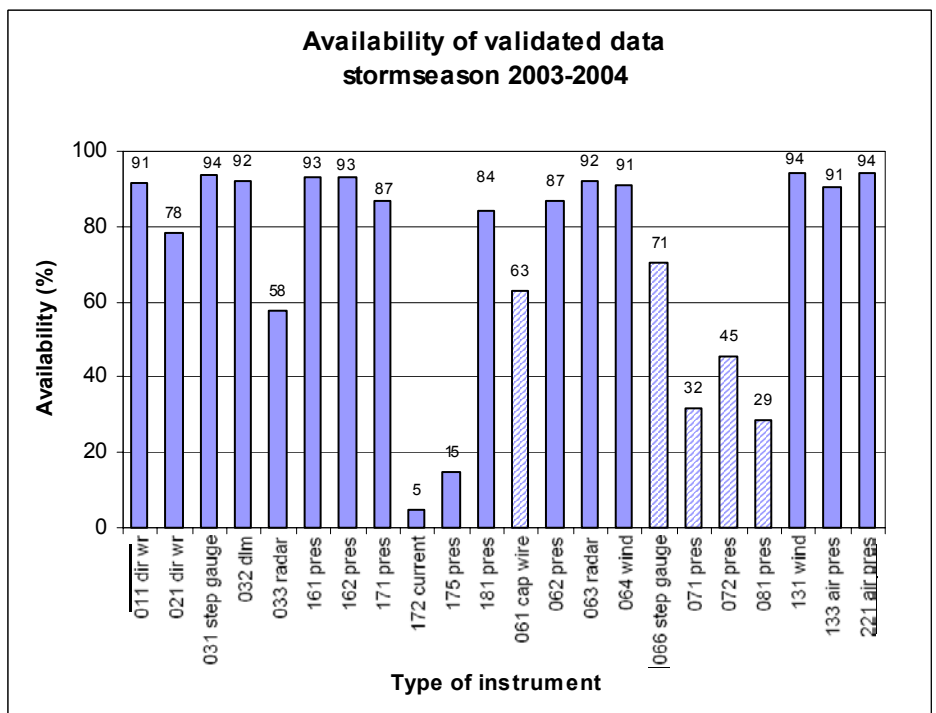
Tijdens het stormseizoen 2003-2004 is het meerdere malen voorgekomen dat alle signalen simultaan afwezig waren. Dit werd meestal veroorzaakt door storingen in de inwinapparatuur en onderhoudswerkzaamheden aan de meetsite. Door deze uitval (totaal ca. 12 dagen) bedraagt de beschikbaarheid van gevalideerde data voor een instrument maximaal 94 procent.

In figuur 4.1 is te zien dat voor de meeste instrumenten voor ruim 85 procent van het stormseizoen gevalideerde data aanwezig is. Voor een aantal instrumenten is het percentage echter veel lager:

- Radar 033 (58%): in het signaal van dit instrument kwamen gedurende het hele stormseizoen zeer veel uitschieters voor. Hierdoor is bij de validatie een grote hoeveelheid data afgekeurd.
- Stroommeter 172-174 (5%): de stroommeter is aan het eind van voorgaand stormseizoen defect geraakt en kon pas in maart 2004 gerepareerd worden. Vanaf maart heeft dit instrument echter nog steeds niet goed gefunctioneerd.
- Druksensor 175 (15%): deze aan de stroommeter gekoppelde sensor is defect geweest tot maart 2004. Na reparatie heeft dit instrument gedurende de maand april goed gewerkt.
- Druksensoren 071/072 (32%/45%): deze druksensoren vallen bij lage waterstanden droog, waardoor er gedurende ruim de helft van het stormseizoen geen data geregistreerd wordt.
- Druksensor 081 (29%): druksensor valt bij lagere waterstanden droog (ruim 2/3 van stormseizoen). Bij droogval wordt geen data geregistreerd.
- Capacitieve draad 061 (63%): droogval bij lage waterstanden.
- Stappenbaak 066 (71%): droogval bij lage waterstanden.

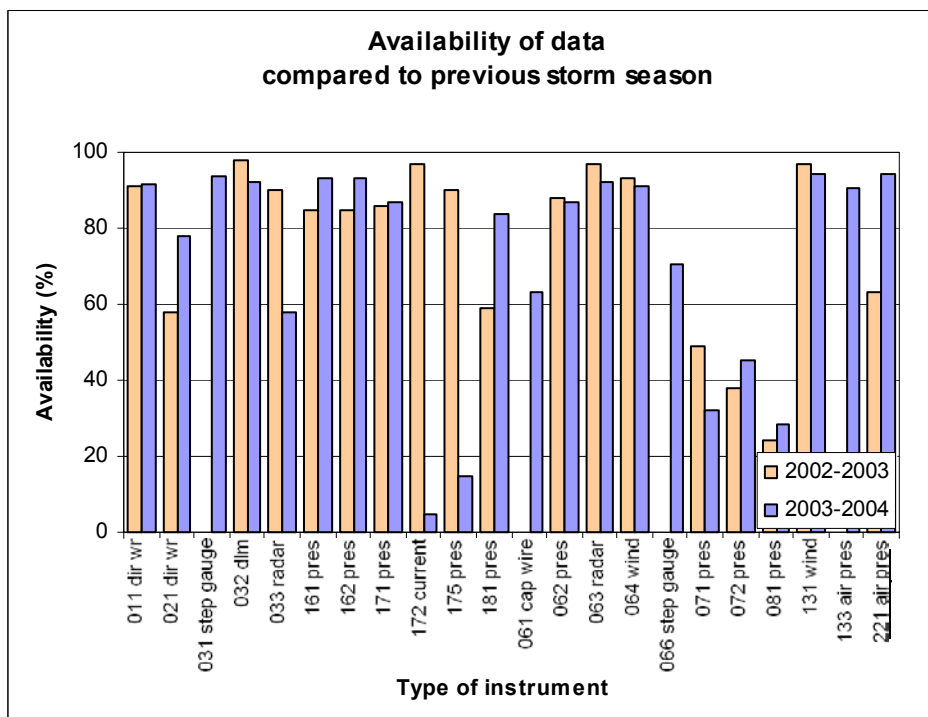
De gemiddelde beschikbaarheid van gevalideerde data voor het stormseizoen 2003-2004 bedraagt 72 procent. Wanneer echter gecorrigeerd wordt voor droogval van de instrumenten op de meetpunten 6, 7 en 8 wordt een gemiddeld percentage van 77 procent gevonden.

Figuur 4.1 Beschikbaarheid gevalideerde data voor stormseizoen 2003-2004



In figuur 4.2 wordt de beschikbaarheid van gevalideerde data voor het stormseizoen 2003-2004 vergeleken met het voorgaand stormseizoen 2002-2003. In deze figuur is te zien dat de resultaten van het afgelopen stormseizoen voor de meeste instrumenten vergelijkbaar zijn met de resultaten van het voorgaande stormseizoen. Ten opzichte van het stormseizoen 2002-2003 is de prestatie van de instrumenten 021, 161, 162, 181 en 221 duidelijk verbeterd, echter de instrumenten 033, 172, 175, 071 presteerden gedurende het afgelopen stormseizoen aanzienlijk slechter.

Figuur 4.2 Vergelijking beschikbaarheid van gevalideerde data met het voorgaande seizoen



4.2 Betrouwbaarheid meetgegevens

4.2.1 Betrouwbaarheid van toegepaste meettechnieken

De betrouwbaarheid van meetdata wordt hoofdzakelijk bepaald door de omstandigheden waaronder de metingen zijn verricht (brekende golven, stromingen, etc.). Hieronder wordt ingegaan op de betrouwbaarheid van de meettechnieken onder de lokale omstandigheden zoals die bij Petten voorkomen.

Directional waverider

De directional waverider is een algemeen geaccepteerd instrument voor golfmetingen op dieper water. Het criterium voor het gebruik van deze boei is dat er geen brekende golven voorkomen in de meetomgeving. Omdat bij Petten aan dit criterium wordt voldaan (op de meetpunten 1 en 2) mag aangenomen worden dat de meetdata van de golfboeien betrouwbaar is (binnen 0,03 – 0,50 Hertz).

Digitale niveaumeter (DNM)

De DNM is een algemeen geaccepteerd instrument voor het meten van de waterstand en wordt op grote schaal toegepast in het landelijk netwerk voor waterstanden (MSW). De standaarddeviatie voor de gehele opstelling (dus DNM in een gedempte peilbuis) bedraagt 2,5 centimeter. De op meetpunt 3 geplaatste DNM is opgenomen in het landelijk meetnet (Petten Zuid). Aangenomen wordt dat de betreffende meetdata zeer betrouwbaar is.

Druksensor

Van de druksensoren mag aangenomen worden dat de drukken vrijwel exact gemeten worden. Of de vertaling van gemeten drukken naar waterspiegelvariaties geheel correct verloopt kan echter niet met zekerheid worden gezegd, omdat de invloeden van bijvoorbeeld de diepte van de sensoren onder de waterspiegel, de opstelhoogte boven de bodem, de saliniteit van het water, aanstroming en sedimenttransport niet precies bekend zijn. De betrouwbaarheid van de uiteindelijke meetresultaten (waterspiegelvariatie) afkomstig van druksensoren is al enige jaren een discussiepunt. Onderzoek naar mogelijke versturende invloeden zoals aanstroming, saliniteit en sedimenttransport wordt aanbevolen.

Radar niveaumeter

De radar niveaumeter op meetpunt 3 (033) bleek in 2002 nog kinderziektes te bevatten. Deze Enraf 973 radar niveaumeter is daarom in 2003 geëvalueerd op Meetpost Noordwijk. Het doel van dit traject was te komen tot een verbeterd instrument, waarvan duidelijk zou zijn wat de meetprestaties en toepassingsgebieden zijn. Tijdens dit onderzoek is gebleken dat niet alle problemen eenvoudig opgelost konden worden. Momenteel wordt er bij Datawell gewerkt aan verbetering van dit instrument. Het signaal van de radar op meetpunt 3 was gedurende het afgelopen stormseizoen zeer slecht. Door de vele uitschieters is een grote hoeveelheid data afgekeurd. De betrouwbaarheid van de resultaten wordt niet erg hoog geschat.

De radar niveaumeter op meetpunt 6 is van het oude type, de zogenaamde Enraf 873. Dit type radar niveaumeter is in principe goed bevonden voor het meten van golven op diep water (evaluatie heeft reeds plaatsgevonden in 1997/1998 op Meetpost Noordwijk). De toepassing bij Petten is echter anders, omdat meetpunt 6 gesitueerd is in de branding. Zwaar brekende golven zullen zeker invloed hebben op de betrouwbaarheid van de data. Bovendien waren er problemen met de software waardoor systematisch foute lange golven geregistreerd werden. Dit probleem is in november 2003 verholpen door het AC-filter uit te schakelen.

Stroomsnelheidsmeter

De stroomsnelheidsmeter is geplaatst in de branding. De getijstroming wordt wel correct gemeten, echter of de onder turbulente omstandigheden gemeten orbitaalsnelheden betrouwbaar zijn, is (nog) niet met zekerheid te zeggen.

Windsnelheids- en windrichtingsmeter

Er mag aangenomen worden dat de resultaten van de windmeters betrouwbaar zijn. Uit vergelijking van de winddata voor MP6 (voor de dijk) en MP13 (achter de dijk) is gebleken dat er regelmatig kleine verschillen in zowel gemeten windrichting als windsnelheid voorkomen. Deze worden echter veroorzaakt door de geometrie van de dijk. Gebleken is dat de grootste verschillen voorkomen bij windrichtingen van ca. 180 graden. De verschillen zijn gering bij windrichtingen tussen 220 en 90 graden.

Barometer

De betrouwbaarheid van de data van de barometer is afhankelijk van de opstelling van het instrument. Wind kan bijvoorbeeld afwijkingen in het signaal veroorzaken. Over het algemeen mag toch aangenomen worden dat de data betrouwbaar is.

Stappenbaak

De werking van de stappenbaak, bestaande uit een serie elektroden met onderlinge afstanden van 0,05 meter, berust op het principe van elektronische geleiding. Gezien de eenvoud van het meetprincipe zullen de metingen betrouwbaar zijn als er geen zware golfbreking optreedt. Ter hoogte van meetpunt 6 vindt tijdens storm echter zware golfbreking plaats. Door het opspattende water kan het meetsignaal van een stappenbaak en daarmee de betrouwbaarheid van de meetresultaten mogelijk beïnvloed worden. Om dit zoveel mogelijk te voorkomen zijn de elektroden naar de dijk gericht en is de baak aan de landwaartse zijde van de paal geplaatst.

ASMIV bodemliggingsmeter

Het meetprincipe van de ASMIV bodemliggingsmeter berust op het optisch meten van de troebelheid van water. De bodemligging kan op een centimeter nauwkeurig bepaald worden. Gezien het vrij eenvoudige meetprincipe en de sterke overeenkomsten van de meetresultaten met gelijktijdig uitgevoerde bodempeilingen is vastgesteld dat de meetresultaten van de ASMIV zeer betrouwbaar zijn.

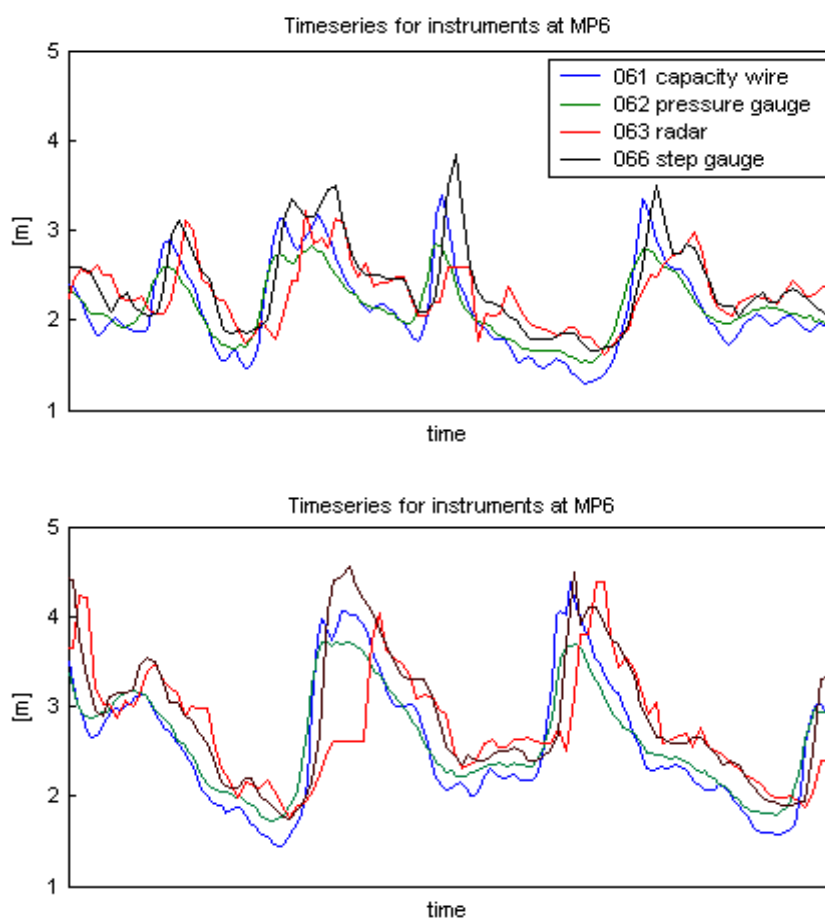
Capacitieve draad

Gezien de eenvoud van het meetprincipe zullen de met dit instrument gemeten waterstandvariëaties betrouwbaar zijn, mits de draad voldoende gespannen is. Het probleem met de capacitieve draad is namelijk dat deze met name tijdens stormcondities slap valt of breekt. Om betrouwbare metingen te verkrijgen is regelmatige controle (onderhoud) noodzakelijk. De onderkant van de draad bevindt zich op ca. 0,20 m onder NAP, dus bij lage waterstanden worden geen metingen verricht.

4.2.2 Betrouwbaarheid van metingen in de branding

In de afgelopen jaren is meerdere malen geconstateerd dat verschillende meetinstrumenten bij toepassing op meetpunt 6 in de branding met name tijdens storm significant verschillende uitkomsten geven. Voordat deze metingen gebruikt kunnen worden voor de verificatie van golfmodellen dient de betrouwbaarheid van de verschillende meettechnieken uiteraard gekwantificeerd te worden. Gedurende het stormseizoen 2003-2004 zijn op meetpunt 6 metingen verricht met vier verschillende type meetinstrumenten te weten: een capacatieve draad, een druksensor, een radar niveaumeter en een stappenbaak. Ter vergelijking zijn in figuur 4.3 de signalen van deze vier instrumenten voor twee willekeurige momenten tijdens een storm in december 2003 (zie paragraaf 5.4 en hoofdstuk 6) weergegeven.

Figuur 4.3 Vergelijking signalen
meetpunt 6



In subparagraaf 4.2.1 is al het een en ander gezegd over de betrouwbaarheid van de op meetpunt 6 toegepaste meettechnieken. Met betrekking tot figuur 4.3 worden de volgende aanvullende opmerkingen gemaakt:

- De kleine faseverschuivingen tussen de signalen kunnen verklaard worden uit de positionering van de instrumenten. Doordat de instrumenten niet exact op dezelfde locatie zijn geplaatst worden 'dezelfde' golven op verschillende momenten gemeten. Tevens is

het mogelijk dat er kleine afwijkingen zijn in de logging van de verschillende instrumenten (tijdregistratie).

- De signalen van de capacitieve draad en de stappenbaak vertonen een sterk overeenkomstig verloop. Hieruit blijkt dat de baakmeting niet of nauwelijks beïnvloed wordt door opspattend water. De shift van ca. 0,25 meter in verticale richting wordt veroorzaakt door een iets afwijkende nulpuntinstelling van de instrumenten. Deze instrumenten lijken de meest betrouwbare meetresultaten te geven.
- De met de druksensor gemeten uitwijkingen van het wateroppervlak zijn te klein. Deze dienen echter nog gecorrigeerd te worden middels een overdrachtsfunctie. Deze correctie wordt niet op het meetsignaal maar op het spectrum uitgevoerd. Verder is te zien dat het signaal van de druksensor gladder verloopt dan de overige signalen. Dit is te verklaren uit het feit dat de sensor zich op zekere afstand onder de waterlijn bevindt. De invloed van kleinere golven is niet of nauwelijks merkbaar.
- De radar lijkt de toppen van de grotere golven te missen. De berekende golfhoogtes zullen hierdoor aan de lage kant zijn (zie ook tabel 5.1). Het signaal van de radar lijkt erg onbetrouwbaar.
NB: de met de radar systematisch geregistreerde foute lange golven komen niet voor in figuur 4.3. Dit komt doordat voor deze periode het AC-filter uitgeschakeld is.

5 Beschrijving stormseizoen 2003-2004

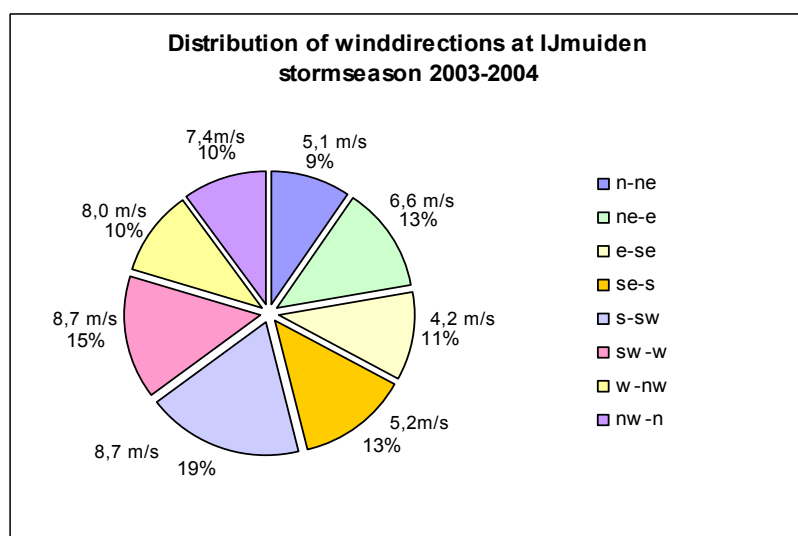
Dit hoofdstuk beschrijft allereerst de wind- en golfkarakteristieken van het stormseizoen 2003-2004. Vervolgens wordt ingegaan op de morfologische metingen. Ten slotte worden interessante stormperiodes geselecteerd op basis van gemeten windsnelheden en waterstanden. Deze zullen in hoofdstuk 6 en 7 uitvoerig beschreven worden.

5.1 Windkarakteristieken

De windrichtingen en windsnelheden zijn gemeten ter plaatse van de meetpunten 6 (voor de dijk) en 13 (achter de dijk kruin). Uit vergelijking van de signalen voor MP6 (voor de dijk) en MP13 (achter de dijk) is gebleken dat er regelmatig kleine verschillen in zowel gemeten windrichting als windsnelheid voorkomen. Deze worden zoals in hoofdstuk 4 al is aangegeven veroorzaakt door aanpassing van de wind boven de Pettemer Zeewering.

Omdat de wind ter hoogte van de meetpunten 6 en 13 enigszins beïnvloed wordt door de Pettemer Zeewering en deze bij Petten bovendien niet exact volgens de norm op 10 m hoogte wordt gemeten, is deze niet gebruikt voor het bepalen van de windkarakteristieken van het stormseizoen 2003-2004. Hiervoor is gebruik gemaakt van de voor het KNMI geregistreerde (uurgemiddelde) gegevens bij IJmuiden. Deze gegevens zijn wel volgens de norm op 10 meter hoogte gemeten. De verdeling van de windrichtingen is in figuur 5.1 tezamen met gemiddelde windsnelheden grafisch weergegeven voor het stormseizoen 2003-2004.

Figuur 5.1 Windkarakteristieken IJmuiden



5.2 Golfkarakteristieken

De door de wind veroorzaakte verticale bewegingen van het wateroppervlak zijn bij de meetsite gemeten met behulp van golfboeien (011 en 021), druksensoren (062, 071, 072, 081, 161, 162, 171, 175 en 181), radar niveaumeters (033, 063), stappenbaken (031 en 066) en een capacitieve draad (061). Met behulp van golfverwerkings-programmatuur zijn voor de genoemde meetinstrumenten, voor alle 20-minuten-blokken waarvoor gevalideerde meetgegevens beschikbaar zijn, golfparameters en spectra berekend. In tabel 5.1 worden statistische kenmerken van de volgende golfparameters gegeven:

- golfhoogte H_{m0} (0,03 – 0,50 Hz)
- golfperiode T_{m-10} (0,03 – 0,50 Hz)
- golfperiode T_{m02} (0,03 – 0,50 Hz)
- piekperiode T_{pb} (0,03 – 0,50 Hz)

De overschrijdingskrommen voor de golfhoogte H_{m0} en de golfperiode T_{m-10} zijn opgenomen in bijlage C (figuur C.1 en C.2). Omdat de overschrijdingskrommen voor een tamelijk korte tijd (7 maanden) geconstrueerd zijn, komen er kleine knikjes voor in de curven. Verder wordt opgemerkt dat de verdeling van T_{m-10} los staat van de verdeling van H_{m0} . De hoogste golven zullen dan ook niet samenvallen met de langste periodes. De hogere periodes worden over het algemeen gemeten wanneer er deining uit noordelijke richtingen vanuit een oud stormveld in het golfveld aanwezig is. Deze golven worden gekenmerkt door een relatief kleine golfhoogte.

Met betrekking tot tabel 5.1 worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- In de tabel is duidelijk te zien dat de golfhoogte afneemt richting de kust (in de tabel van links naar rechts).
- De periode T_{m-10} neemt niet af richting de dijk, maar neemt zelfs toe! Deze toename is het gevolg van de opwekking van lange golven.
- De T_{m02} is veel minder gevoelig voor (de toename van) laagfrequente energie en blijft vrijwel constant richting de dijk.
- Voor de piekperiode (T_{pb}) zijn een aantal zeer hoge niet realistische waarden vermeld. Deze periodemaat wordt sterk beïnvloed door de ruis die zich op het spectrum bevindt (willekeurige pieken) en is dan ook in tegenstelling tot de T_{m-10} een minder stabiele parameter.
- Voor de radar niveaumeter (033) en de stappenbaak (031) op meetpunt 3 zijn voor stormsituaties (0,1% en 1% waarden in tabel 5.1) grote verschillen in golfhoogte gevonden tot ruim een meter. Dit is te verklaren uit het feit dat de ontvangst van het radarsignaal tijdens storm erg slecht was, waardoor een grote hoeveelheid van de stormdata bij de validatie is afgekeurd.
- Doordat door software problemen (gedurende de eerste maanden van het stormseizoen) systematisch foute lange golven geregistreerd zijn door de radar op meetpunt 6, zijn de periodes aan de hoge kant. Doordat de radar golftoppen mist (zie subparagraaf 4.2.2) wordt de golfhoogte H_{m0} sterk onderschat. De met de druksensor gemeten golfhoogtes lijken ook iets te laag.

Tabel 5.1 Golfkarakteristieken stormseizoenen 2003-2004

		Meet instrument														
		011 DWR	021 DWR	031 STB	033 RNM	161 DRK	162 DRK	171 DRK	181 DRK	061 CAP	062 DRK	063 RNM	066 STB	071 DRK	072 DRK	081 DRK
Bechikbaarheid (%) ⁵		91%	78%	94%	58%	93%	93%	87%	84%	63%	87%	92%	71%	32%	45%	29%
H _{m0} [m]	gem	1.24	1.15	1.09	0.94	0.90	0.86	0.78	0.70	0.76	0.59	0.54	0.72	0.64	0.61	0.54
	0.1%	5.60	5.05	4.65	3.25	3.55	3.35	2.60	2.50	2.30	2.00	1.80	2.35	1.90	1.90	1.80
	1%	4.45	4.00	3.95	2.80	2.95	2.75	2.15	2.05	2.00	1.50	1.40	2.00	1.60	1.50	1.50
	5%	3.10	2.95	2.85	2.20	2.25	2.15	1.75	1.50	1.50	1.20	1.15	1.50	1.15	1.15	1.20
	10%	2.50	2.30	2.20	1.90	1.80	1.75	1.50	1.30	1.35	1.05	1.05	1.30	1.05	1.05	1.05
T _{m-10} [sec]	gem	5.7	5.7	5.8	5.9	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6	6.4	6.6	6.1	6.8	6.6	8.5
	0.1%	11.7	11.9	11.6	12.1	12.3	12.2	10.4	11.3	13.0	12.5	13.2	11.3	10.3	10.3	13.7
	1%	9.8	9.8	9.6	9.7	10.2	10.2	9.5	10.3	10.5	10.5	11.9	9.9	9.7	9.7	12.1
	5%	8.3	8.4	8.5	8.6	9.0	9.0	8.8	9.2	9.2	9.1	10.1	8.7	8.9	8.7	11.1
	10%	7.4	7.5	7.8	7.8	8.4	8.4	8.3	8.5	8.6	8.3	8.9	8.0	8.3	8.1	10.4
T _{m02} [sec]	gem	4.5	4.5	4.5	4.5	5.4	5.4	5.6	4.6	4.4	4.2	4.2	4.0	4.8	4.6	5.5
	0.1%	8.4	8.2	8.0	8.3	8.9	9.0	8.1	7.3	6.8	6.6	7.8	6.8	7.5	7.1	7.7
	1%	7.4	7.4	6.9	7.2	7.8	7.9	7.5	6.6	5.9	5.9	6.9	5.6	6.8	6.3	7.1
	5%	6.5	6.3	6.1	6.2	6.9	6.9	6.9	5.9	5.4	5.4	5.8	5.0	5.8	5.6	6.5
	10%	5.9	5.9	5.6	5.7	6.5	6.4	6.6	5.5	5.1	5.1	5.3	4.7	5.5	5.2	6.3
T _{pb} [sec]	gem	6.3	6.4	6.9	6.8	7.5	7.5	7.3	8.1	8.4	8.4	8.6	8.3	8.4	8.5	9.4
	0.1%	16.3	16.3	16.2	16.5	16.4	16.4	16.7	16.9	22.7	18.9	19.8	17.3	13.8	15.0	17.9
	1%	13.4	13.7	13.1	13.7	13.7	13.7	13.1	14.1	16.0	15.9	16.4	15.4	13.1	14.0	16.5
	5%	10.4	10.8	11.3	11.1	11.7	11.6	11.3	12.6	13.5	13.8	14.3	13.7	12.3	13.0	14.6
	10%	9.2	9.5	10.4	10.3	10.8	10.8	10.5	11.8	12.3	12.7	12.9	12.7	12.0	12.4	13.4

Wegens gebrek aan voldoende gevalideerde data voor druksensor 175 is deze niet in de tabel opgenomen.

⁵ 0,1% = 0,2 dagen, 1% = 2,1 dagen, 5% = 10,7 dagen en 10% = 21,3 dagen

5.3 Bodemmetingen

5.3.1 Type metingen

Door sedimenttransporten ten gevolge van stroming en golven is het bodemprofiel voor de Pettemer Zeewering voortdurend aan veranderingen onderhevig. Omdat het bodemprofiel direct invloed heeft op de golfhoogte, is het noodzakelijk om niet alleen de golven maar ook de veranderingen in de bodemligging te monitoren. Gedurende het stormseizoen 2003-2004 is de bodem een aantal keer in kaart gebracht middels lodingen en kribvakmetingen. Deze momentopnamen geven wel informatie over het algemene gedrag van de bodem tijdens het stormseizoen, maar geven geen informatie over de variaties en ontgrondingsdiepte tijdens storm. Om de maximale ontgrondingsdiepte, die de bovengrens voor de golfhoogte bepaalt, in kaart te brengen is de bodemligging op meetpunt 6 gedurende het stormseizoen 2003-2004 tevens continu gemeten met een ASMIV bodemliggingsmeter.

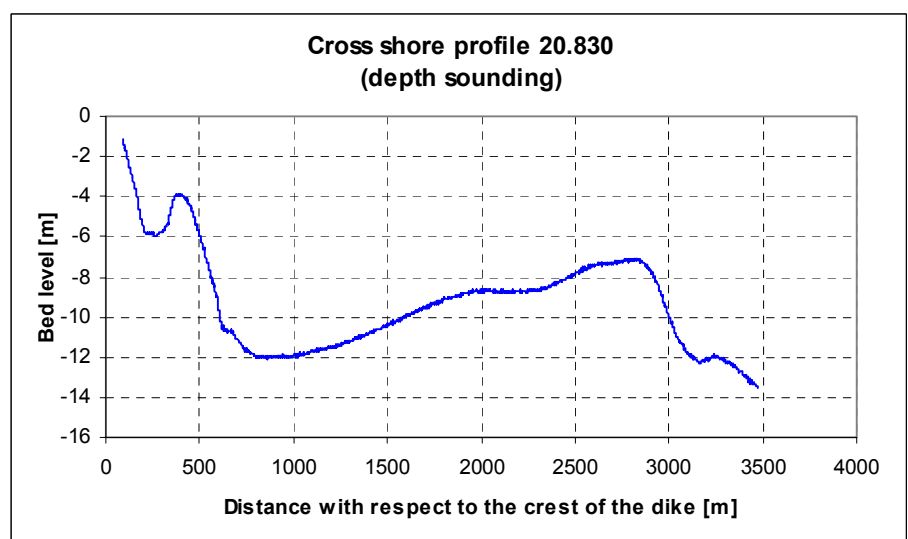
5.3.2 Lodingen

De lodingen zijn uitgevoerd voor 9 Jarkusraaien over 5 kribvakken, te weten Jarkusraai 20.830 (overeenkomend met de meetraai) en 4 raaien ten noorden en 4 raaien ten zuiden van de meetraai. De lodingen zijn op de volgende data uitgevoerd:

- 4 september 2003
- 6 november 2003
- 4 december 2003
- 13 februari 2004
- 29 maart 2004

Ter visualisatie van het bodemprofiel voor de Pettemer Zeewering is deze voor Jarkusraai 20.830 (overeenkomend met de meetraai) gegeven in figuur 5.2. De data van alle lodingen zijn digitaal beschikbaar in ascii-formaat (zie paragraaf 3.3).

Figuur 5.2 Bodemprofiel in de meetraai
(Jarkusraai 20.830)



5.3.3 Kribvakmetingen

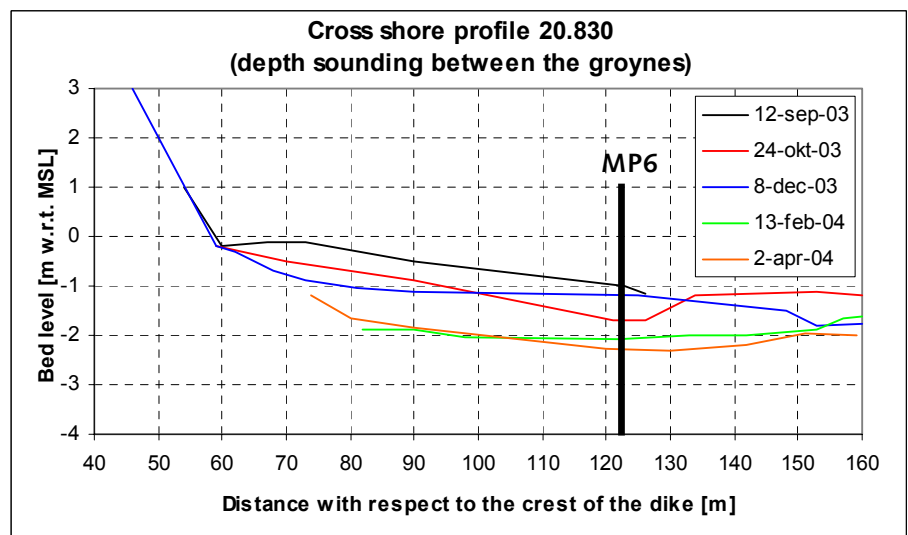
De kribvakmetingen zijn uitgevoerd voor 7 evenwijdige raaien tussen de strekdam ten noorden en de strekdam ten zuiden van de meetraai. De bodemligging is hierbij tot 100 à 150 meter zeewaarts van de dijkkrui opgenomen met behulp van een 'Total Station'. De kribvakmetingen zijn uitgevoerd op de volgende data:

- 12 september 2003
- 24 oktober 2003
- 8 december 2003
- 13 februari 2004
- 2 april 2004

De opnames voor de middelste raai (raai 20.830, overeenkomend met de meetraai) zijn gevisualiseerd in figuur 5.3. De opname van 12 september 2003 laat een typisch zomerprofiel zien met veel zand voor de teen van de dijk. Duidelijk is te zien dat er gedurende het stormseizoen een aanzienlijke bodemverlaging plaatsvond over de gehele raai. De maanden december, januari en februari waren uitzonderlijk onstuimig. Waarschijnlijk is er gedurende deze maanden veel zand naar dieper water afgevoerd, waardoor het langer duurde voordat het profiel weer opgebouwd was.

Om een goed beeld te kunnen vormen (en begrip te kunnen krijgen) van de bodemveranderingen in het kribvak dienen de veranderingen in bodemligging echter niet tweedimensionaal (enkele raai) maar driedimensionaal (geïnterpoleerd over alle 7 raaien) bekeken te worden. De voor 3D-verwerking benodigde data (resultaten van de 7 raaien 20.785, 20.800, 20.815, 20.830, 20.845, 20.860 en 20.875) zijn digitaal beschikbaar in ascii-formaat (X,Y,Z), zie paragraaf 3.3.

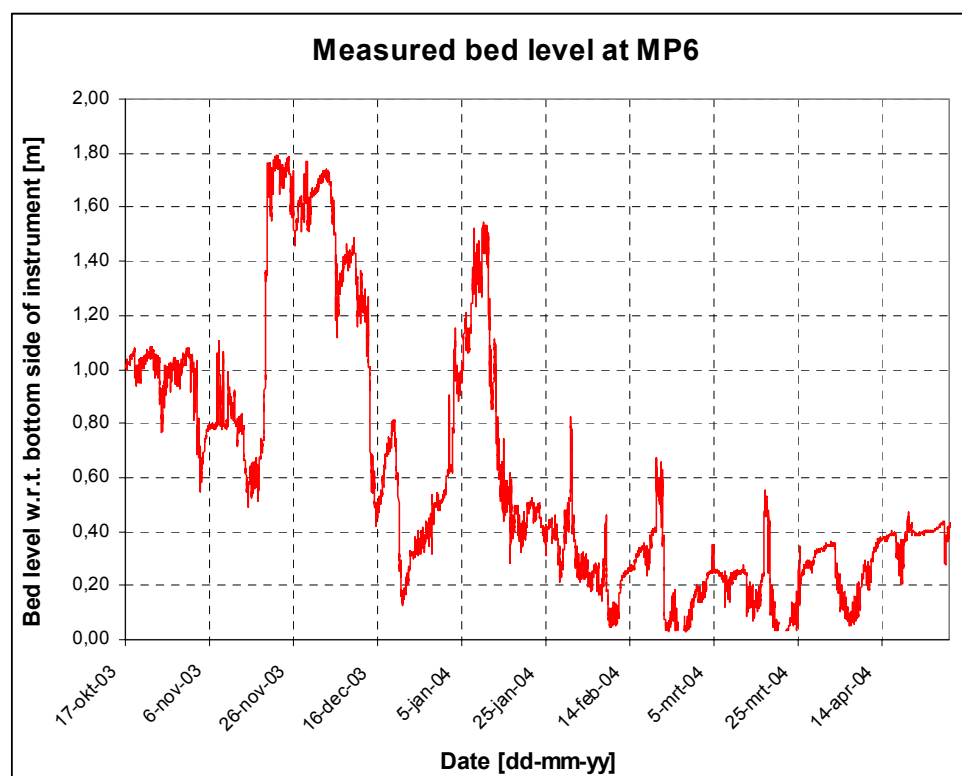
Figuur 5.3 Kribvakmetingen
Jarkusraai 20.830



5.3.4 ASMIV bodemliggingsmeter

Het meetprincipe van de ASMIV bodemliggingsmeter berust op het meten van de lichtdoorlatendheid van het water in de omgeving van optische sensoren. Doordat sensoren in de vaste bodem geen licht meer meten, is de bodemligging zeer nauwkeurig uit het meetsignaal af te leiden. In figuur 5.4 is de met de ASMIV gemeten bodemligging nabij meetpunt 6 (zie figuur 5.3) weergegeven voor de periode van 17 oktober 2003 tot en met 31 april 2004. In deze figuur is duidelijk te zien dat de bodemligging nabij meetpunt 6 sterk varieerde gedurende het stormseizoen 2003-2004. Halverwege november en eind januari vond nabij meetpunt 6 zoveel aanzanding plaats dat de bodem in korte tijd ca. een meter hoger kwam te liggen. Dit kan mogelijk veroorzaakt worden door de uitgevoerde zandsuppleties aan beide uiteinden van de harde zeewering. Uit een eerste korte analyse is gebleken dat de periodes waarin een significante bodemdaling plaatsvond, vaak samenvielen met periodes waarin sprake was van stormachtige wind of storm (minimale windkracht van 7 Beaufort). Zo vond op 14 en 15 december 2003 een sterke bodemdaling van ca. een meter plaats tijdens een noordwesterstorm met maximale windsnelheden tot 18 meter per seconde. Een vergelijkbare bodemdaling werd tijdens een westerstorm met windsnelheden tot 16 meter per seconde gemeten op 13 en 14 januari 2004.

Figuur 5.4 Resultaten ASMIV nabij meetpunt 6



Gedurende het afgelopen stormseizoen is aangetoond dat de bodem nabij meetpunt 6 aan sterke veranderingen onderhevig is, echter om de

invloed van ontgronding op de golven voor de dijk te kunnen bepalen is één puntmeting onvoldoende. Een uitgebreidere analyse, waarbij de resultaten van de ASMIV gekoppeld worden met ruimtelijke informatie (lodingen en kribvakmetingen) strekt dan ook zeker tot aanbeveling.

5.4 Selectie stormperiodes

Om de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN voor stormcondities te kunnen bepalen worden gemeten stormen nagerekend. Op basis van een vergelijking van modelresultaten en meetgegevens kan een uitspraak worden gedaan over de betrouwbaarheid van het model. De stormmetingen die bij Petten zijn uitgevoerd kunnen gebruikt worden voor de verificatie van het golfmodel SWAN voor de gesloten Hollandse kust. Wanneer de waterstand tijdens storm zodanig verhoogd is dat regelmatig golfoploop tegen het boventalud van de Pettemer Zeewering voorkomt, kunnen de stormmetingen bij Petten bovendien gebruikt worden voor de verificatie van golfoploopformuleringen.

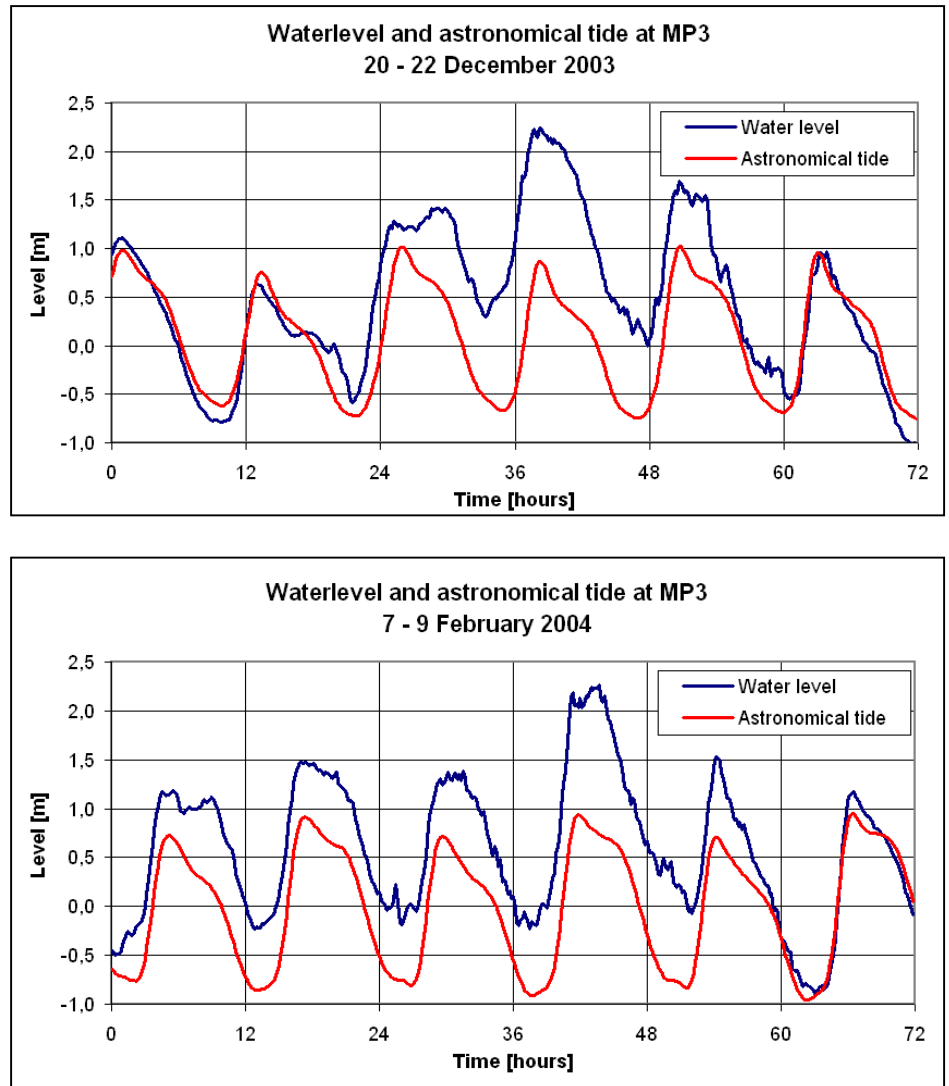
Om de interessante stormperiodes voor onder andere *hindcasting* met het golfmodel SWAN en golfoploop-analyses te kunnen bepalen is allereerst geselecteerd op basis van gemeten windsnelheid (hoger dan 15 m/s oftewel ca. 7 Bft.). Hiervoor is gebruik gemaakt van de voor het KNMI uitgevoerde windmetingen bij IJmuiden. De periodes waarin gedurende meerdere uren windsnelheden boven de 15 m/s zijn gemeten zijn:

- 6 - 8 oktober 2003
- 3 november 2003
- 14 - 15 december 2003
- 20 - 22 december 2003
- 26 - 27 december 2003
- 13 - 14 januari 2004
- 16 - 17 januari 2004
- 31 januari - 4 februari 2004
- 7 - 9 februari 2004
- 20 - 23 maart 2004

Om te kunnen bepalen of deze stormperiodes wel of niet interessant zijn voor verdere analyses (*hindcasting*, golfoploop-analyses, etc.), dienen naast de windsnelheden ook de opgetreden waterstanden te worden bekeken. Omdat op ondiep water de maximale golfhoogte mede bepaald wordt door de lokale waterdiepte kunnen bij hogere waterstanden hogere golven voorkomen. Bovendien wordt bij hogere waterstanden de kans op golfoploop tegen het boventalud van de Pettemer Zeewering groter. Het verloop van de waterstanden is voor bovengenoemde stormperiodes gegeven in bijlage D. In deze bijlage is te zien dat de waterstand gedurende twee stormperiodes, te weten **20-22 december 2003** en **7-9 februari 2004**, het niveau van NAP+2,0m ruim overschreed [figuur 5.5]. Deze twee stormperiodes zijn erg

interessant voor verdere analyse en zullen daarom in meer detail beschreven worden in hoofdstuk 6.

Figuur 5.5 Waterstand en astronomisch getij 20-22 dec. 2003 en 7-9 febr. 2004



6 Beschrijving stormperiode 20-22 december 2003

In hoofdstuk 5 zijn op basis van gemeten windsnelheden en waterstanden twee interessante stormperiodes geselecteerd, te weten 20-22 december 2003 en 7-9 februari 2004. Dit hoofdstuk beschrijft de stormperiode 20-22 december 2003, waarbij wordt ingegaan op de algemene stormcondities, gemeten wind, waterstand, golven en golfoploop.

6.1 Stormcondities

Op het grensvlak van koude lucht die aan de oostflank van een hogedrukgebied boven Groenland naar het zuiden afstroomde en zachte lucht, die boven het zuiden van Europa aanwezig was, vormde zich op 20 december een zeer actief lagedrukgebied [figuur 6.1]. Deze depressie trok op 21 december over de Noordzee naar Denemarken en veroorzaakte daarbij een west tot noordwesterstorm. In het oostelijk Waddengebied trok de wind af en toe aan tot windkracht 10, terwijl aan de westkust ruim windkracht 8 werd geregistreerd⁶.

6.2 Windmetingen

De windrichting en de windsnelheid zijn bij Petten gemeten op meetpunt 6 voor de dijk en op meetpunt 13 achter de dijk kruin. De (10 minuut gemiddelde) resultaten zijn, tezamen met de voor het KNMI gemeten (uurgemiddelde) waarden bij IJmuiden, weergegeven in bijlage E (figuur E.1). In deze bijlage is te zien dat de wind gedurende de stormperiode 20-22 december 2003 van zuid naar noord draaide, waarbij de windsnelheden sterk fluctueerden. Zowel bij Petten als bij IJmuiden zijn op de top van de storm windsnelheden boven de 20 m/s, overeenkomend met windkracht 8, gemeten.

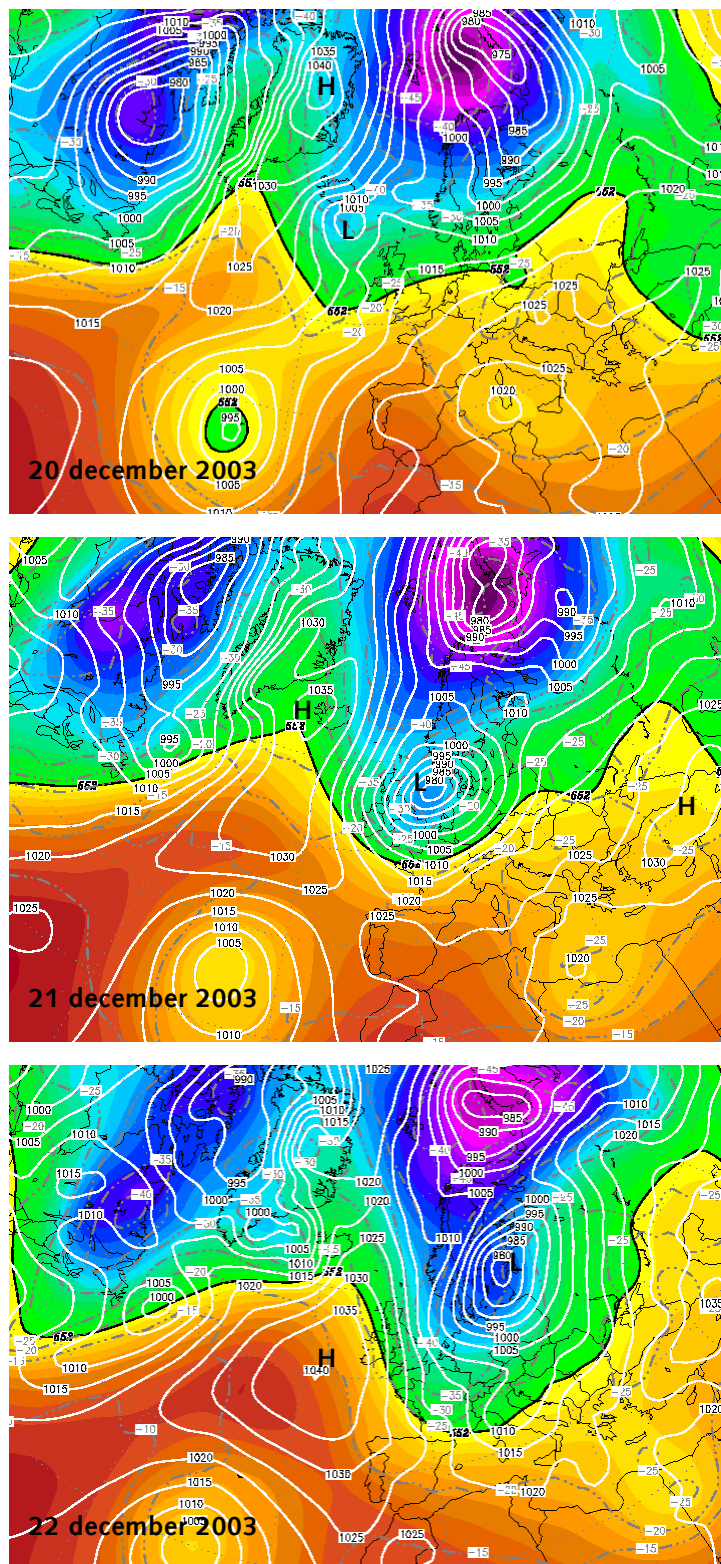
6.3 Waterstandsmetingen

De met de digitale niveaumeter op meetpunt 3 (Petten Zuid⁷) gemeten waterstand is tezamen met het astronomisch getij reeds weergegeven in figuur 5.5. In deze figuur is te zien dat tijdens het tweede hoogwater op 21 december een maximale waterstand van 2,24 meter boven NAP is gemeten. De windgedreven opzet bedroeg op dat moment ongeveer anderhalve meter.

⁶ bron: www.weer.nl

⁷ Meetpunt 3 is opgenomen in het Monitoring Systeem Water (MSW) en wordt in dit netwerk aangeduid als meetpunt Petten Zuid.

.....
 Figuur 6.1: luchtdruk 20 t/m 22 december 2003 [bron: Wetterzentrale Karlsruhe]



6.4 Golfmetingen

Golven worden bij Petten gemeten met behulp van golfboeien, druksensoren, radar niveaumeters, stappenbaken en een capacitieve draad. Bij de verwerking van de meetdata zijn, voor alle instrumenten waarvoor gevalideerde gegevens beschikbaar zijn, per 20 minuten energiedichtheidspectra en golfparameters berekend.

Energiedichtheidspectra

De ontwikkeling van het energiedichtheidspectrum gedurende de stormperiode is in bijlage E.2 gevisualiseerd voor meetpunt 1. De tijdstippen waarvoor de spectra zijn gegeven zijn gekozen op basis van gemeten windsnelheden en waterstandsverloop:

- 20 december 12:00u: vlak voor aanvang van de storm
- 21 december 06:00u: eerste hoogwater tijdens storm
- 21 december 14:00u: maximale waterstand en piek van de storm
- 22 december 03:00u: eerste hoogwater na de piek van de storm

In bijlage E.2 is duidelijk te zien dat de top van het spectrum tijdens de storm naar de laagfrequente kant van het spectrum verschuift. Na de piek van de storm beweegt deze vervolgens weer richting de hogere frequenties. Wat opvalt is dat de spectra voor meetpunt 1 gekenmerkt worden door een smalle top. Dit is over het algemeen het geval wanneer de wind tijdens een storm langere tijd vanuit west tot noordwestelijke richting komt. De relatief steile spectra bij meetpunt 1 zijn typische Jonswap spectra, waarbij het merendeel van de golven even lang is.

Om ook de verandering van het spectrum in kustwaartse richting inzichtelijk te maken, zijn in bijlage E.3 voor de piek van de storm (21 december 14:00u) de spectra voor verschillende meetpunten gegeven. Bovendien zijn de genormaliseerde spectra tezamen weergegeven om de verandering van de spectrale vorm in kustwaartse richting te illustreren. In genoemde bijlage is te zien dat er met name tussen de meetpunten 3 en 17 energie naar hogere frequenties verplaatst, hetgeen het gevolg is van golfbreking op en na de brekerbank ter hoogte van meetpunt 3. In tegenstelling tot de meeste andere stormen in voorgaande jaren vond tijdens de stormperiode 20-22 december met name in dit gebied veel energiedissipatie door breking plaats. De hypothese is dat er tijdens deze storm voornamelijk al golfbreking verder uit de kust optrad tengevolge van de significant hogere golfperiodes. Deze hypothese wordt bevestigd door visuele waarnemingen vanaf de dijk (duidelijk zichtbare schuimrand evenwijdig aan de kust).

In bijlage E.3 is ook te zien dat nabij meetpunt 6 op het ondiepere gedeelte voor de dijk een herverdeling van energie naar lagere frequenties optreedt. Deze wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de opwekking van lange golven door golfbreking.

Golfparameters

Om het verloop van de golfhoogte en de golfperiode gedurende de stormperiode inzichtelijk te maken, is in bijlage E.4 het verloop van de golfparameters H_{m0} , T_{m02} en T_{m-10} grafisch weergegeven voor de golfboeien 011 en 021, stappenbaken 031 en 066 en druksensoren 161, 171 en 071. In de eerste figuur in bijlage E.4 is voor meetpunt 1 duidelijk te zien dat de golfhoogte op de eerste dag in korte tijd sterk toeneemt tot bijna 4 meter. Deze sterke toename in golfhoogte wordt veroorzaakt door de snelle toename in windsnelheid tot ruim 20 m/s. Tijdens het hoogwater aan het begin van de middag van 21 december zijn de hoogste golven gemeten. De golfhoogte H_{m0} varieert op dat moment van 2 meter voor de dijk tot bijna 7 meter nabij meetpunt 1. In de tweede figuur in bijlage E.4 is te zien dat de golfperiode T_{m-10} toeneemt tot een maximum van ca. 11 seconden op meetpunt 1. Verder is duidelijk te zien dat de T_{m-10} zeer langzaam afneemt na de piek van de storm. Dit kan verklaard worden uit het feit dat er na de piek van de storm nog lange golven vanaf de noordelijke Noordzee bij Petten aankomen. Omdat de golfperiode T_{m02} juist gevoeliger is voor hoogfrequente energie (lokaal opgewekte korte golven) neemt deze in tegenstelling tot de T_{m-10} wel snel af na de piek van de storm (zie derde figuur in bijlage E.4).

6.5 Golfoplopmetingen

De oploop tegen het boventalud van de dijk wordt onder andere gemeten met een in de dijkbekleding geplaatste oploopbaak. De onderkant van deze 12 meter lange baak ligt op NAP +5,70m. Op 21 december 2003 is oploop gemeten tussen 12:45u en 18:00u. Hierbij zijn de niveaus NAP +6m, NAP +7m en NAP +8m respectievelijk 527, 51 en 12 seconden overschreden. De hoogste oploop bedroeg NAP +8,91m. Dit is vergelijkbaar met de storm van 2 januari 1995. De gemeten golfoploop is grafisch weergegeven in bijlage E.5. Hierbij is tevens ingezoomd op de hoogste oploop.

7 Beschrijving stormperiode 7-9 februari 2004

In hoofdstuk 5 zijn op basis van gemeten windsnelheden en waterstanden twee interessante stormperiodes geselecteerd, te weten 20-22 december 2003 en 7-9 februari 2004. De eerstgenoemde periode is reeds behandeld in hoofdstuk 6. Dit hoofdstuk beschrijft de stormperiode 7-9 februari 2004, waarbij wordt ingegaan op de algemene stormcondities, gemeten wind, waterstand, golven en golfoploop.

7.1 Stormcondities

In de nacht van 7 op 8 februari 2004 trok een front, gekoppeld aan een kleine depressie vanaf de Noordzee naar Denemarken [figuur 7.1]. De westerstorm die hierdoor ontstond werd vooral veroorzaakt door het grote luchtdrukverschil dat zich opbouwde tussen dit lage drukgebied en een snel opbouwend hogedrukgebied ten westen van de Britse eilanden. De met zware windstoten gepaarde storm trad op aan de zuidzijde van het front dat van west naar oost over Nederland trok. Na een kleine afname nam de windsnelheid in de avond van 8 februari langs de gehele westkust toe, waardoor een noordwesterstorm met windkracht 8 à 9 ontstond⁸.

7.2 Windmetingen

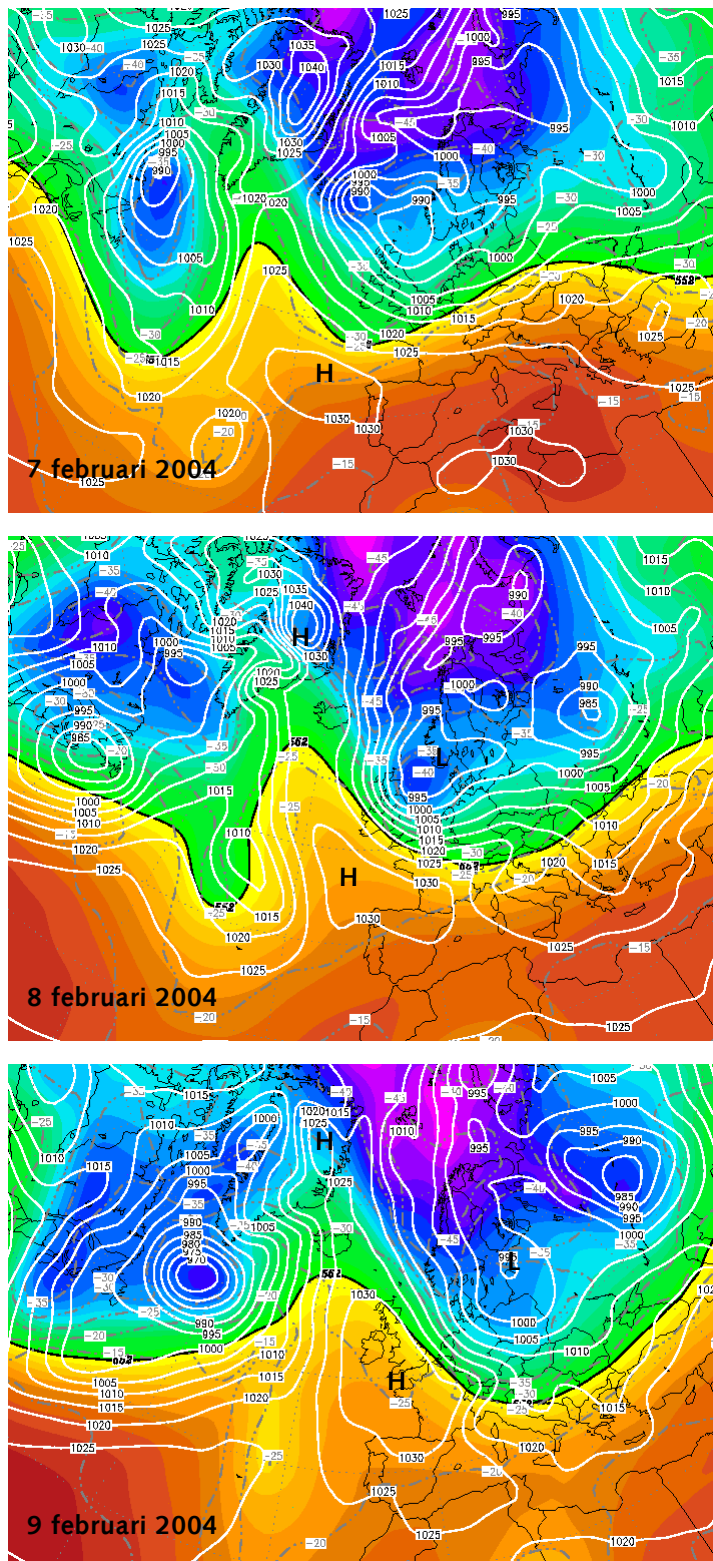
De windrichting en de windsnelheid zijn bij Petten gemeten op meetpunt 6 voor de dijk en op meetpunt 13 achter de dijkruin. De (10 minuut gemiddelde) resultaten zijn, tezamen met de voor het KNMI gemeten (uurgemiddelde) waarden bij IJmuiden, weergegeven in bijlage F (figuur F.1). In deze bijlage is te zien dat de wind gedurende de stormperiode 7-9 februari 2004 geleidelijk van zuidwest naar noordwest draaide. Zowel bij Petten als bij IJmuiden zijn op de top van de storm windsnelheden boven de 20 m/s, overeenkomend met een windkracht van 8 Beaufort, gemeten.

7.3 Waterstandsmetingen

De met de digitale niveaumeter op meetpunt 3 (Petten Zuid) gemeten waterstand is tezamen met het astronomisch getij reeds weergegeven in figuur 5.5. In deze figuur is te zien dat gedurende bijna de gehele stormperiode sprake was van een significante windgedreven opzet van de waterstand. Tijdens het hoogwater in het begin van de avond van 8 februari is een maximale waterstand van 2,25 meter boven NAP gemeten. De windgedreven opzet bedroeg op dat moment ongeveer anderhalve meter.

⁸ Bron: www.weer.nl

.....
Figuur 7.1: luchtdruk 7 t/m 9 februari 2004 [bron: Wetterzentrale Karlsruhe]



7.4 Golfmetingen

Golven worden bij Petten gemeten met behulp van golfboeien, druksensoren, radar niveaumeters, stappenbaken, en een capacitieve draad. Bij de verwerking van de meetdata zijn, voor alle instrumenten waarvoor gevalideerde gegevens beschikbaar zijn, per 20 minuten energiedichtheidspectra en golfparameters berekend.

Energiedichtheidspectra

De ontwikkeling van het energiedichtheidspectrum gedurende de stormperiode is in bijlage F.2 gevisualiseerd voor meetpunt 1. De tijdstippen waarvoor de spectra zijn gegeven zijn gekozen op basis van gemeten windsnelheden en waterstandsverloop:

- 8 februari 06:00u: hoogwater voor de piek van de storm
- 8 februari 20:00u: maximale waterstand op de piek van de storm
- 9 februari 06:00u: eerste hoogwater na de piek van de storm

In bijlage F.2 is te zien dat de spectra voor meetpunt 1 op 8 februari net als voor de storm in december 2003 gekenmerkt worden door een smalle top. Ook voor deze storm is te zien dat er gedurende de stormperiode een verschuiving van de top plaatsvond naar de linkerkant van het spectrum.

Om de verandering van het spectrum in de richting van de kust inzichtelijk te maken, zijn in bijlage F.3 voor de piek van de storm (8 februari 20:00u) spectra voor verschillende meetpunten gegeven. Bovendien zijn de genormaliseerde spectra tezamen weergegeven om de verandering van de spectrale vorm in kustwaartse richting te illustreren. Duidelijk is te zien dat de piek van het spectrum inzakt richting de kust. Tegelijkertijd vindt er een herverdeling van energie plaats naar de hogere frequenties.

Golfparameters

Om het verloop van de golfhoogte en de golfperiode gedurende de stormperiode inzichtelijk te maken, is in bijlage F.4 het verloop van de golfparameters H_{m0} , T_{m02} en T_{m-10} grafisch weergegeven voor de golfboeien 011 en 021, stappenbaken 031 en 066 en druksensoren 161, 171 en 071. Voor druksensor 071 op meetpunt 7 vlak voor de dijk is te zien dat stukjes signaal ontbreken. Zoals genoemd in hoofdstuk 4 is dit te verklaren uit het feit dat de druksensor bij lagere waterstanden droogvalt.

Het in bijlage F.4 weergegeven verloop van de golfhoogte voor de buitenste drie meetlocaties vertoont sterke overeenkomsten met het verloop van de windsnelheid (bijlage F.1), terwijl het golfhoogteverloop voor de overige meetlocaties (op ondieper water) meer het verloop van de waterstand volgt. Tijdens de piek van de storm op 8 februari bedraagt de golfhoogte H_{m0} nabij de buitenste meetlocatie ca. 6 meter en vlak voor de Pettemer Zeewering nabij meetpunt 7 ca. 2 meter. De golfperiodes T_{m02} en T_{m-10} vertonen tijdens de stormperiode een soortgelijk verloop, echter verschillen ongeveer twee seconden.

De golfperiode T_{m-10} , welke zeer gevoelig is voor laagfrequente energie (lange golven), neemt tijdens de storm toe tot maximaal 9 à 10 seconden nabij alle meetlocaties, terwijl de periode T_{m02} toeneemt tot maximaal 8 seconden nabij de buitenste meetlocaties.

7.5 Golfoplopmetingen

De oploop tegen het boventalud van de dijk wordt onder andere gemeten met een in de dijkbekleding geplaatste oploopbaak. De onderkant van deze 12 meter lange baak ligt op NAP +5,70m. Op 8 februari 2004 is oploop gemeten tussen 17:00u en 22:30u. Omdat het bovenste gedeelte van de baak (vanaf ca. NAP +6,80m) niet functioneerde zijn de hogere oplopen niet volledig geregistreerd. De gemeten golfoploop is grafisch weergegeven in bijlage F.5.

8 Resumé & aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste karakteristieken van het meetseizoen 2003-2004 kort samengevat en worden bovendien enkele aanbevelingen gedaan.

8.1 Resumé

Gedurende het afgelopen stormseizoen heeft de meetsite redelijk goed gefunctioneerd. Ten opzichte van het voorgaande stormseizoen is de prestatie van de instrumenten 021, 161, 162, 181 en 221 duidelijk verbeterd, echter de instrumenten 033, 172, 175, 071 presteerden gedurende het afgelopen stormseizoen aanzienlijk slechter. De gemiddelde beschikbaarheid van gevalideerde meetdata bedraagt voor het stormseizoen 2003-2004 ca. 77 procent.

In de periode van oktober tot en met maart heeft het een aantal keer flink gestormd. Tijdens de meest interessante stormperiodes 20-22 december 2003 en 7-9 februari 2004, waarbij hoge waterstanden zijn gemeten (tot resp. NAP +2,24m en NAP +2,25m), heeft de meetsite zeer goed gefunctioneerd. Gedurende deze beide stormperiodes is regelmatig golfoploop tegen het boventalud van de Pettemer Zeewering gemeten. De hoogste oploop tot een niveau van NAP + 8,91m werd gemeten op 21 december 2003.

Om de variaties in bodemligging en tevens de maximale ontgrondingsdiepte tijdens storm te kunnen meten, is de bodemligging nabij meetpunt 6 in de brandingszone gedurende het stormseizoen continu gemeten met een ASMIV bodemliggingsmeter. Uit de resultaten is gebleken dat de bodem nabij meetpunt 6 aan sterke veranderingen onderhevig is. Tijdens storm zijn bodemdalingen van een meter gemeten.

Gedurende de afgelopen jaren is meerdere malen geconstateerd dat verschillende meetinstrumenten bij toepassing op meetpunt 6 in de branding met name tijdens storm significant verschillende uitkomsten geven. Afgelopen seizoen is op meetpunt 6 gemeten met een viertal instrumenten, te weten: een druksensor, een radar niveaumeter, een capacitieve draad en een stappenbaak. Uit vergelijking van meetresultaten voor een storm in december 2003 is gebleken dat de signalen van de stappenbaak en de capacitieve draad sterke overeenkomsten vertoonden. Deze instrumenten lijken de meest betrouwbare meetresultaten te geven.

8.2 Aanbevelingen

- De betrouwbaarheid van golfmetingen in de branding blijft een zorgpunt. Daarom wordt aanbevolen om de betrouwbaarheid van verschillende meettechnieken in de branding inzichtelijk te maken.
- Om de invloed van ontgronding op de golven voor de dijk te kunnen bepalen is één puntmeting (nabij meetpunt 6) onvoldoende. Een uitgebreide analyse, waarbij de resultaten van de ASMIV gekoppeld worden met ruimtelijke informatie (lodingen en kribvakmetingen) strekt daarom tot aanbeveling.

Referenties

.....

Dekker P.J., Foppen T., Kleissen F.A.T., Roskam A.P.
Gebruikershandleiding Waves2004
Xi advies bv
2004

Hordijk, D.
Rapportage veldmetingen Pettemer Zeewering stormseizoen 2001-
2002
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-2003.101x
Februari 2003

Hordijk, D.
Rapportage veldmetingen Pettemer Zeewering stormseizoen 2002-
2003
RIKZ, rapport RIKZ/2003.034
Juli 2003

Jacobse, J.J.
Projectplan Veldmetingen Pettemer Zeewering 2004
RIKZ, werkdocument (concept)
2004

Literatuur van Petten 1995-2004

.....

Andorka Gál, J.H.
Verification set Petten
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-96.137x
juli 1996

Andorka Gál, J.H.
Case Studie Petten, projectplan
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-94.128x
1994

Baak, M.A.X. van
Strom-erosion effects on sea dikes'
TUD afstudeerrapport
oktober 2002

Boer, C.J.H. de
The calibration of the numerical wave model SWAN along the Petten
transect
TUD afstudeerrapport
augustus 1997

Bohnewald, C.
Wave height calculation with special attention on the profile shape at
the Petten and Hondsbossche Seawall
TUD afstudeerrapport
augustus 1997

Dongeren, A.R.; Janssen, T.T.
Analysis of Low Frequency Waves at Petten
WLIDelft Hydraulics, rapport H3775
januari 2001

Endt, M. van
Omzetten data naar Petten 2000 format
Svasek
oktober 2001

Gent, M.R.A. van
Wave run-up and wave overtopping for double peaked wave energy
spectra
WLIDelft Hydraulics / TUD, rapport H3351
januari 1999

Groeneweg, J.; Doorn, N.; Vledder, G.Ph. van; Hurdle, D.
Reliability of SWAN at the Petten Sea Defence
WLIDelft Hydraulics & Alkyon, rapport H4197/A1044
juni 2003

Hakkert, H.
Metingen en meetgegevensverwerking
RIKZ, werkdocument
februari 1995

Hart, R. 't
Golfoploop metingen Pettemer meetraai
DWW, rapport DWW-2002-118
november 2002

Hart, R. 't
Ontwerp kruinhoogte meetopstelling en vormgeving overslagbak
DWW, rapport DWW-2002-134
december 2002

Holterman, S.R.
Golfoploop op dijken met ondiep voorland
TUD, afstudeerrapport TUD-CT
januari 1998

Holterman, S.R.
Golfoploophoogteberekeningen Pettemer zeewering
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-98.112x
mei 1998

Hordijk, D.
Rapportage veldmetingen Pettemer Zeewering Stormseizoen 2001-
2002
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-2003.101x
februari 2003

Hordijk, D.
Rapportage veldmetingen Pettemer Zeewering
Stormseizoen 2002-2003
RIKZ, rapport RIKZ/2003.034
juli 2003

Janssen, A.
Golfoverslag Petten
Directie Noord-Holland
april 2002

Jacobse, J.J.
Validatie van het SWAN-model voor de Pettemer zeewering
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-2000.150x
december 2000
Jacobse, J.J.; Kieftenburg, A.T.M.M.

Betrouwbaarheid SWAN
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-2002.116x
november 2002

Kamsteeg, A.T.
Repairing Capawire timeseries with Pressure Sensor Data
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-97.108x
1997

Kruif, A.C. de
Stormdata of the Petten Field Site 1995-2000
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-2000.34x
september 2000

Ruessink, B.G.; Rijks, D.C.
Onderzoek naar lange golven in meetgegevens Petten
Universiteit Utrecht
september 1998

Spelt, B.
Pettemer Meetraai 2003-Plan van Aanpak
Rijkswaterstaat Informatiedienst Water, rapport 9705998
2003

Tönis, I.E.; Veen, E.J.
Onderzoek naar een minimumprofiel bij Petten
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-2001.113x
mei 2001

Verburgh, P.; Sijben, T.G.M.; Cox, H.
Evaluatie van radarniveau- en golfhoogte-meters
RIKZ, werkdocument RIKZ/IT-98.040
november 1998

Vink, A.S.
Transformation of wave spectra across the surf zone
TUD afstudeerrapport
juni 2001

Vogelzang, J; Jordans, R
Golfmetingen met de mobiel radarcombinatie
Meetkundige Dienst, rapport MD-GAR-2001-14
februari 2001

Voortman, H.G.; Vriezolk G.A.M.
Hoge veiligheid voor lage landen, randvoorwaarden ontwerp Pettemer
Zeewering
RIKZ, werkdocument RIKZ/OS-94.138x
juni 1994

Wolf, F.C.J.

Analyse Meetseries Pettemer Meetraai
Directie Noord-Holland
1998

Bijlage A Foto's meetopstelling en instrumenten

.....

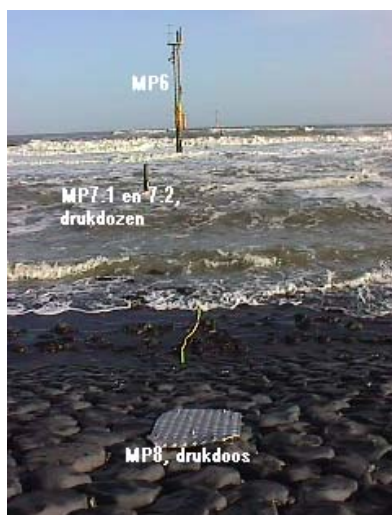
Lijst met foto's

- Foto 1: MP1 en MP2 directional waverider
- Foto 2: MP6, MP7 en MP8 druksensoren
- Foto 3: MP9, oploopbaak met links daarvan druksensor MP11
- Foto 4: MP6 radar niveaumeter
- Foto 5: MP17 aquadopp stroommeter
- Foto 6: MP10 t/m 12 druksensoren, MP19 videocamera's
- Foto 7: MP19 videocamera's
- Foto 8: MP14 videocamera
- Foto 9: Meetopstellingen voor de dijk (achtereenvolgens MP6, MP17, MP16 en MP3)
- Foto 10: MP6 capacitieve draad bevestigd aan meetpaal
- Foto 11: MP6 ASMIV bodemliggingsmeter
- Foto 12: MP6 ASMIV bodemliggingsmeter (sensoren)

.....
Foto 1 MP1 en MP2
directional waverider



.....
Foto 2 MP6, MP7 en MP8
druksensoren



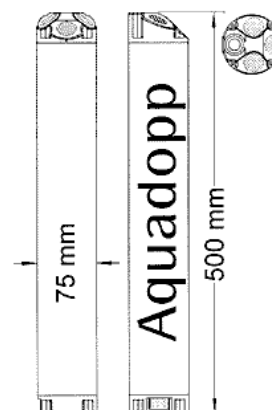
.....
Foto 3 MP9 oploopbaak met
 links daarvan
 druksensor (MP11)



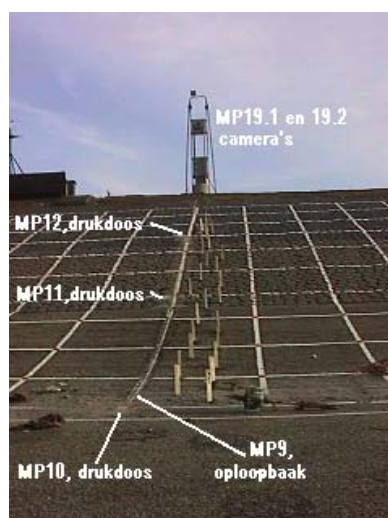
.....
Foto 4 MP6 radar
 niveaumeter



.....
Foto 5 MP17 aquadopp
stroommeter



.....
Foto 6 MP10 t/m 12
druksensoren,
MP19 videocamera's



.....
Foto 7 MP19 videocamera's



.....
Foto 8 MP14 videocamera



.....
Foto 9 Meetopstellingen
voor de dijk
(achtereenvolgens
MP6, MP17, MP16
en MP3)



.....
Foto 10 MP6 capacatieve
draad bevestigd aan
meetpaal



.....
Foto 11 MP6 ASMIV
bodempluggingsmeter



.....
Foto 12 MP6 ASMIV
bodempluggingsmeter
(sensoren)



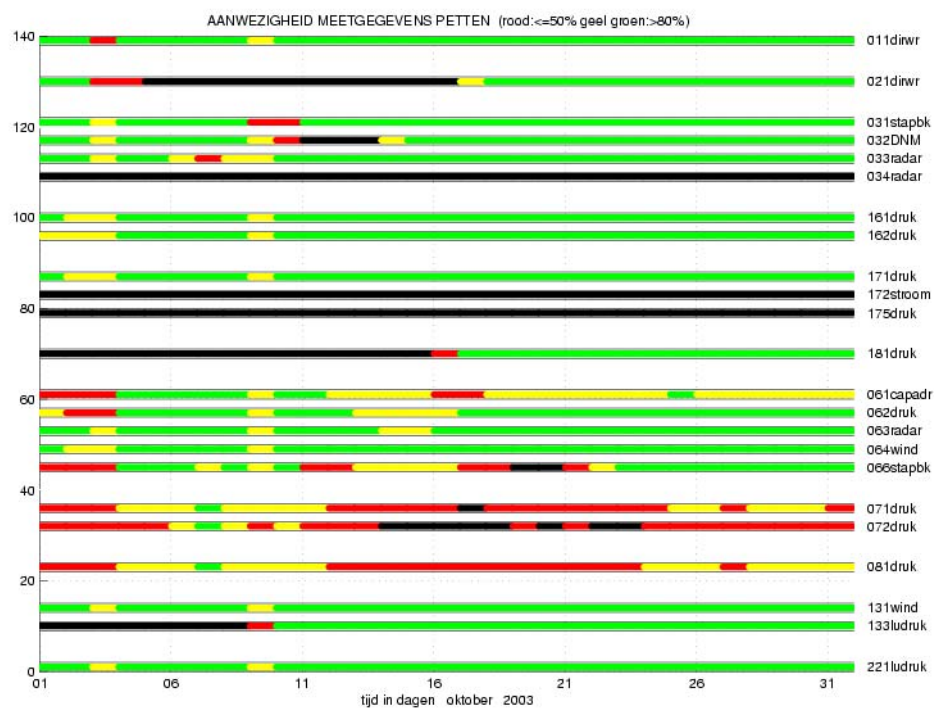
Bijlage B Aanwezigheid meetgegevens stormseizoen 2003-2004

.....

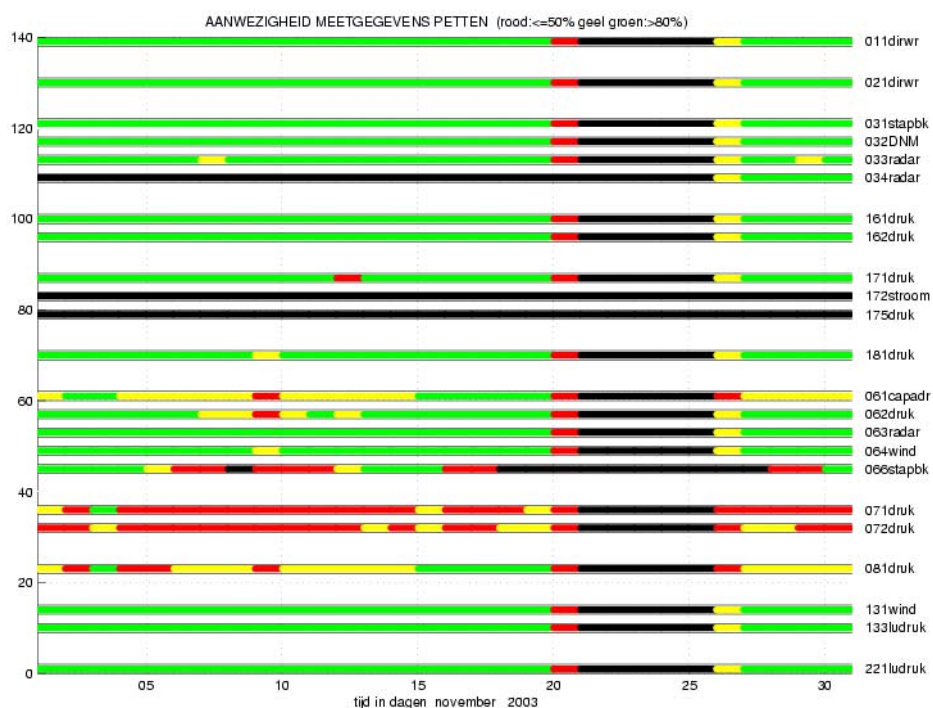
Lijst met figuren

- Figuur B.1 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens oktober 2003
- Figuur B.2 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens november 2003
- Figuur B.3 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens december 2003
- Figuur B.4 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens januari 2004
- Figuur B.5 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens februari 2004
- Figuur B.6 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens maart 2004
- Figuur B.7 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens april 2004

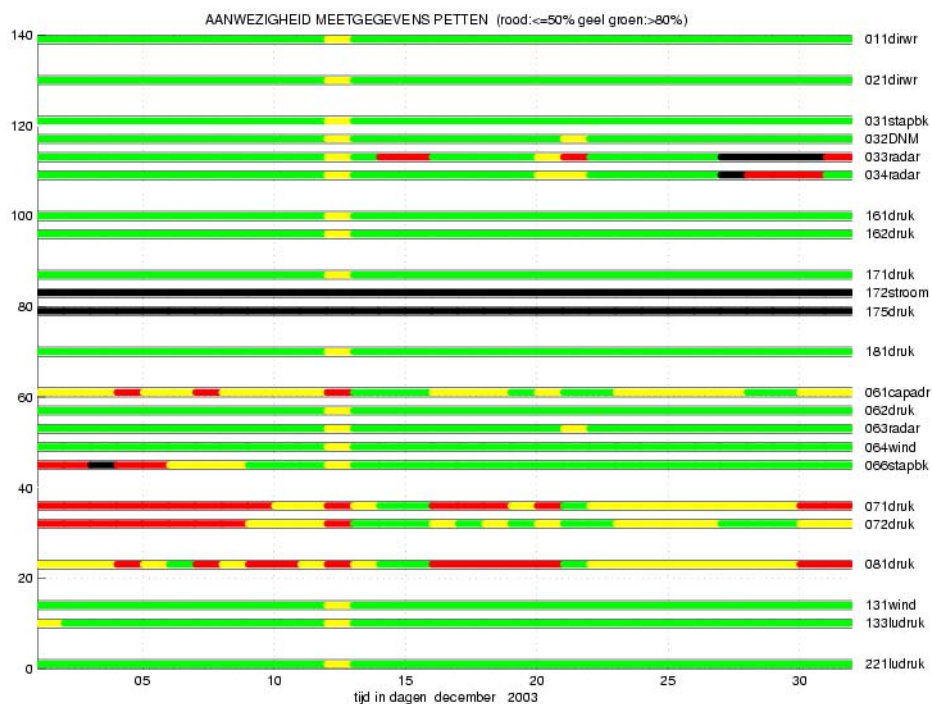
.....
Figuur B.1 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens oktober 2003



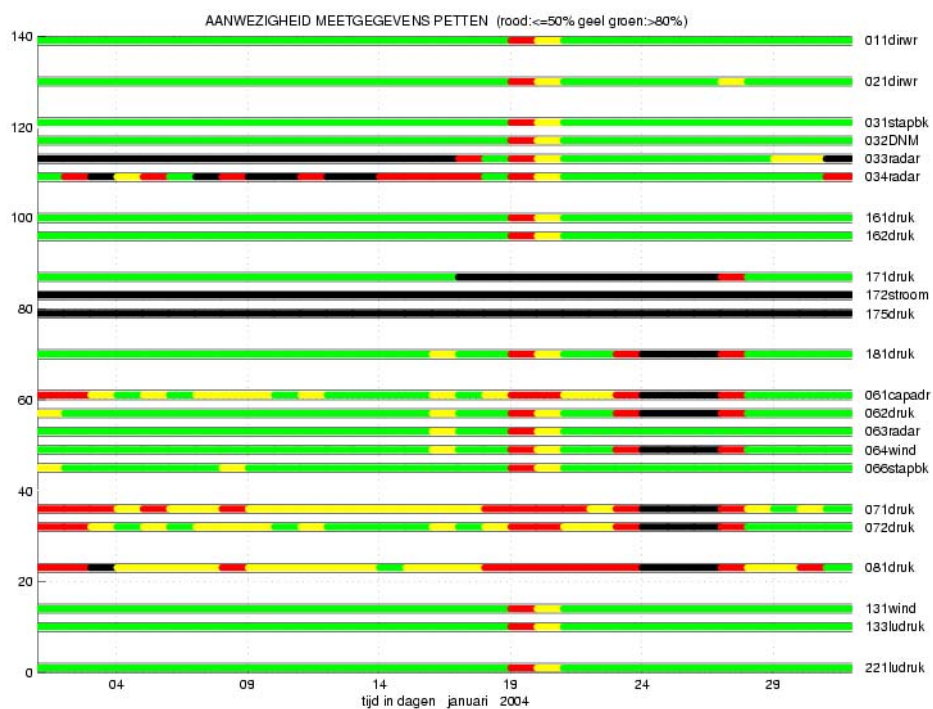
.....
Figuur B.2 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens november 2003



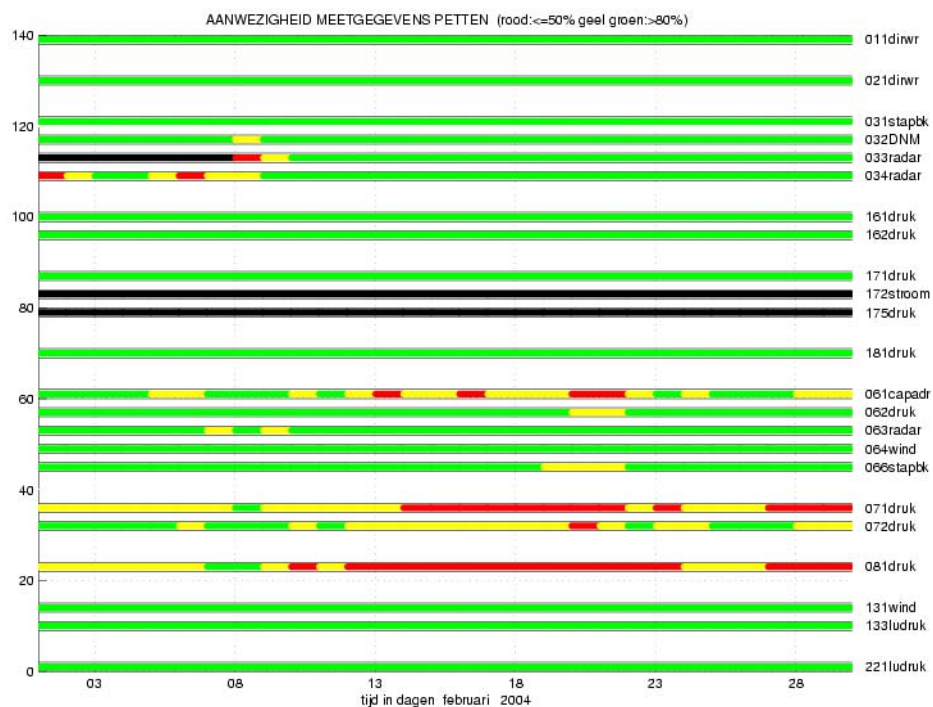
Figuur B.3 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens december 2003



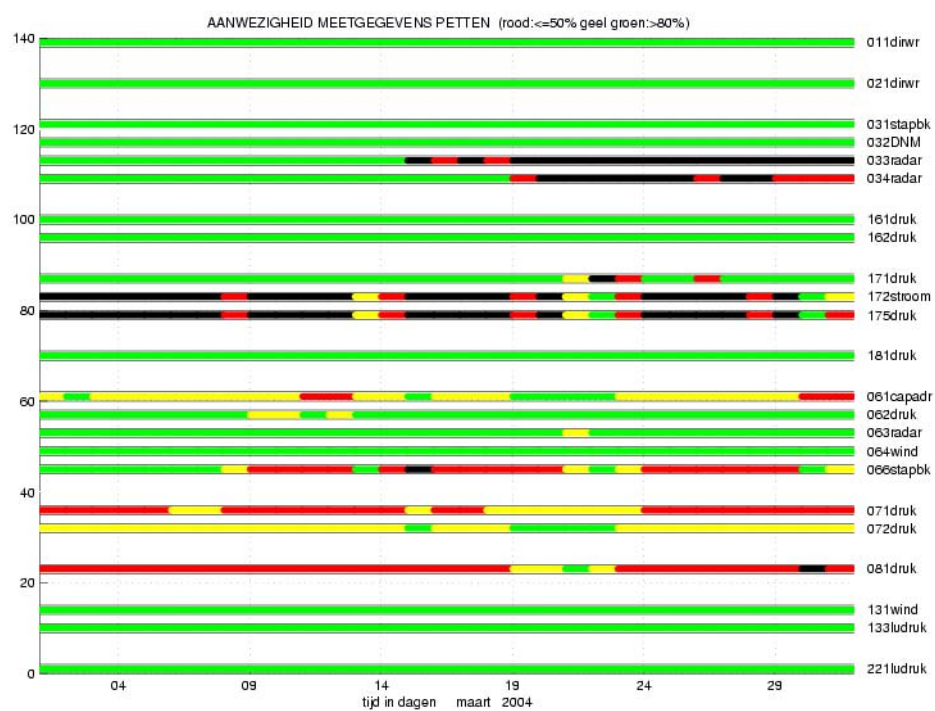
Figuur B.4 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens januari 2004



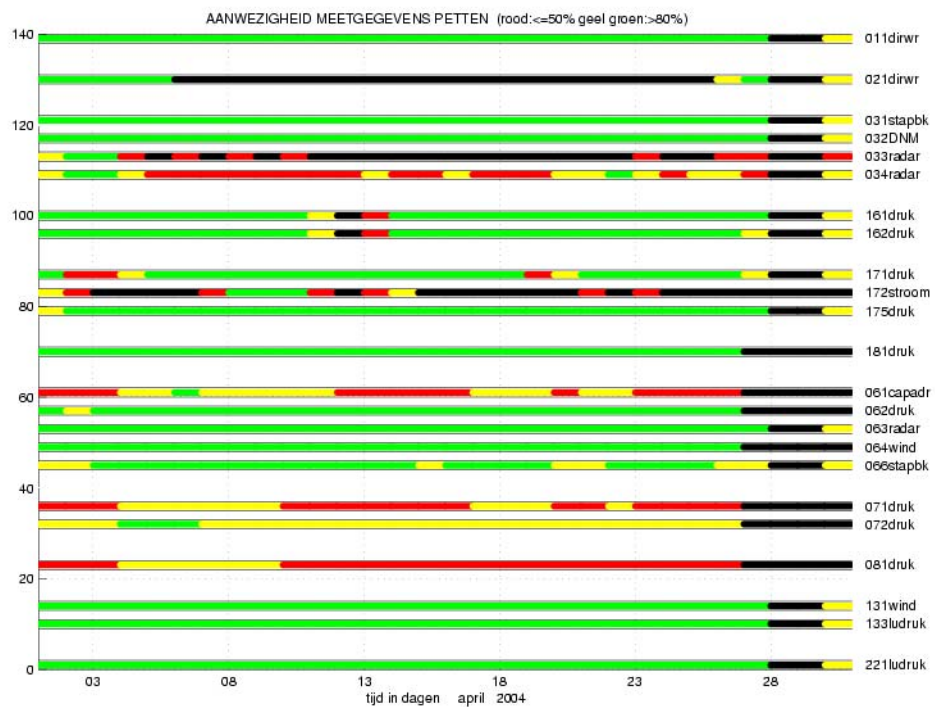
.....
Figuur B.5 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens februari 2004



.....
Figuur B.6 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens maart 2004



Figuur B.7 Balkenschema aanwezigheid meetgegevens april 2004



Bijlage C Overschrijdingskrommen H_{m0} en T_{m-10} stormseizoen 2003-2004

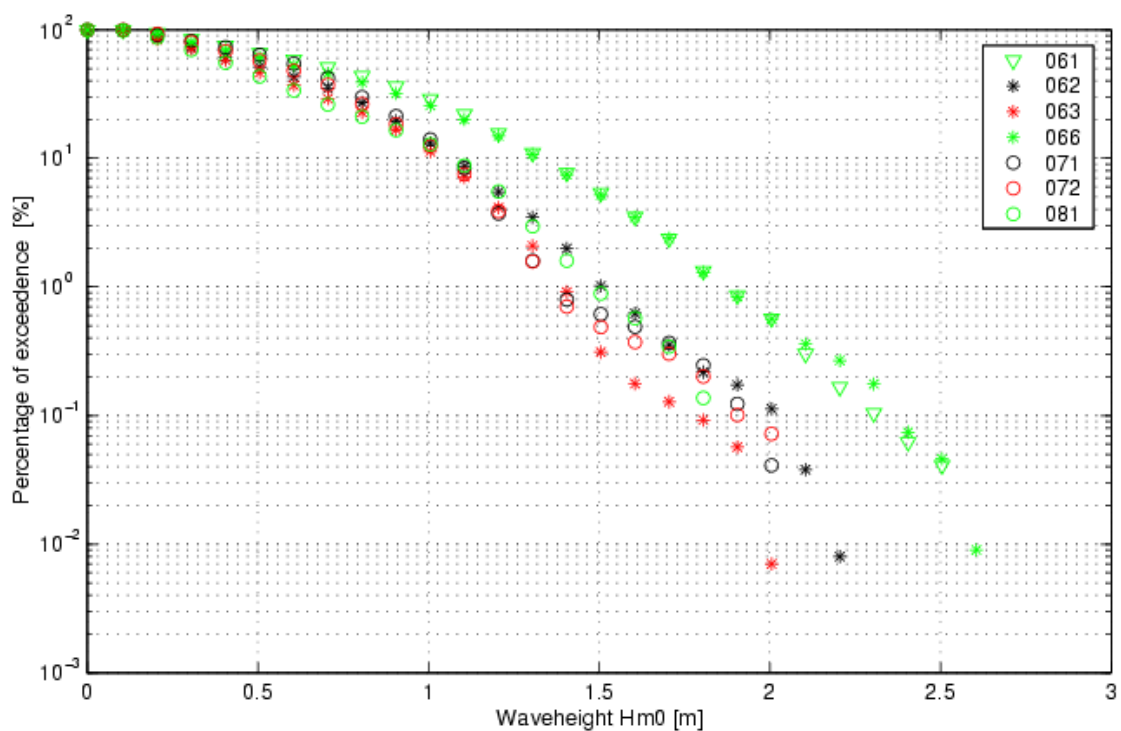
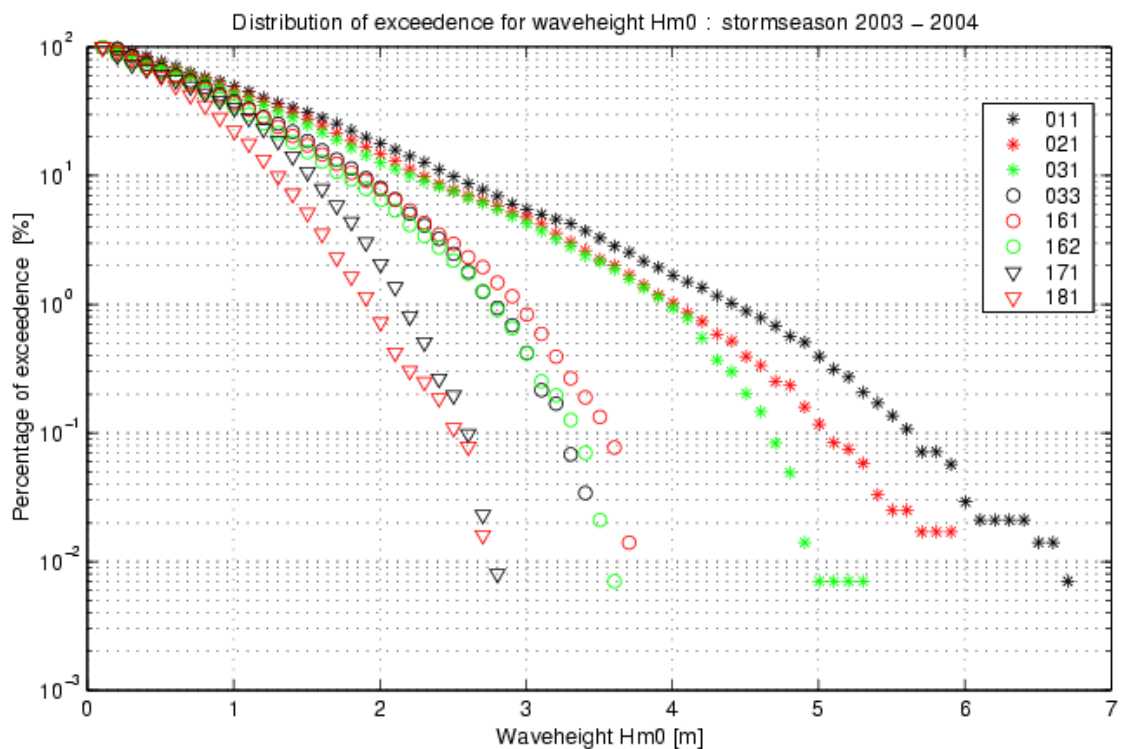
.....

Lijst met figuren

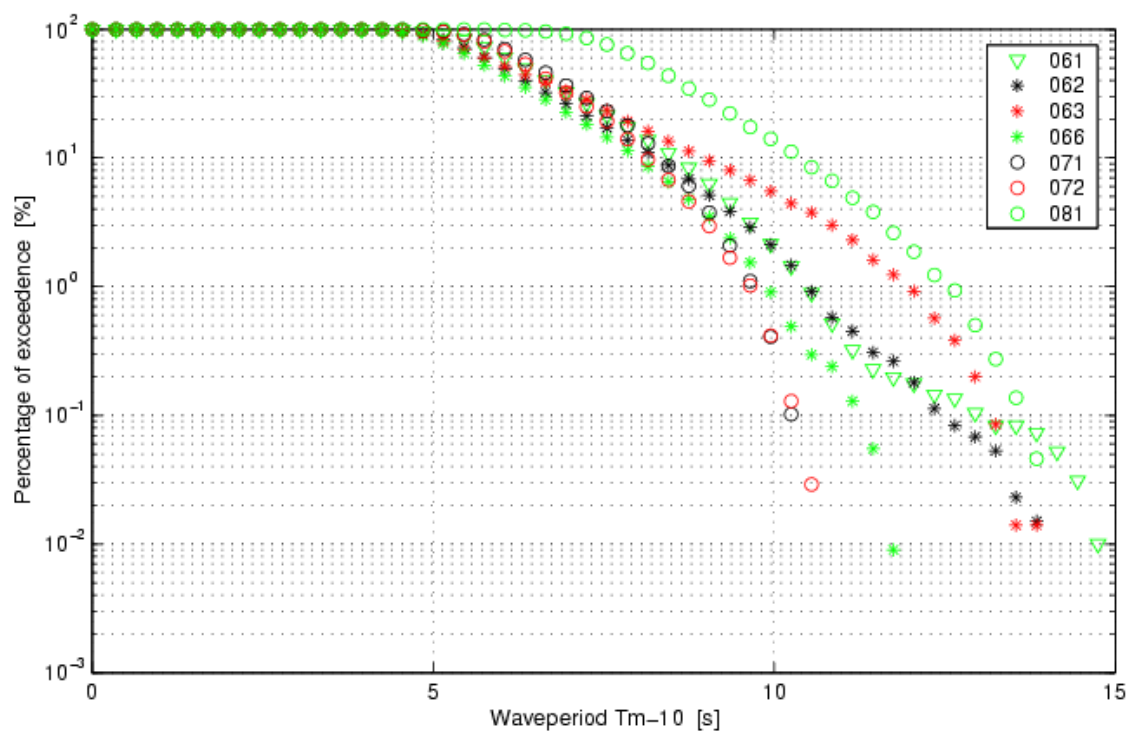
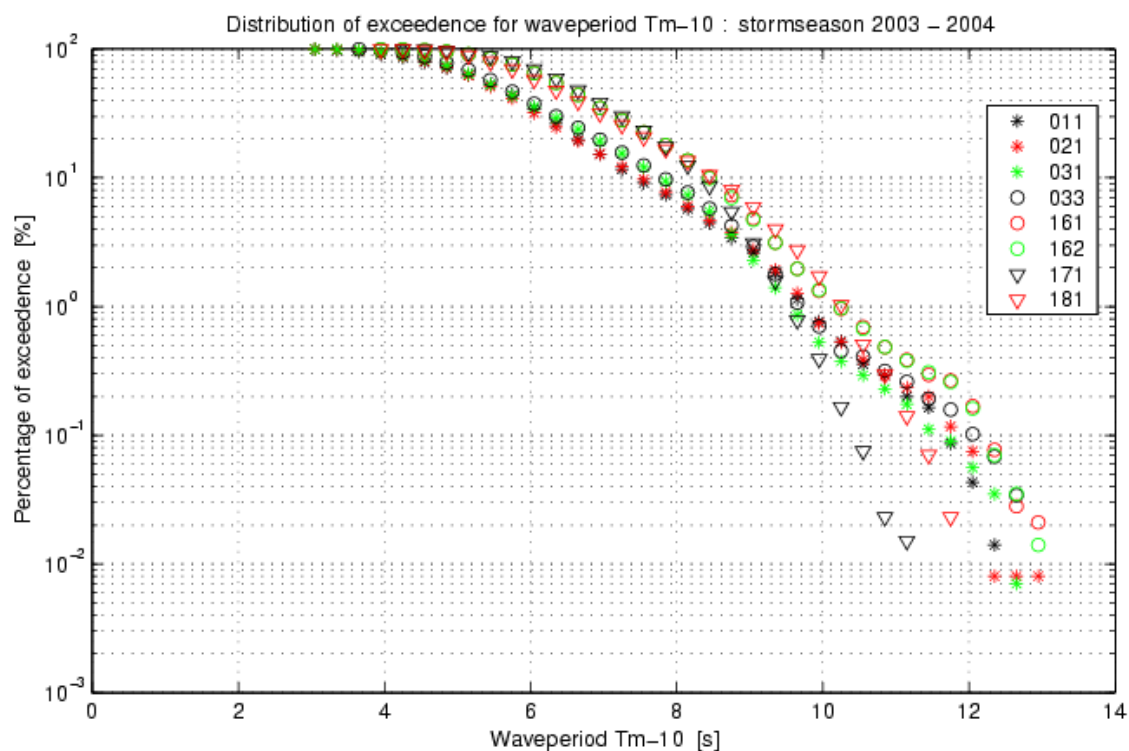
Figuur C.1 Overschrijdingskrommen H_{m0}

Figuur C.2 Overschrijdingskrommen T_{m-10}

.....
Figuur C.1 Overschrijdings-kromme H_{m0}

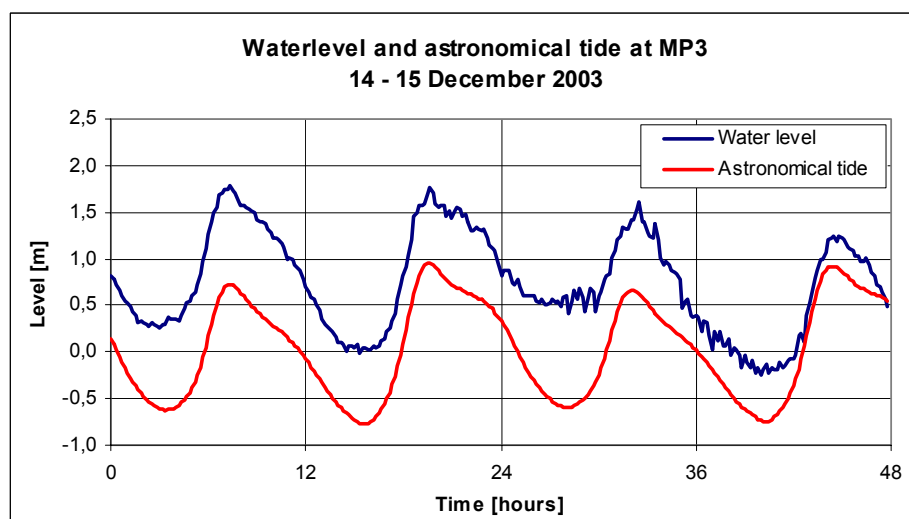
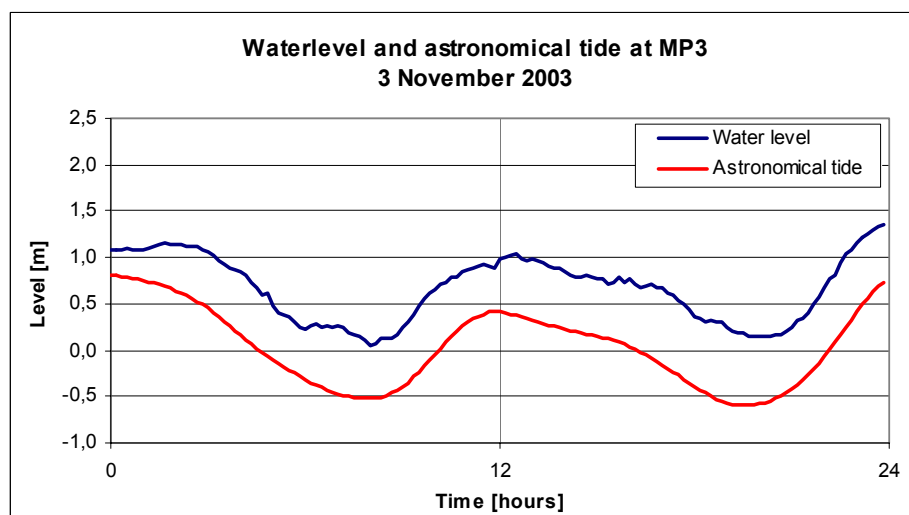
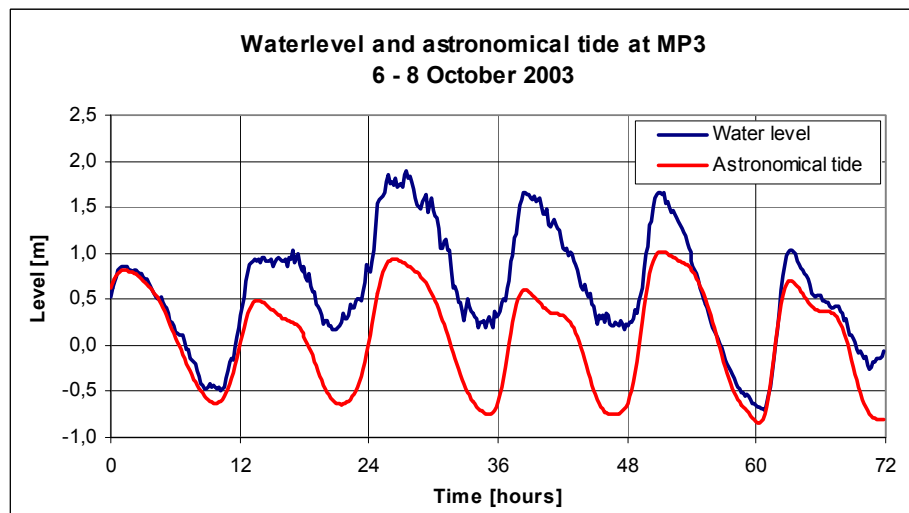


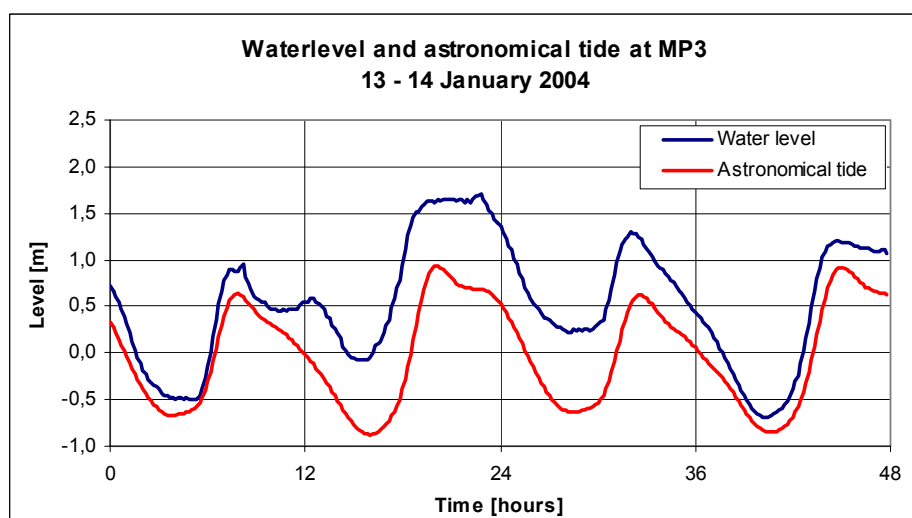
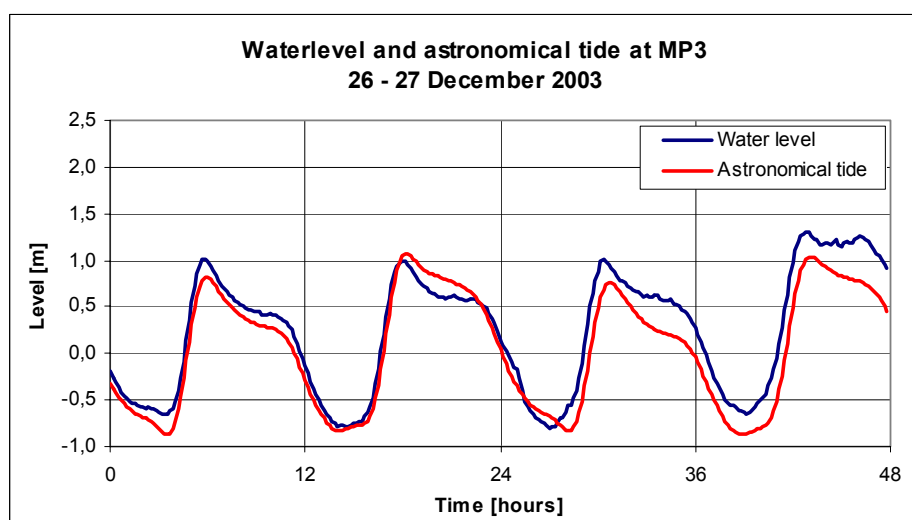
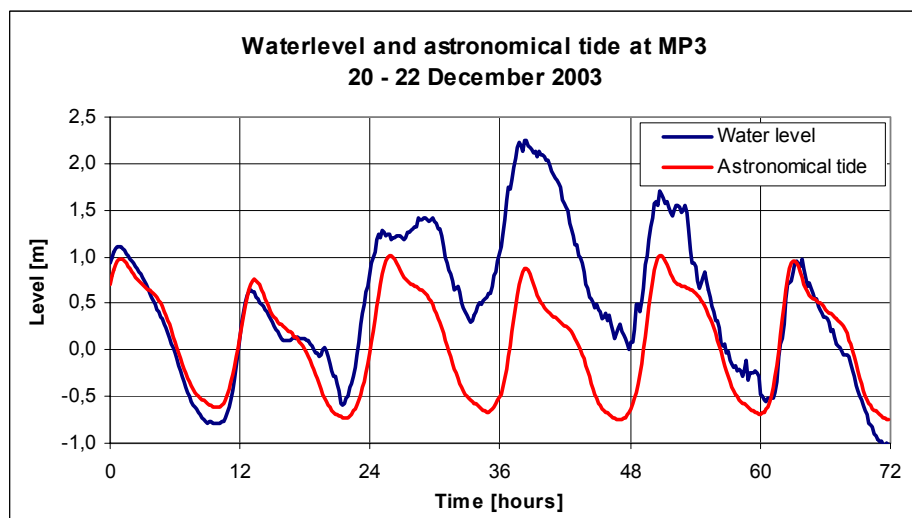
.....
Figuur C.2 Overschrijdings-kromme Tm-10

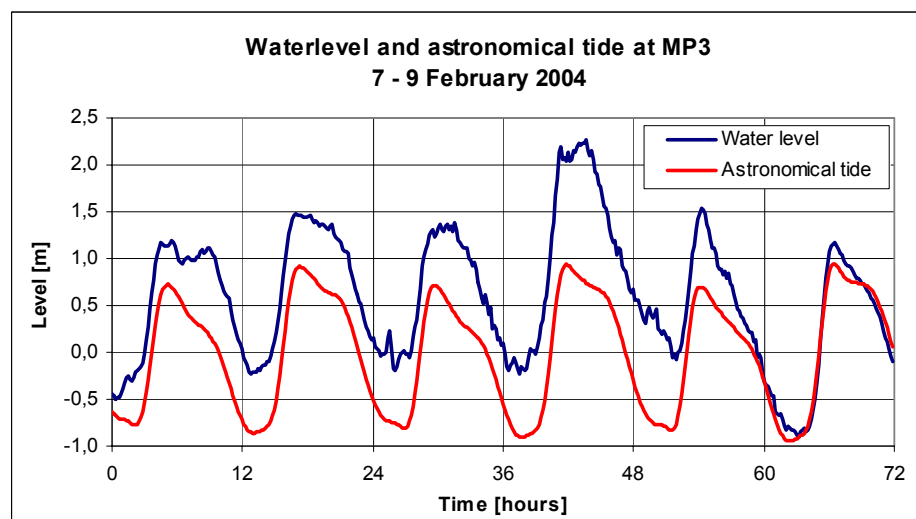
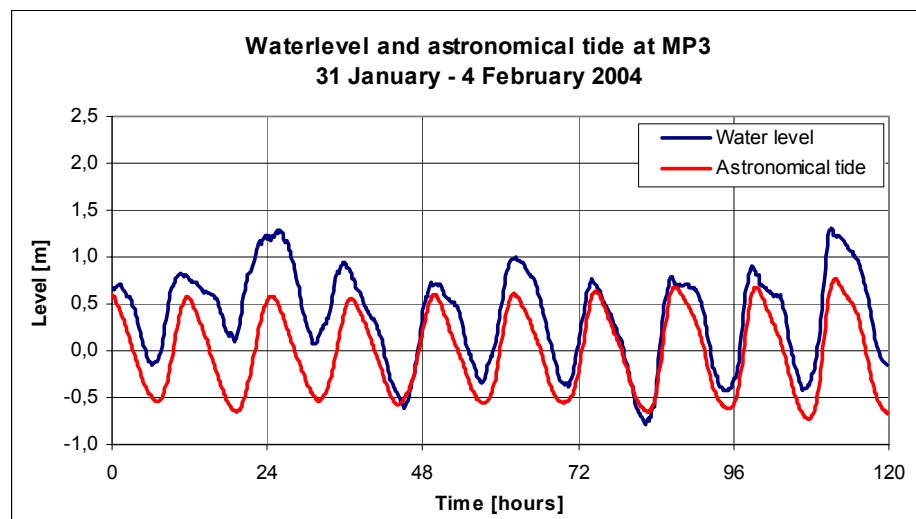
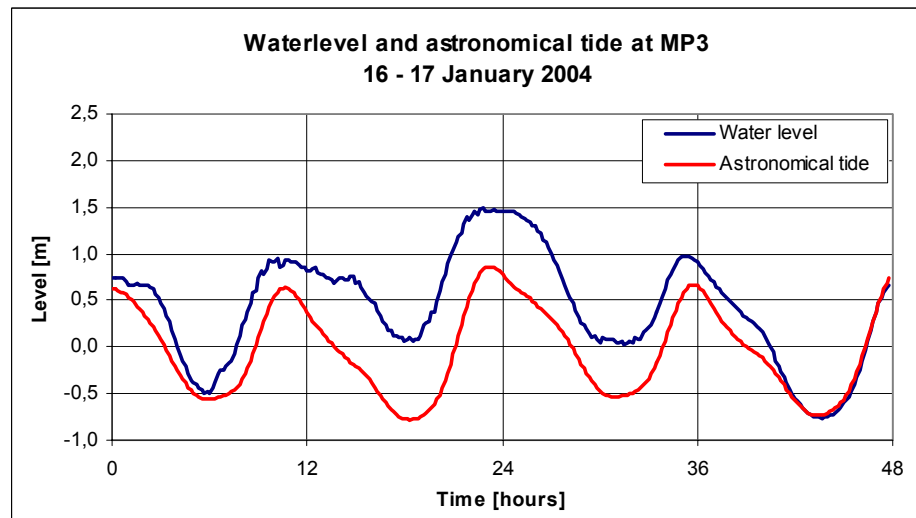


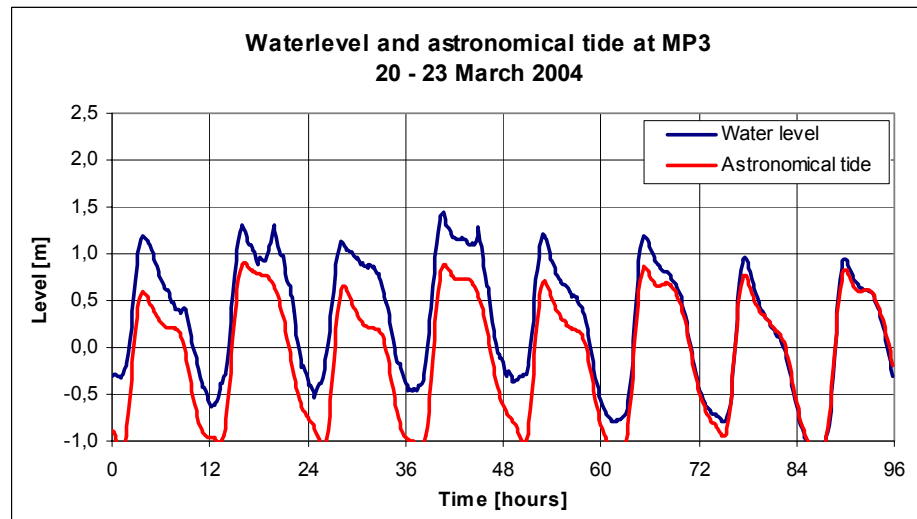
Bijlage D

Waterstanden en astronomisch getij tijdens stormperiodes









Bijlage E Stormperiode 20-22 december 2003

.....

Lijst met figuren

Figuur E.1 Windrichting en windsnelheid

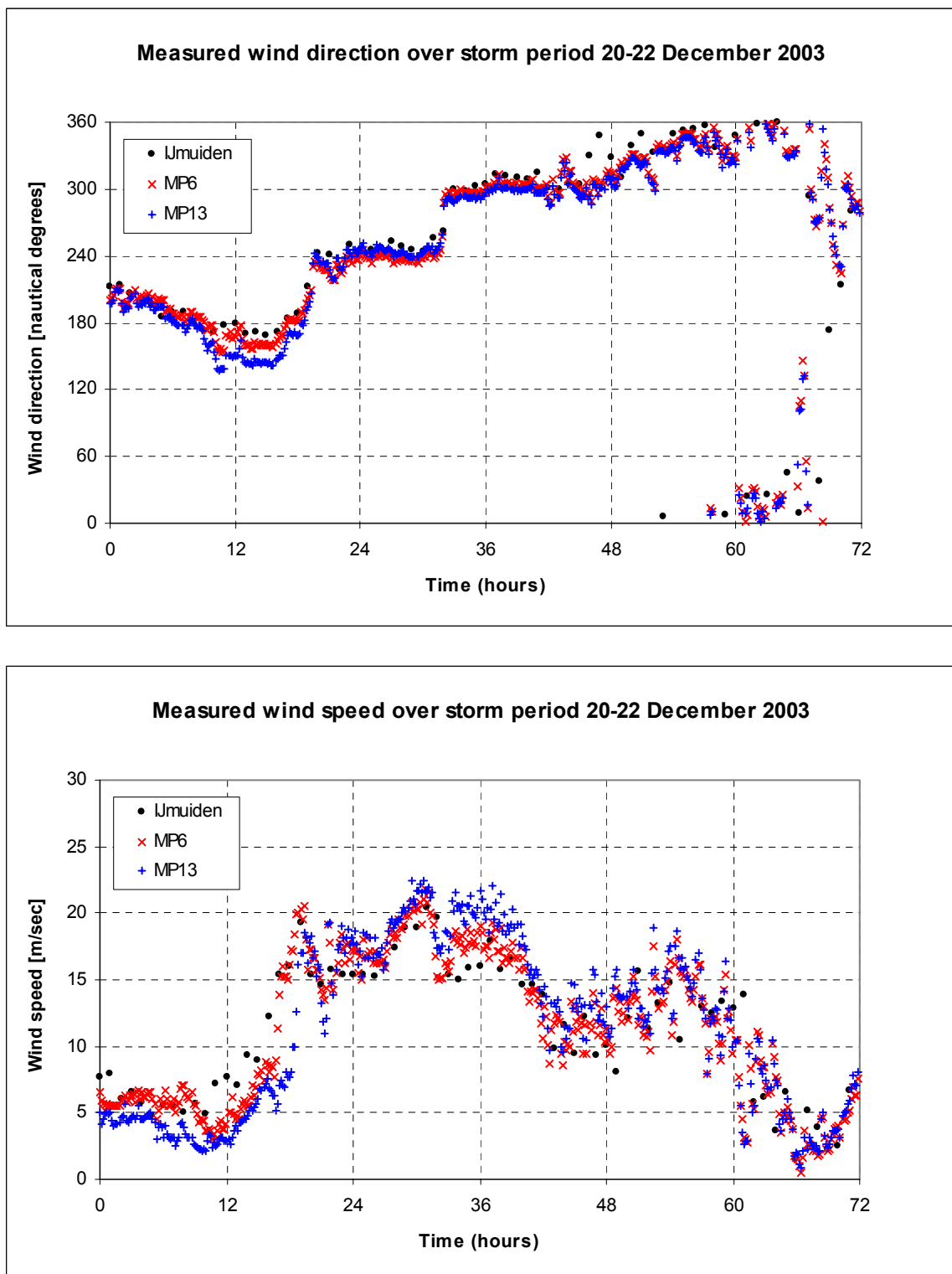
Figuur E.2 Golfspectra voor MP1

Figuur E.3 Golfspectra voor de piek van de storm (21 december 14:00u)

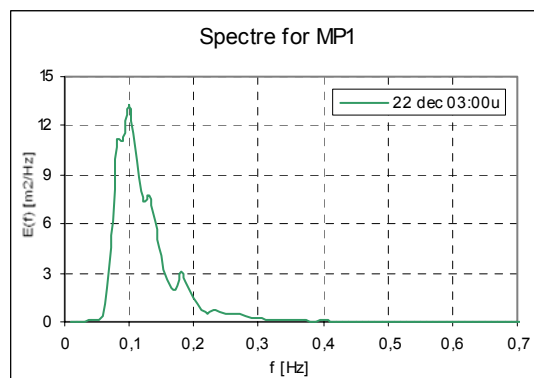
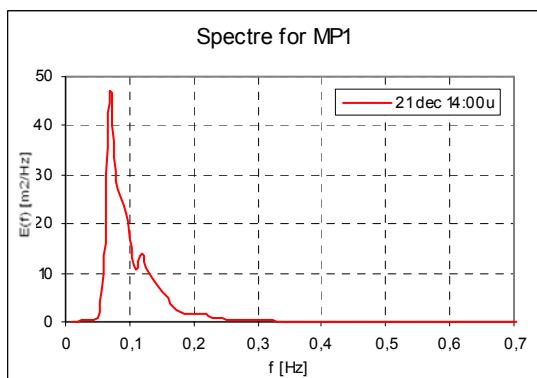
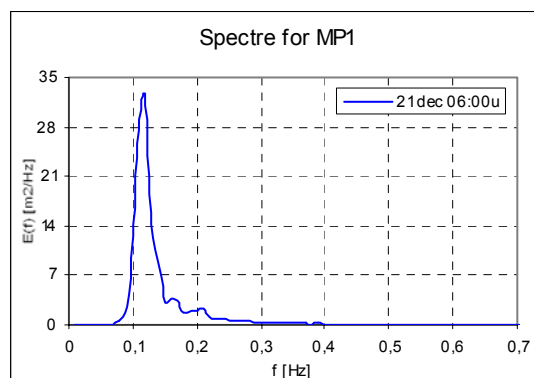
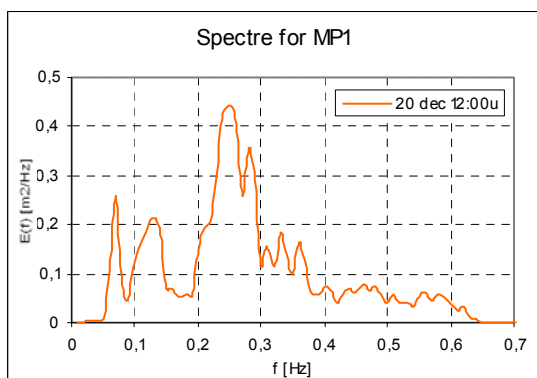
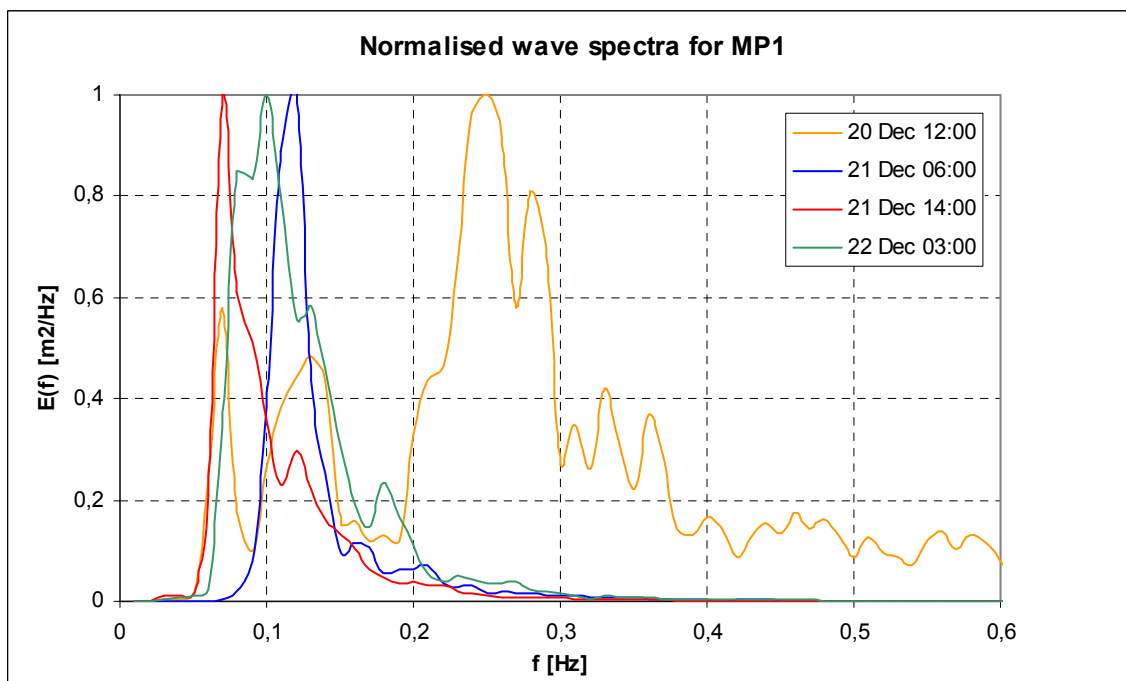
Figuur E.4 Verloop golfparameters H_{m0} , T_{m-10} en T_{m02}

Figuur E.5 Gemeten golfoploop

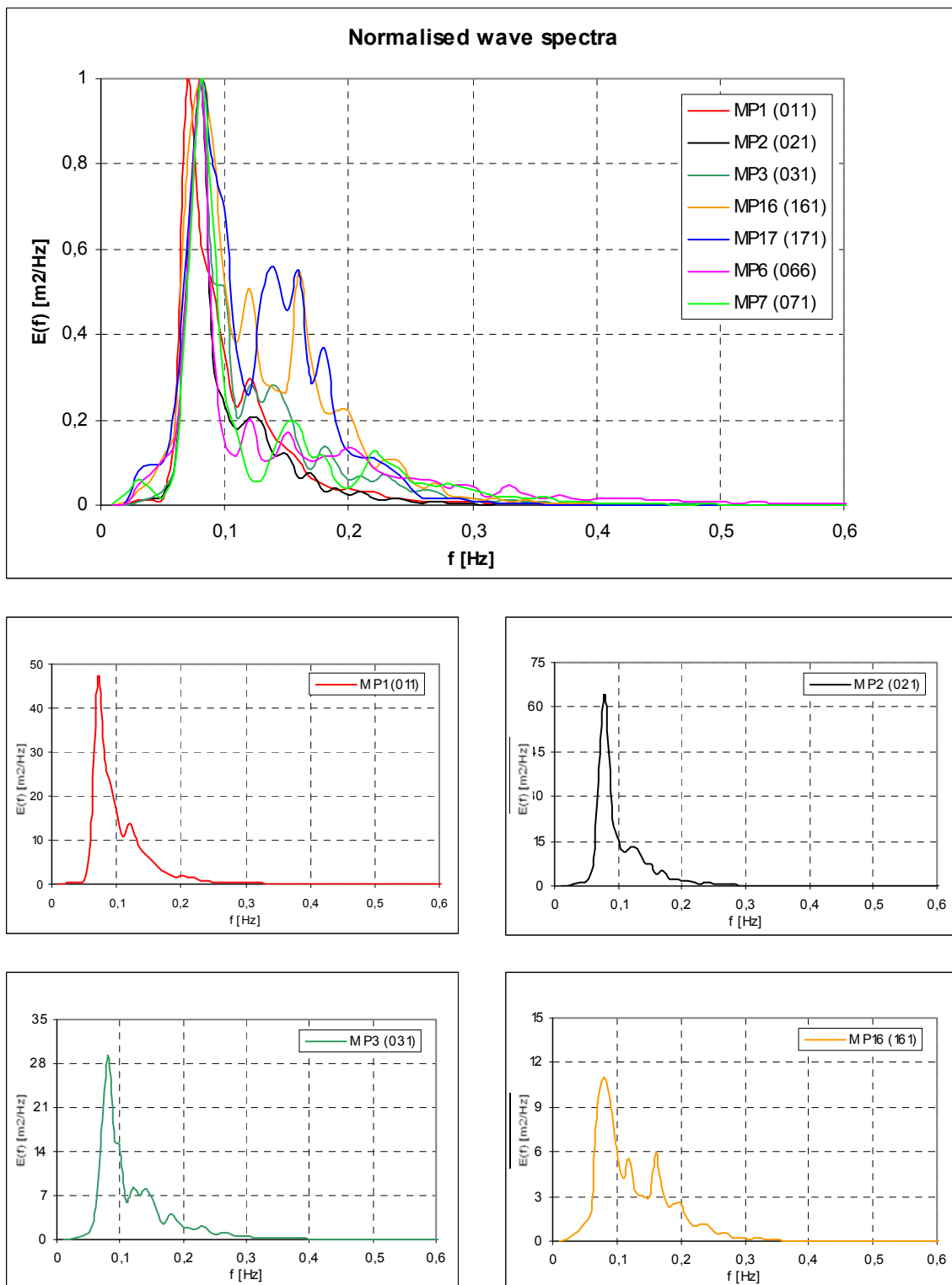
.....
Figuur E.1 Windrichting en windsnelheid

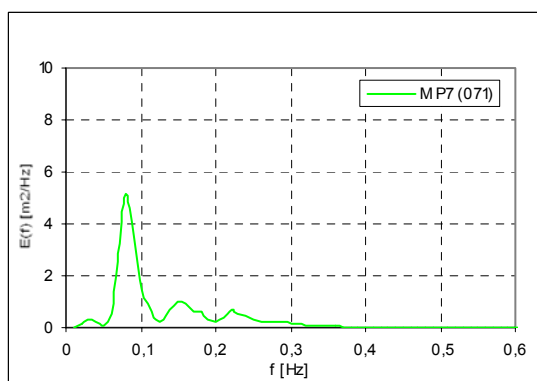
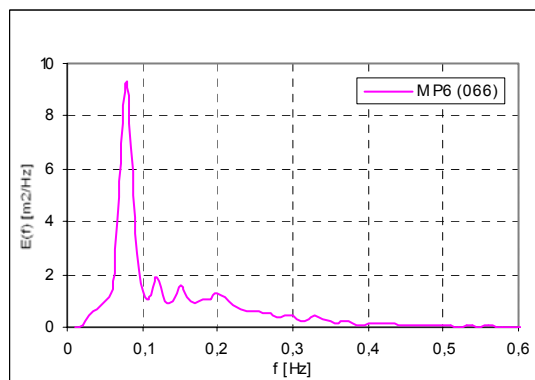
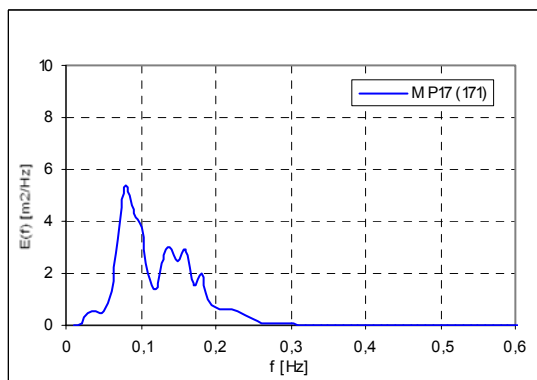


Figuur E.2 Golfspectra voor MP1

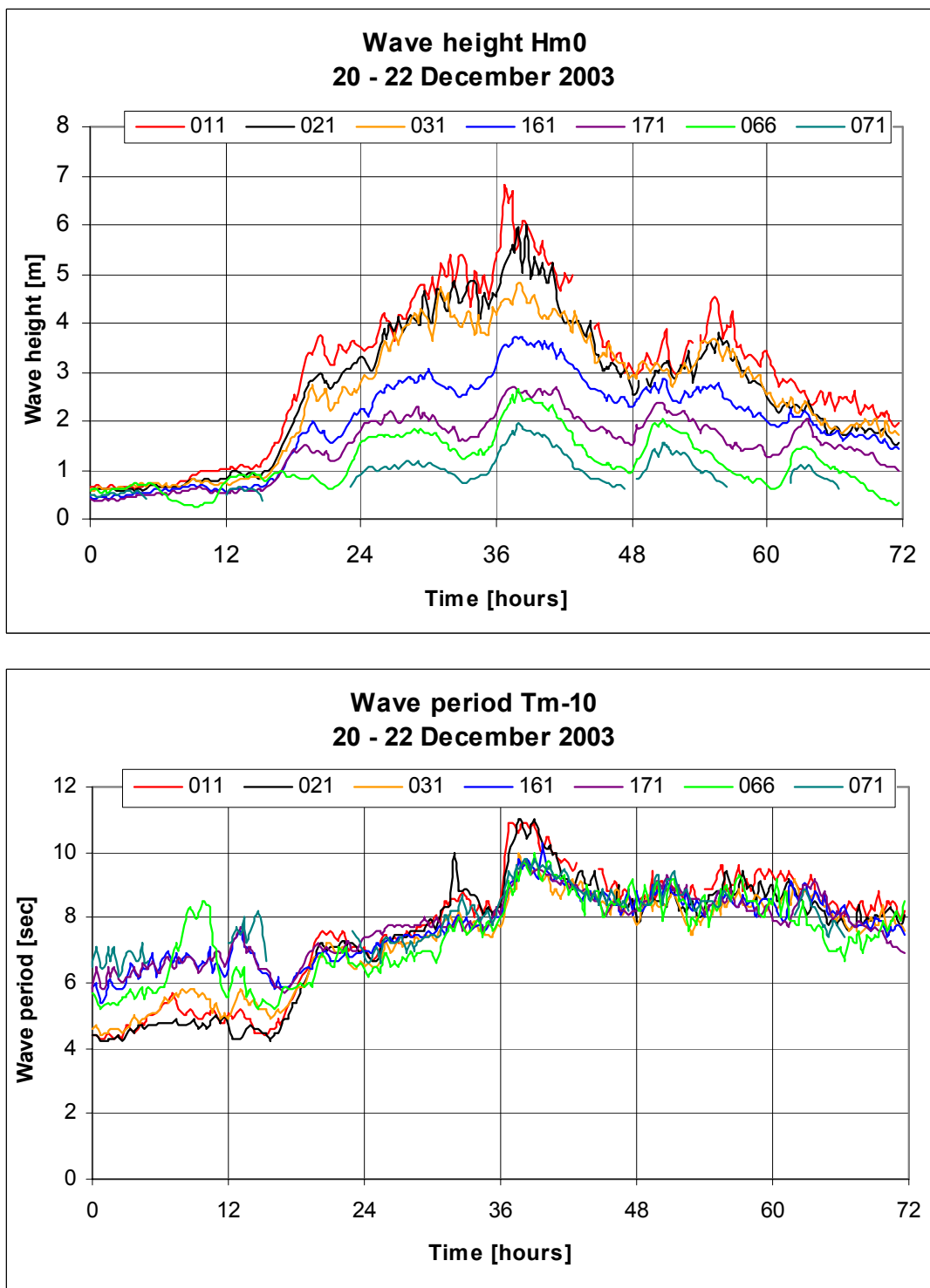


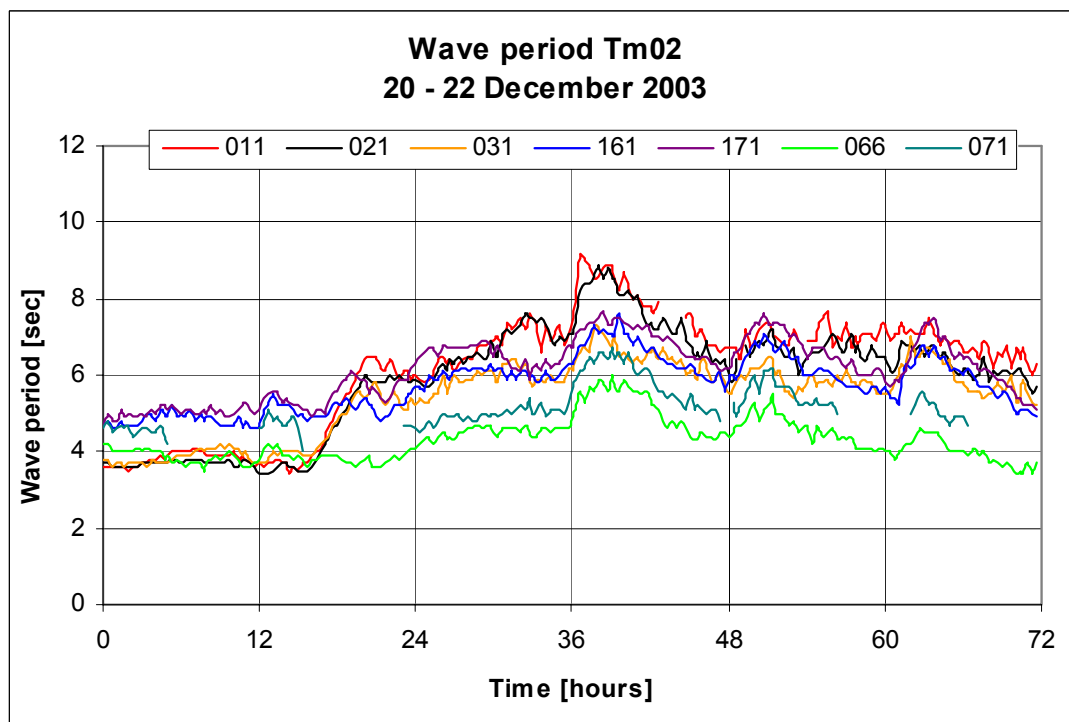
.....
Figuur E.3 Golfspectra voor de piek van de storm (21 december 14:00u)



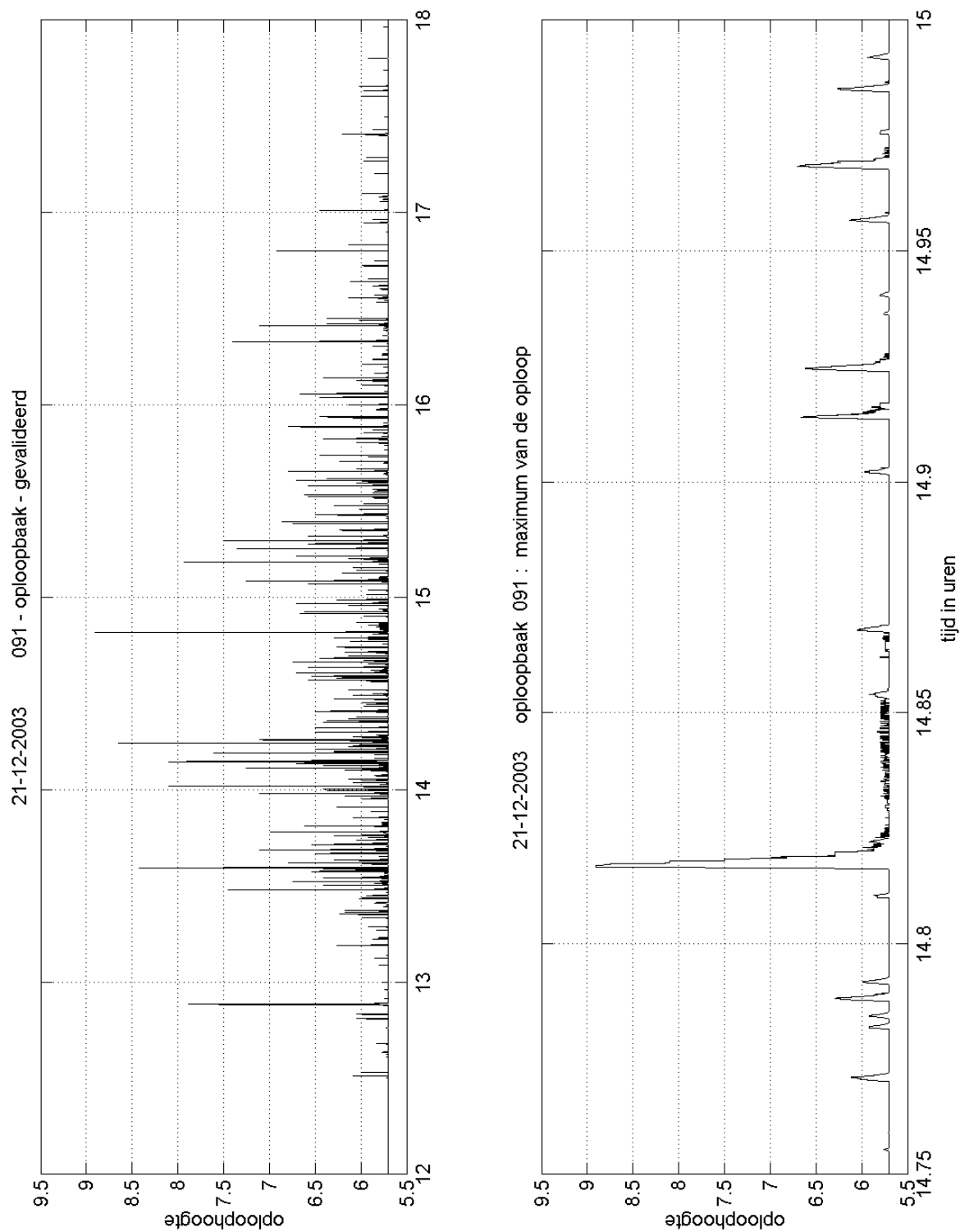


.....
Figuur E.4 Verloop golfparameters H_{m0} , T_{m-10} en T_{m02}





.....
Figuur E.5 Gemeten golfoploop



Bijlage F Stormperiode 7-9 februari 2004

.....

Lijst met figuren

Figuur F.1 Windrichting en windsnelheid

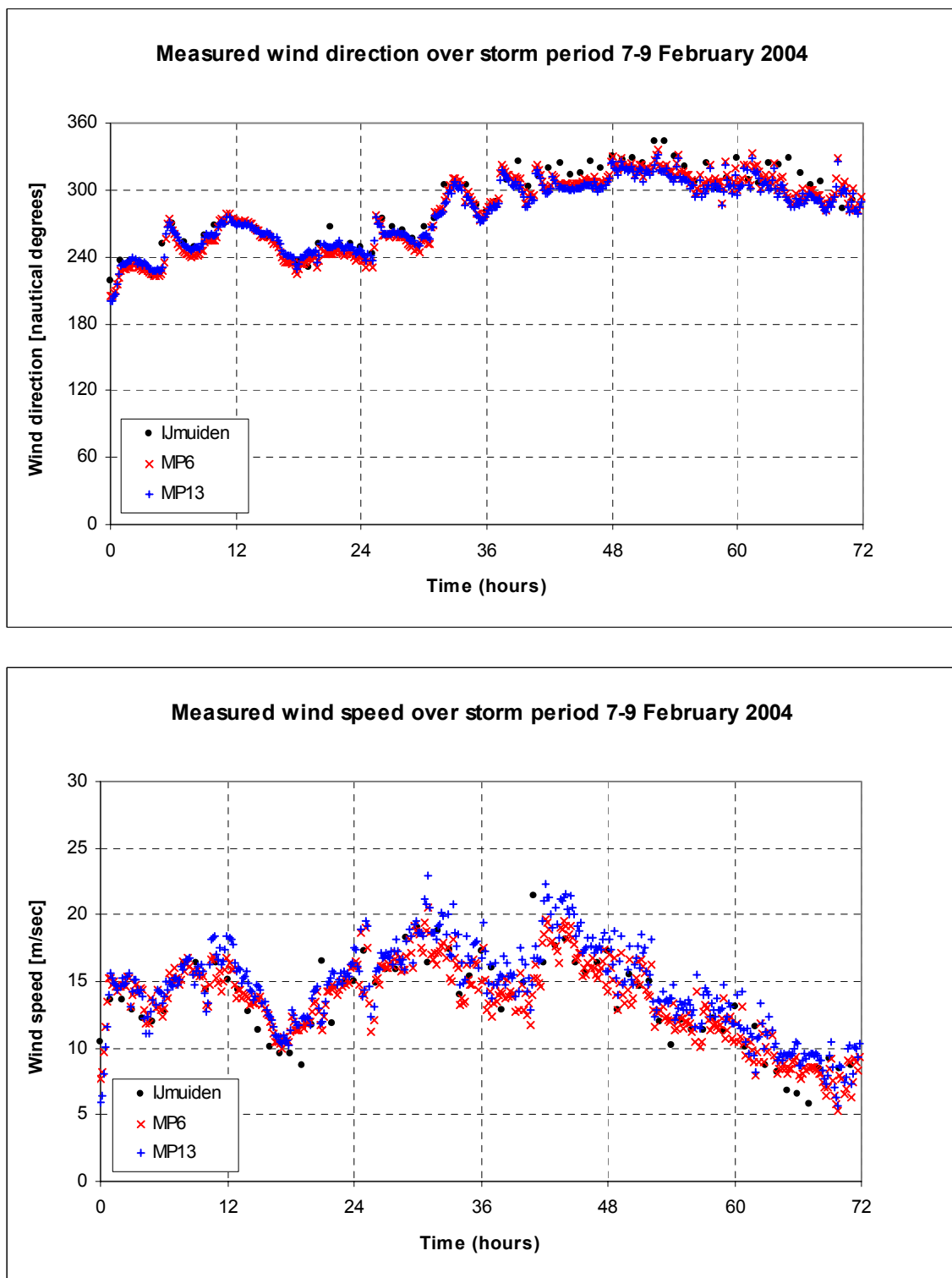
Figuur F.2 Golfspectra voor MP1

Figuur F.3 Golfspectra voor de piek van de storm (7 februari 20:00u)

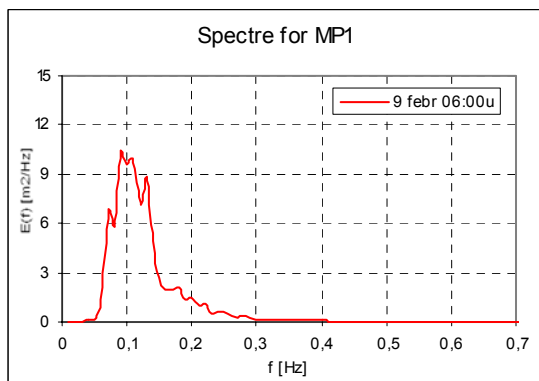
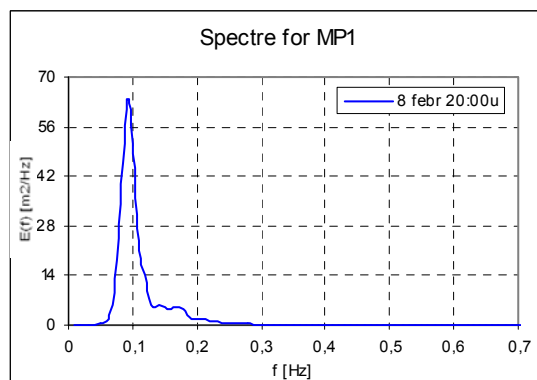
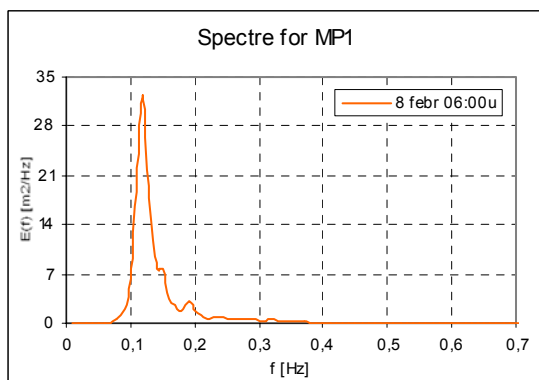
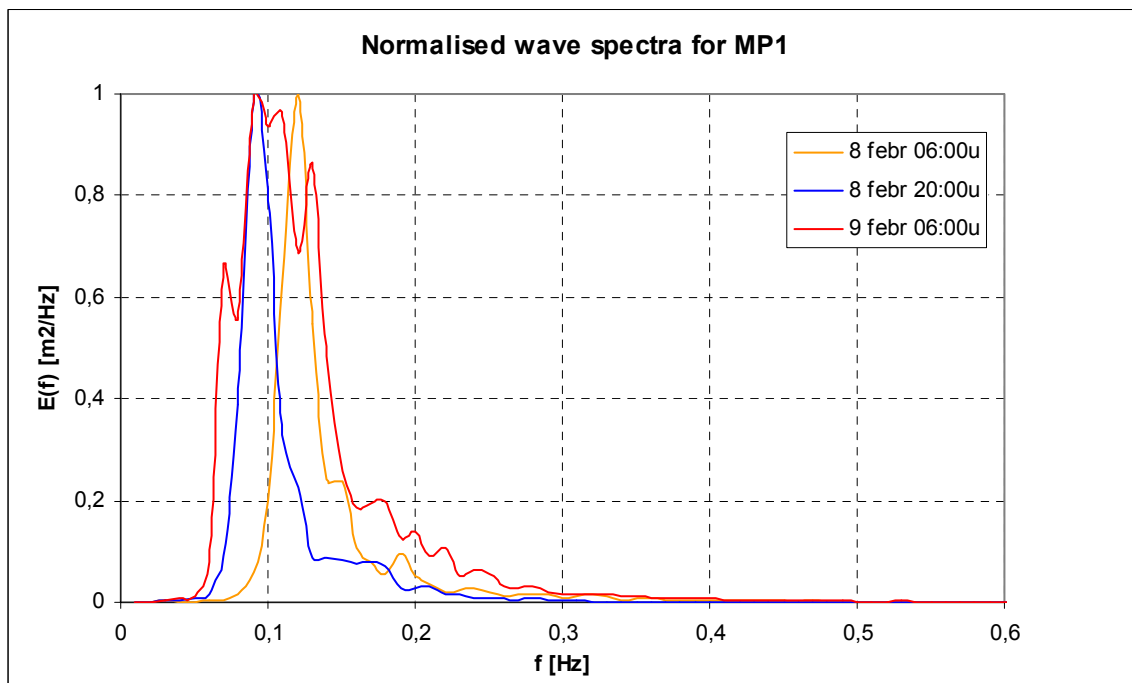
Figuur F.4 Verloop golfparameters H_{m0} , T_{m-10} en T_{m02}

Figuur F.5 Gemeten golfoploop

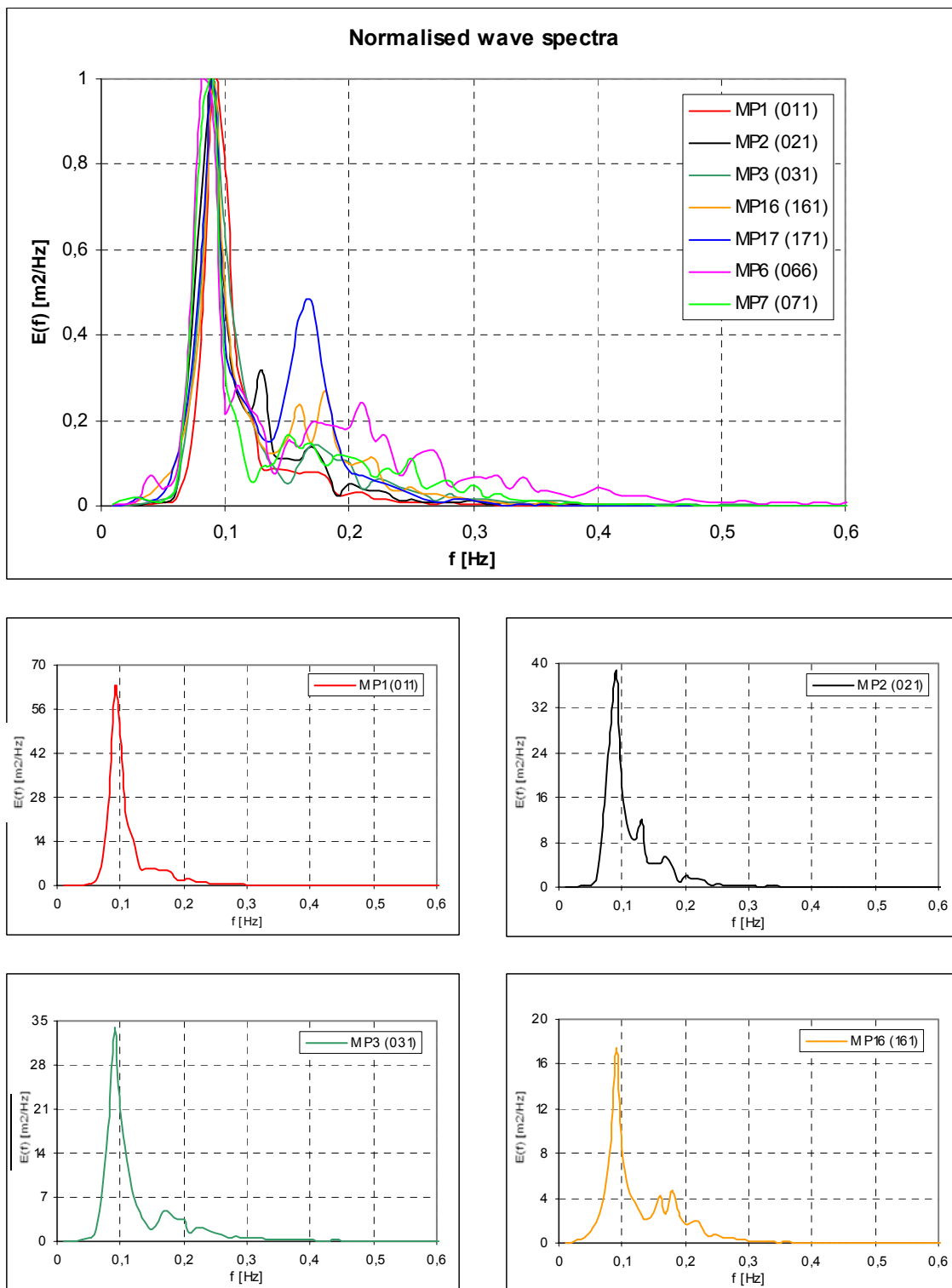
.....
Figuur F.1 Windrichting en windsnelheid

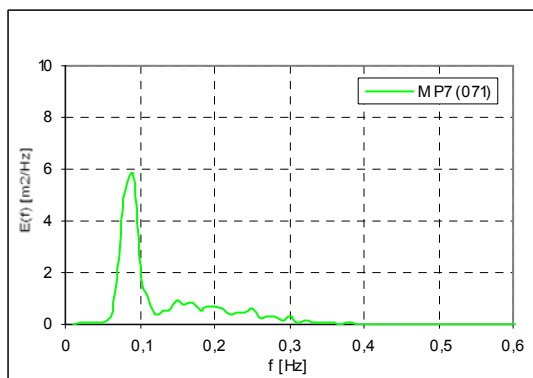
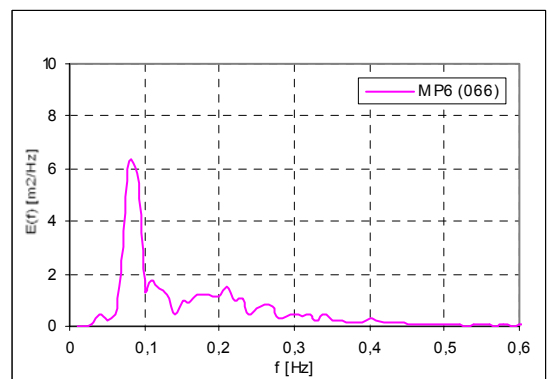
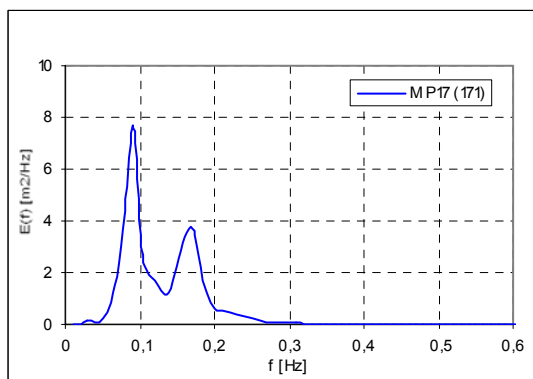


.....
Figuur F.2 Golfspectra voor MP1

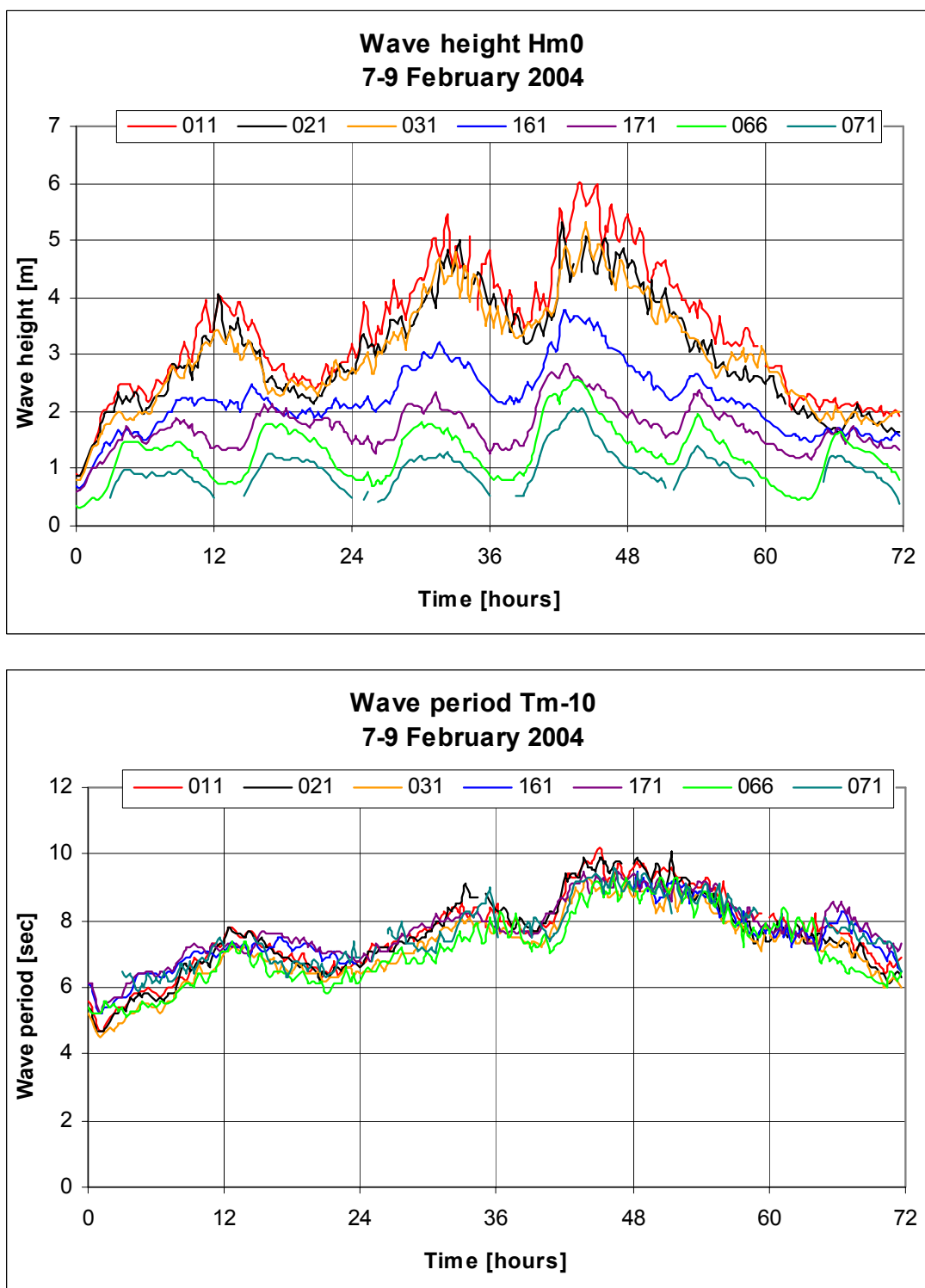


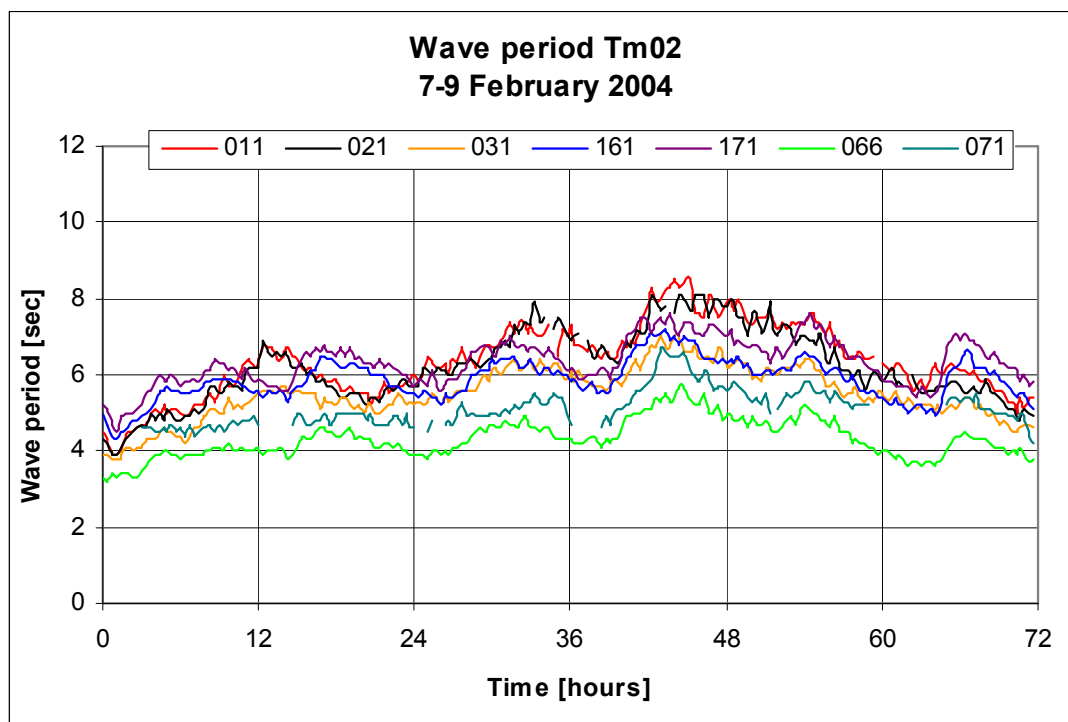
.....
Figuur F.3 Golfspectra voor de piek van de storm (8 februari 20:00u)



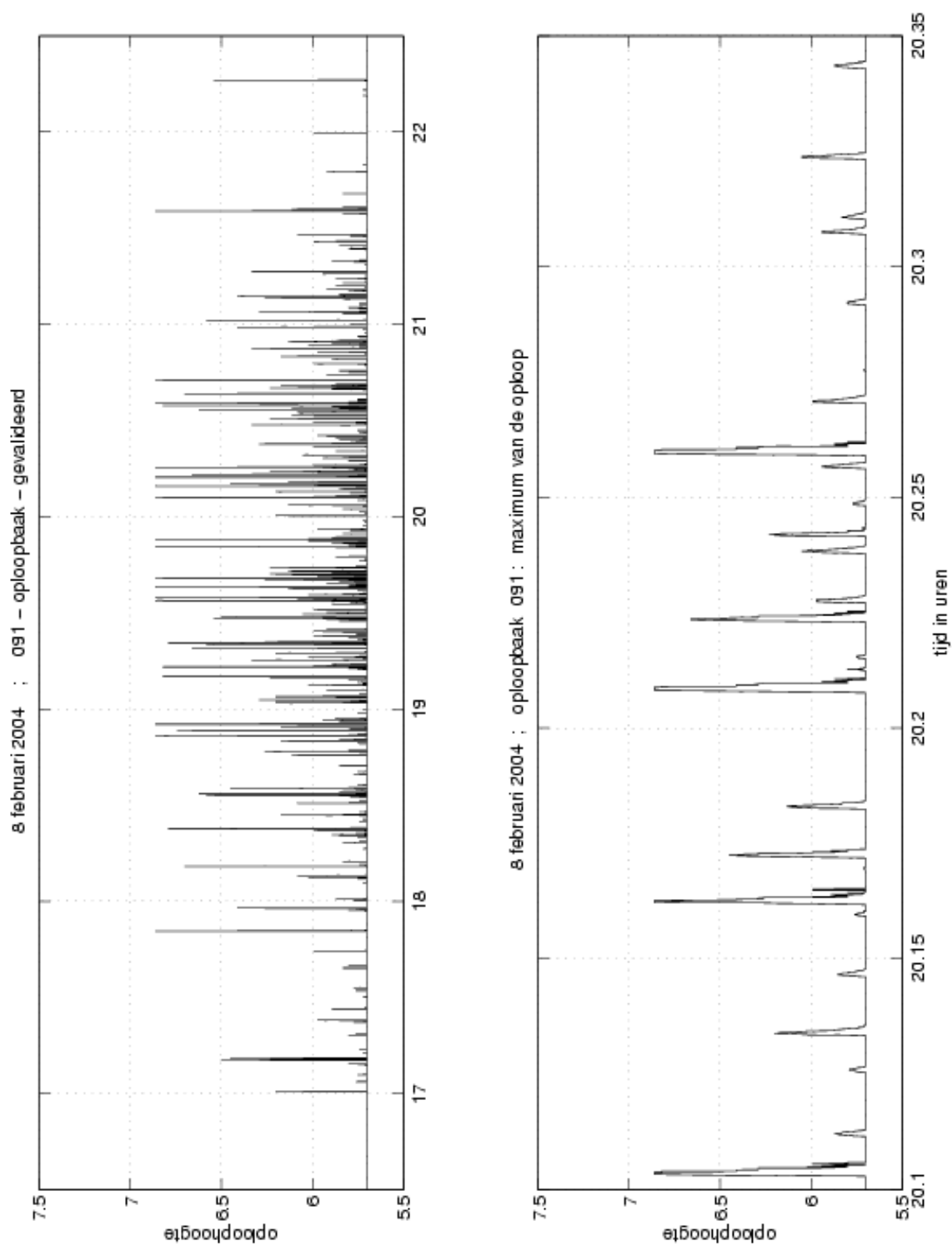


.....
Figuur F.4 Verloop golfparameters H_{m0} , T_{m-10} en T_{m02}





.....
Figuur F.5 Gemeten golfoploop



Bestandsnaam: Stormseizoenverslag_Definitief.doc
Map: P:\Dennis
Sjabloon: C:\Program Files\Carma
DocSys\VenW\Modellen\RapportA.dot
Titel: Rapport
Onderwerp:
Auteur: rikz.rws.minvenw.nl
Trefwoorden:
Opmerkingen:
Aanmaakdatum: 10-09-2004 16:28
Wijzigingsnummer: 8
Laatst opgeslagen op: 10-09-2004 17:05
Laatst opgeslagen door: hordijk
Totale bewerkingstijd: 20 minuten
Laatst afgedrukt op: 10-09-2004 17:07
Vanaf laatste volledige afdruk
Aantal pagina's: 115
Aantal woorden: 11,942 (ong.)
Aantal tekens: 68,073 (ong.)