

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 45

A.W. Donker

**Meteorologische begeleiding van
de Oosterscheldewerken**

De Bilt, 1984

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. - 45 (CWD)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Centrale Weerdienst / Zierikzee,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

Eerder verschenen in:

Meetsystemen ten behoeve van de Oosterscheldewerken.
Dl. 1. Hydro/meteorologische informatie.
Symposium gehouden op 27 oktober 1983 te 's-Gravenhage.

U.D.C.: 551.509.58

Voorwoord

Al geruime tijd is het KNMI op velerlei wijze betrokken bij de grootschalige kustverdedigingswerken in het Deltagebied. Gewijzigde plannen van Rijkswaterstaat voor de afsluiting van de Oosterschelde gaven nieuwe dimensies aan met name de operationeel weerkundige ondersteuning van de complexe uitvoering. In de zomer van 1976 ging de projectgroep HISTOS (Hydro Meteo Informatie Systeem Oosterschelde) van start. Hierin hadden zitting vertegenwoordigers van de Rijkswaterstaat Deltadienst en de Dienst Informatie Verwerking, de Technisch Fysische Dienst TNO/TH, de aannemerscombinatie DOS-bouw en het KNMI (Zierikzee). Eén en ander heeft geresulteerd in de opzet en oplevering van een regionaal meet- en verwerkingsbedrijf waarvan de Meteorologische Dienst Zierikzee thans dankbaar profiteert.

Een geheel nieuwe weg werd ingeslagen door de organisatie van het Hydro Meteo Centrum Zierikzee als gecombineerd water/weer prognosebedrijf. In dit centrum werken sedert 1980 waterloopkundigen en weerkundigen operationeel samen. Er bestond al geruime tijd behoefte aan een gebundeld overzicht waarin alle, destijds betrokken projectgroepleden, een overzicht konden geven van hun specifieke inbreng. Inmiddels is dit afgerond en wel voor een symposium dat op 27 oktober 1983 werd georganiseerd door de afdeling technische fysica van het KIVI in samenwerking met de sectie voor toegepaste natuurkunde van de NNV en de vaksectie voor weg- en waterbouwkunde van het NIRIA.

De betreffende syllabus "meetsystemen ten behoeve van de Oosterscheldewerken, deel 1 hydro/meteorologische informatie" is opvraagbaar bij de bibliotheek. In dit rapport is slechts de bijdrage van de dagelijkse weerkundige ondersteuning opgenomen.

A.W. Donker.

METEOROLOGISCHE BEGELEIDING VAN DE OOSTERSCHELDENRKEN

1. Inleiding

Aan het eind van de vijftiger jaren werd door Rijkswaterstaat en aannemers de noodzaak gevoeld voor een specifieke weerberichtgeving t.b.v. de kustwaterbouw. Er werd, om de communicatielijnen te verkorten, gekozen voor een decentrale oplossing. In 1960 werd derhalve te Zierikzee een vooruitgeschoven weerdienst van het K.N.M.I. operationeel. Ondersteuning werd verleend voor waterbouwkundige werkzaamheden in het Deltagebied maar later ook voor meerdere werklocaties langs de kust van Nederland. Direct na de regeringsbeslissingen inzake de afsluiting van de Oosterschelde en de aanvullende werken raakte de dienst actief betrokken bij de opzet van een specifiek weers-prognosesysteem. De doelstelling was evident: zowel economische en veiligheidsoverwegingen dwingen tot een verantwoorde operationele aanpak mede op grond van zo betrouwbaar mogelijk weersverwachtingen. Aan de beschikbaarheid werden zware eisen gesteld; de staf van de dienst werd verdubbeld.

Naast de pure meteorologische ondersteuning bleken echter de meteo-effecten op en in het water minstens zo belangrijke randvoorwaarden te zijn. Voor zowel onderzoek als voorbereiding op de toekomstige berichtgeving aan het werkfront werd meegewerkt aan de opzet en totstandkoming van het HISTOS-meetnet. Vervolgens werd gezamenlijk de organisatie en verwezenlijking van het Hydro Meteo Centrum als operationeel voorspelbedrijf ter hand genomen. In één unieke dienst wordt thans het weer en water voortdurend gevolgd. Op gezette tijden maar ook op eigen initiatief of op bijzondere aanvraag worden ter zake "werkbaarheidsbulletins" aan de uitvoerende diensten toegeleverd. Bij de weerberichtgeving wordt extra voorlichtingsmateriaal verzorgd zoals weerkaartjes, tekstbulletins (de "briefing" op papier); continue weeroproep over VHF-radioverbindingen, amenderings- en waarschuwingsprocedures, enz.

2. De inbreng van de dagelijkse weerberichtgeving

In voorgaande jaren was voor de uitvoering van kustwaterbouwkundig werk een beperkte weerkundige voorziening voldoende. Vrijwel de meeste kritieke werkzaamheden zoals caissonsluitingen waren van korte duur en konden daarom goeddeels "klimatologisch" worden gepland. Op de beslissende dagen was dan een verhoogde weerberichtgeving en -bewaking nodig. De Oosterscheldewerken worden echter gekenmerkt door grootschaligheid en continuïteit in alle weersseizoenen waarbij de getijbeweging de voorgenomen werkcadans dicteert.

Vanzelfsprekend heeft dit een grote doorwerking in de noodzakelijke organisatievorm; volcontinue dienstuitvoering en -verlening is dwingend voorschrift.

Om redenen van efficiëncy en effectiviteit is een werklogistiek met de uitvoerende dienst opgebouwd. In het twee-richtingsberichtenverkeer speelt de Uitvoerders Post Stormvloedkering (UPS) een centrale rol.

De aard en omvang van de werkzaamheden alsmede het onderlinge verband in de werkplanning brengt met zich mee dat de weerstatistiek ons nu nauwelijks meer te hulp komt. Het volgende voorbeeld geeft enig inzicht. We nemen een direct verband aan tussen windkracht en "werkbaarheid" en zetten de gemiddeld rustigste maand tegen de gemiddeld windrigste maand uit.

Ononderbroken windmeting in de Oosterschelde over 11 jaar geven de volgende windrequenties (procenten van de tijd) te zien.

BFT	≥1	≥2	≥3	≥4	≥5	≥6	≥7	≥8	≥9	≥10	cumulatief %
KANS 100	89	67	40	19	6	1	.2	.	.	.	augustus (. = < 0,1%)
KANS 100	97	86	68	49	26	10	3	1	.	.	november

Een veelal voorkomende grens voor aanmerkelijke windhinder is 6 Beaufort (windsnelheid 10 m/s of meer). Gaan we de windhistorie van de individuele maanden na dan is er een grote spreiding rond het gemiddelde te constateren.

In 11-jarige meetreeks zijn de onderstaande extremen aan te wijzen:

Augustus (rustigst)	:	in 1979 met 6 BFT in 2% van de tijd;
(onrustigst)	:	in 1980 met 6 BFT in 20% van de tijd;
November (rustigst)	:	in 1975 met 6 BFT in 12% van de tijd;
(onrustigst)	:	in 1977 met 6 BFT in 50% van de tijd.

Een bijzonder winderige maand ligt nog vers in het geheugen nl. januari 1983. Windkracht 6 en hoger kwam in 73% van de tijd voor (normaal: 18%); windkracht 7 en hoger werd in 31% van de tijd bereikt (normaal: 6%).

Een tweede facet van het weer bij het dagelijks nemen van werkbeslissingen moet worden getoetst nl. de waarde van "persistentie-verwachtingen". Alhoewel ons weertype veranderlijk is komen dramatisch weersomslagen nu ook niet geregeld voor. De vraag kan gesteld worden welke voorspellende waarde een actuele windmeting of -schatting heeft.

Gaan we uit van gunstig weer met windkracht 4 of minder aan het begin van de werkdag en nemen we een werkbeslissing onder de aanname dat dit zo blijft in de komende 12 uur dan levert verificatie van dergelijke prognoses het volgende resultaat.

Verwacht	Opgetreden (zomer) 12 uur vooruit				
≤ 4 BFT in	≤ 4 BFT	≥ 5 BFT	≥ 6 BFT	≥ 7 BFT	≥ 8 BFT
936 dagen	63%	38%	14%	4%	1%

Verwacht	Opgetreden (winter) 12 uur vooruit				
≤ 4 BFT in	≤ 4 BFT	≥ 5 BFT	≥ 6 BFT	≥ 7 BFT	≥ 8 BFT
936 dagen	62%	39%	16%	5%	1,7%

Opvallend is het geringe scoreverschil voor zomer en winter.

De score voor de meteorologische verwachtingen bedroegen voor dezelfde periode (zomer en winter):

Verwacht	Opgetreden 12 uur vooruit				
≤ 4 BFT in	≤ 4 BFT	≥ 5 BFT	≥ 6 BFT	≥ 7 BFT	≥ 8 BFT
	82%	18%	6%	0,5%	0,1%

Afgezien van de betrekkelijke korte verwachtingstermijn 12 uur vooruit is op te maken dat operationele meteorologische begeleiding inbreng heeft indien van geval tot geval de trefzekerheid van de meteoroloog die van de klimatoloog overtreft alsmede die van persistentie-forecaster.

3. Operationele meteorologie; communicatie en technische hulpmiddelen

De weerdienst staat onder constante en wisselende tijdsdruk. Er moet immers gelijke tred met het weersverloop worden gehouden. Voorts rekent de werkbeslisser op een vaste aflevertijd van de prognose zodat bedenktijd immer is gelimiteerd. Dit is een voortdurend dilemma: "nauwkeurigheid" wordt voor een deel opgeofferd aan snelheid. Een te grote informatiedruk op de meteoroloog leidt daarbij eerder tot paralyse dan tot analyse. Het moge duidelijk zijn dat in de operationele bedrijfsvoering geëigende aspecten in het geding zijn.

Vitaal voor de weersdienst is niettemin een ononderbroken stroom van waarnemingen te land, ter zee en in de bovenlucht. Krachtens internationale afspraken komen deze waarnemingen via zeer snelle communicatielijnen ter beschikking. Ook de eigen uurlijkse weerwaarnemingen van Zierikzee zijn beschikbaar voor andere weerdiensten. Terwille van de verzendsnelheid en om taalproblemen te voorkomen zijn alle berichten in een vijfcijferige code omgezet. Dit is de internationale vaktaal van het weerbedrijf. De ontvangen gegevens worden in kaarten en diagrammen verwerkt en bewerkt om tot een driedimensionale voorstelling van het actuele atmosferisch gebeuren te komen. De belangrijke aerologische gegevens worden in tijdstappen van zes uur geanalyseerd; de grondwaarnemingen van Europa en de Atlantische Oceaan zijn in drie-uurlijkse kaarten beschikbaar. Van een kleiner gebied in West-Europa zijn voorts uurlijkse data opvraagbaar voor eventuele snelle beslissingen.

Op deze wijze wordt de synoptische (of synchrone) weerkunde bedreven. Andere bronnen van informatie staan ter beschikking: het eigen HISTOS meetnet, het RIV-windmeetnet en het meetnet Noordzee. Een mistmeldingsdienst met vrijwillige waarnemers is sinds kort in werking.

Door voortdurende analyse kunnen nu de belangrijke weersystemen in kaart worden gebracht en gevolgd. De isobarische analyse geeft de positie van drukmaxima en minima. De fysische analyse op grond van het beproefde luchtsoortenconcept leert ons waar zich de grootste discontinuïteiten bevinden. Dit zijn de bronnen van ontwikkeling, verplaatsing en deformatie. De aerologische analyse daarentegen geeft een indicatie van de sturende stroming, ontwikkeling van divergenties en convergenties, statische en dynamische onstabieliteit, vorticititeit, enz.

De vele voorspelregels in de synoptische meteorologie, waarvan de waarde vaak zelve van de concrete situatie op de kaart afhankelijk is, stellen de meteoroloog in staat om tot een inschatting te komen voor het toekomstig weersverloop. Langjarige ervaring is een vereiste om nog bruikbare prognose tot 36 uur vooruit te formuleren.

Voor het opstellen van verwachtingen voor meerdere dagen vooruit is een krachtige ondersteuning gevonden in de toepassing van atmosferische voorspelmodellen. Dergelijke rekenmodellen worden 2 of 4 maal per etmaal gevoed met alle beschikbare waarnemingen over bijvoorbeeld het Noordelijke hemisferisch gebied. Bij de operationele toepassing van deze complexe rekenschema's staat het internationale aspect van de gegevensuitwisseling nu wel duidelijk op de voorgrond. Het zou te voeren om diep op deze fascinerende technieken in te gaan. Het model rekent voor meerdere lagen in de atmosfeer de absolute topografie van standaarddrukvlakken uit en wel door opeenvolgende tijdstappen in de toekomst. De klassieke wetten uit de hydrodynamica (vijf gekoppelde partiële niet lineaire differentiaalvergelijking), de diagnostische gaswet maar ook typisch atmosferische wetmatigheden zoals behoudt van vorticititeit worden numeriek opgelost. Hierbij is het waarborgen van de rekenstabiliteit van groot belang; m.a.w. een optimal compromis is nodig tussen de verplaatsingssnelheid van de belangrijke atmosferisch golven, roosterpuntsafstand en reken-tijdstap. Met verfijnde technieken zijn op deze wijze ook verwachte gronddrukvelen (dus windvelen) op mesoschaal te construeren waarmee andere afgeleide modellen kunnen worden aangestuurd. In Zierikzee wordt het eigen barokliene vier-lagen-model van het KNMI gebruikt alsmede prognostisch materiaal van het ECMWF (European Centre for Medium Range Weatherforecasts).

Om de gecodeerde waarnemingen snel in plotsymbolen op kaarten in te tekenen zijn twee plotters in gebruik. Een Xynetics penplotter wordt via een minicomputer en een 1200 bps lijn aangestuurd. Een 2400 bps lijn was nodig om een PDP-11/34a bestuurd electrostatische plotter te bedienen.

De resultaten van de afgeleide numerieke modellen voor golf- en waterstandsverwachtingen worden opgevraagd d.m.v. een Interactief Meteorologisch Informatie Systeem (IMIS). Met dit systeem kunnen de plotters worden bediend voor extra kaarten en tabellenmateriaal om de geloofwaardigheid van de resultaten te toetsen. IMIS geeft tevens toegang tot een uitgebreide DATA-bank om de meest actuele meldingen van het gehele kaartgebied na te lopen.

Voorheen werden hiervoor telex-verbindingen toegepast. Via het HRPT grondstation te De Bilt wordt te Zierikzee een voortdurende stroom van sateliet weerfoto's ontvangen afkomstig van de zon-synchrone satellieten NOAA 7 en 8 en ook als back up METEO-sat. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van enhancement in het infrarode deel van het licht voor nachtfoto's bij mist en buitendetecatie al of niet uitvergroot. Voor de ontvangst is een laser-fotofacsimilérecorder geplaatst. De lijn en radio facsverbindingen fungeren als locale back up voor de ontvangst van kaartmateriaal, waarnemingen, etc. Bij grote calamiteiten wordt uitgeweken naar het bunkercomplex te De Bilt waar de noodzakelijke voorzieningen voor de meteorologische ondersteuning zijn getroffen. Tenslotte wordt eigen computerapparatuur gebruikt voor snelle berekeningen tijdens bijvoorbeeld stormvloeden maar ook voor klimatologische bewerkingen van het gegevensbestand en automatische verificatie van de opgestelde verwachtingen voor wind, zich, golven, waterstandsafwijkingen, neerslag, enz.

4. Werken op onrustig water; verwachtingen voor golven en waterstands-afwijkingen

Niet alleen de dagelijkse weersverwachtingen is voor de uitvoerder en werkbeslisser van groot belang maar even zo de effecten van het weer op het water. In deze paragraaf komt niet de directe weerberichtgeving maar de betrokkenheid van de weerdienst m.b.t. de hydro-meteorologische ondersteuning aan de orde. De te verwachten golfbeweging in de afsluitgaten is bijvoorbeeld dagelijks een punt van afweging aan het werkfront. Het HMC verstrekt dan ook volgens vast werkschema inlichtingen hierover. De golfbeweging kan onderverdeeld worden in de plaatselijke, door wind opgewekte, golven (zeegang) en in langperiodige externe deining. Voor beide wordt nu beknopt de verwachtingsmethodiek beschreven.

Figuur 1:

	VERBAND WIND M/S GOLFHOOGTE H _s (CM)							
	N	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW
5	25	15	15	10	15	30	20	30
10	50	20	25	20	35	50	60	60
15	70	30	35	25	55	70	100	90
20	90	45	50	40	75	90	140	120

FIG 1-A OOSTERSCHELDEMOND LAAGWATER

	VERBAND WIND M/S GOLFHOOGTE H _s (CM)							
	N	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW
5	40	25	25	25	35	40	45	40
10	80	45	30	30	55	85	95	85
15	120	65	40	40	80	120	145	135
20	160	90	55	50	95	155	200	190

FIG 1-B OOSTERSCHELDEMOND HOOGWATER

	VERBAND WIND M/S GOLFHOOGTE H _s (CM)							
	N	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW
5	60	50	40	35	45	50	50	60
10	130	90	80	65	90	110	140	160
15	200	140	115	95	130	180	230	250
20	270	180	160	125	180	240	320	350

FIG 1-C DELTAGEBIED BUITENGAATS

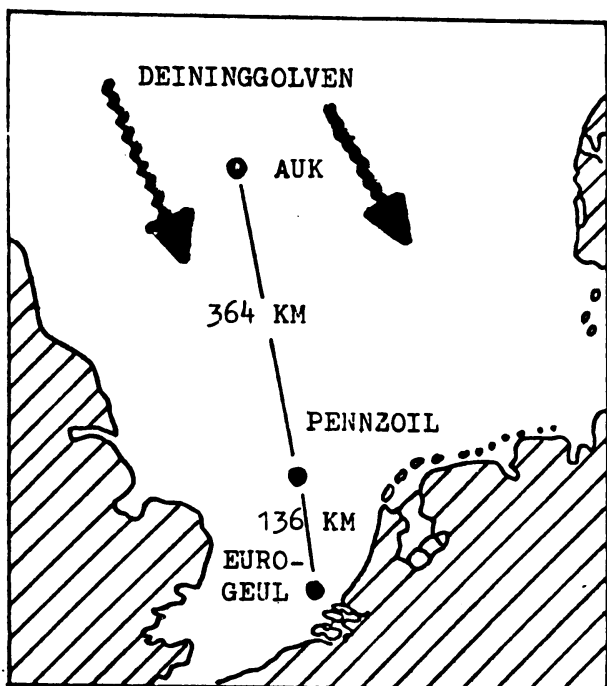
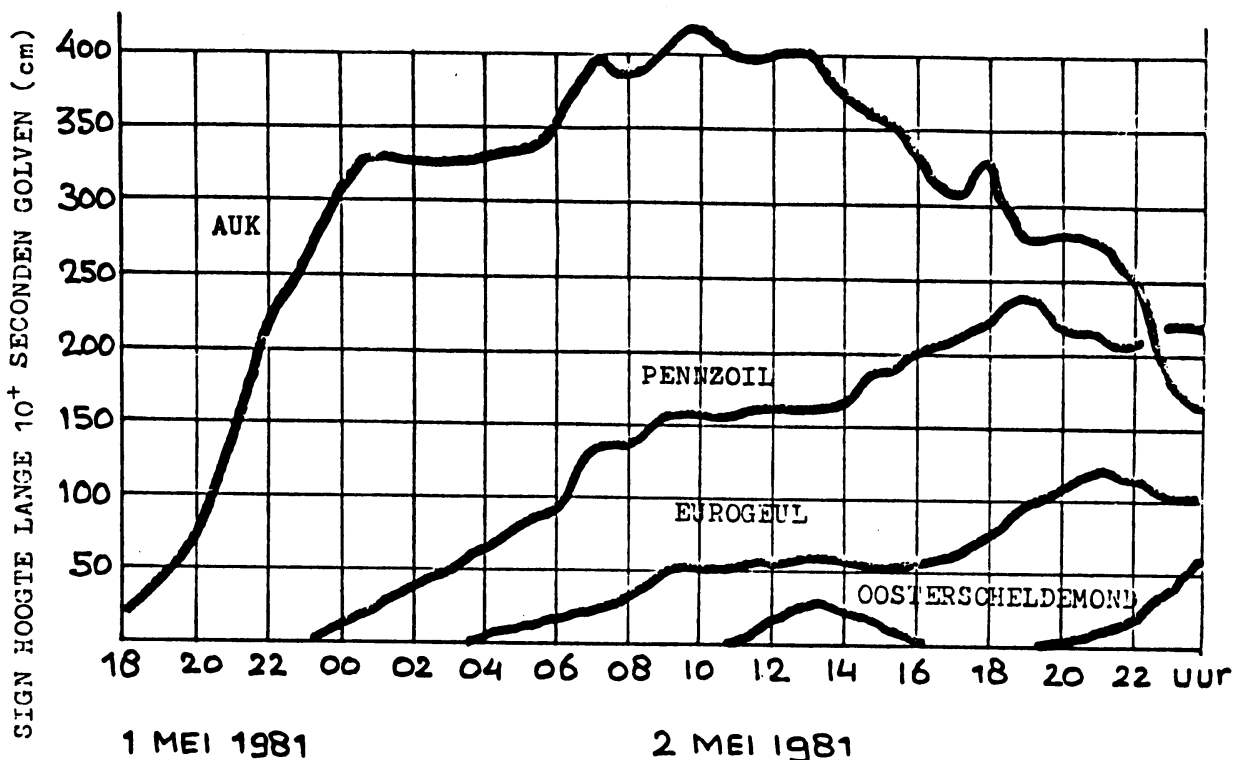
De te verwachten zeegang laat zich het best inschatten door gebruik te maken van betrouwbare empirische relaties tussen gemeten wind en gemeten golven. Met behulp van de vele gegevens uit het meetnet HISTOS konden de gewenste verwachtingstabellen worden samengesteld. Gebleken is dat met (gemodificeerde) theoretisch afgeleide golfgroeigrafieken slechts povere resultaten worden geboekt. De bodemtopografie van de zuidelijke Noordzee en ons kustgebied is voor deze berekeningstechniek te grillig.

Voorts speelt de getijbeweging in de afsluitgaten een zeer grote rol in het locale golfklimaat. Bij het opstellen van de zeegangverwachting moet hiermee rekening worden gehouden. Figuur 1 laat ons in ruwe vorm enkele verwachtingstabellen zien; de invloed van het verticale getij op de golfhoogte is duidelijk te zien.

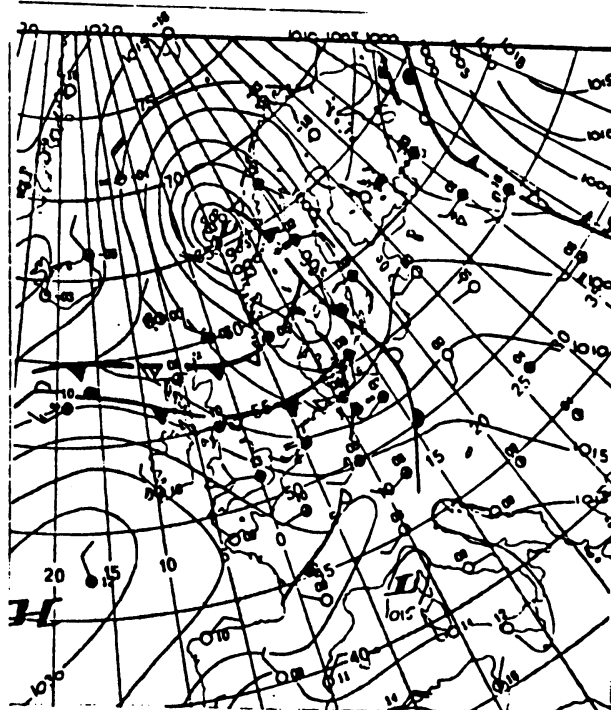
Ook het horizontale getij speelt een rol van betekenis. Door ongunstige combinaties van wind- en stroomrichting worden golven nl. steiler en meer werkbelemmerend. Er is ook sprake van een "doppler"-verschuiving in de golfperiode door stroom. Eén en ander betekent dat niet alleen meteorologische maar ook waterloopkundige randvoorwaarden doorwerken in de uiteindelijke golfprognose voor een zekere getijfase. De weerdienst verzorgt in de dienstuitvoering van het HMC de meteorologische motivering voor de golfprognose. Dit gebeurt voor een referentiepunt buitengaats. Voor zeegang is de methodiek vrij simpel. Aan de hand van de windverwachting kan m.b.v. het tabellenmateriaal een uitspraak worden gedaan voor de significante golfhoogte en -periode. De waterloopkundige van het HMC verzorgt de vertaling naar de afzonderlijke afsluitgaten door rekening te houden met de te verwachten hydraulische randvoorwaarden en standplaatseffecten.

De ontwikkeling van een operationele prognosetechniek voor de lange deininggolven stond van meet af aan in het brandpunt van de belangstelling. Deze golfbeweging kan uitermate hinderlijk zijn bij waterbouwkundig preciesiewerk. De golfhoogte is hierbij van ondergeschikt belang ten opzichte van de periodiciteit. Deininggolven zijn afkomstig van verafgelegen stormgebieden. In de zuidelijke Noordzee en langs de kust is het weer dan meestal rustig.

Dit geeft aan deze golven een verradelijk aspect. Figuur 2 laat iets zien van het ontstaan er van. Een noordelijk stormveld op de Noorse Zee veroorzaakt aldaar een hoog zeegangsveld van 5,5 tot 6,5 meter. De zuidwaartse reis van het deiningfront kon worden gedetecteerd door gebruik te maken van golfmetingen afkomstig van het Meetnet Noordzee. Als golfhoogte is hier genomen de significante hoogte van de componenten met een periode van 10 seconden of meer.



GOLFMEETPUNTEN NOORDZEE



WEERKAART 30 APRIL 1981 00 U

Er valt zuidwaarts een aanmerkelijk hoogteverlies te constateren; niettemin werd een 10⁺ sec. deininghoogte van ca. 50 cm in de Oosterscheldemond gemeten terwijl de locale wind zeer gematigd uit het westen bleef.

Opnieuw is in deze figuur het effect van het getij op het binnendringen van deze golven zichtbaar. Tijdens laagwater worden deze componenten door het ondiepe voorland fors aangebroken. Alleen bij doortij en enige waterstandsverhoging kan nog iets van deze 10⁺ sec. deining binnendringen.

Figuur 3:

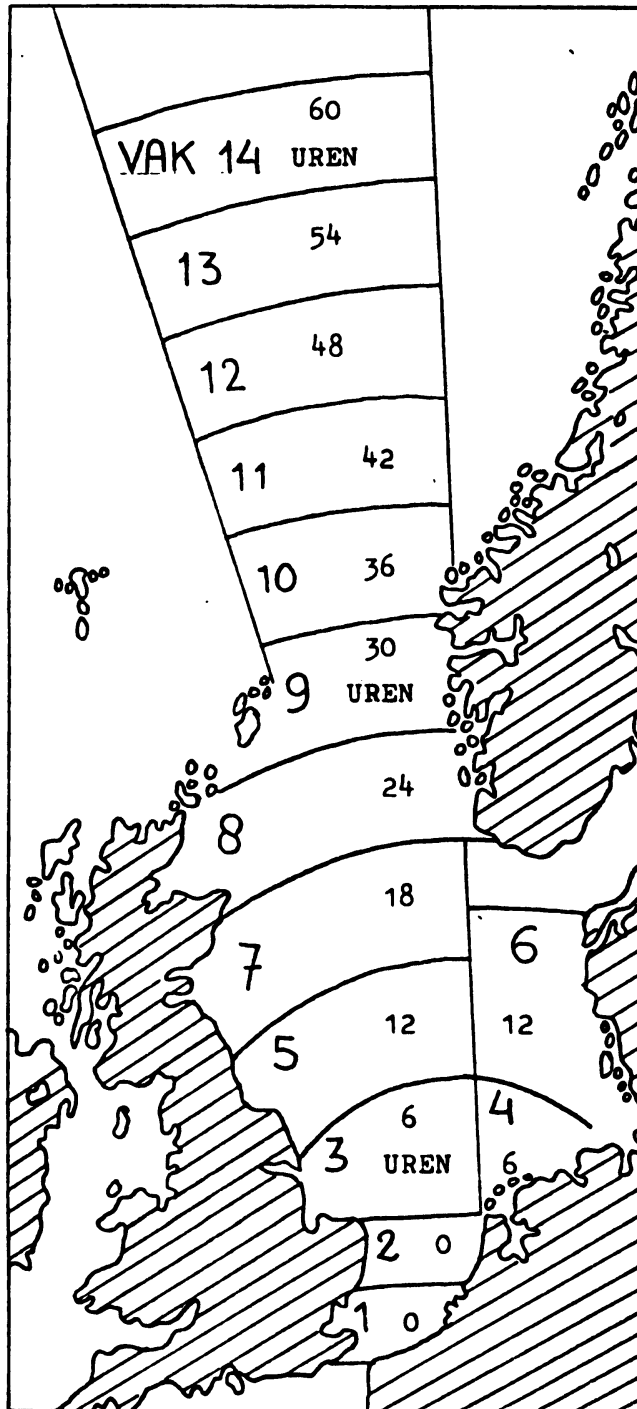


FIG 3 VAKINDELING DEININGVERWACHTING

De figuur doet vermoeden dat er een voorspelrecept voorhanden is. In geval van zuivere deining hebben deze metingen inderdaad een voorspelende waarde; de netto verwachtingstermijn voor de gebruiker is echter kort nl. zo'n 14 uur gerekend vanaf de meetpositie AUK.

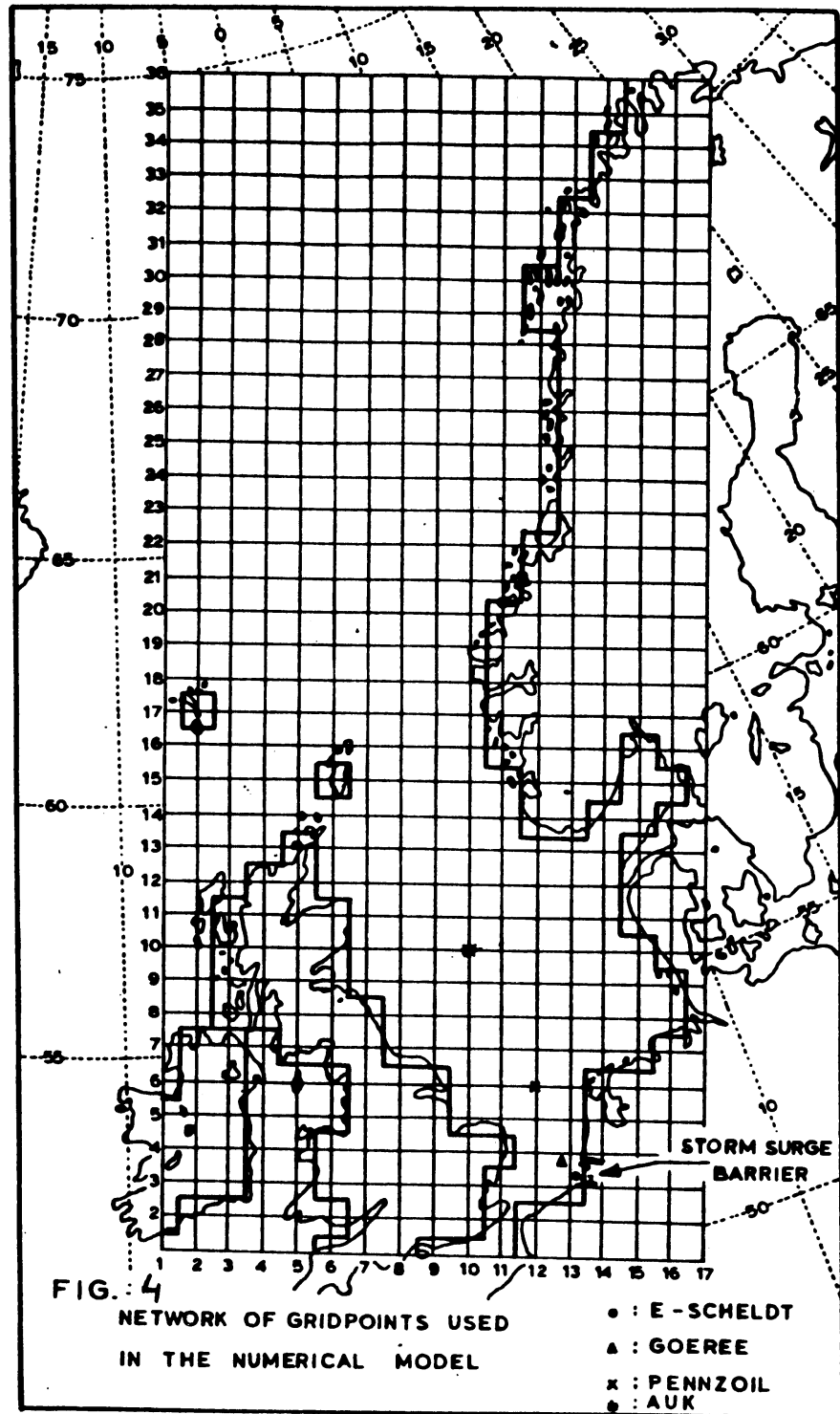
Er moest echter een methode ontwikkeld worden die in alle relevante weersituaties gebruikt kan worden waarbij tevens een langere voorspeltermijn werd bereikt. Hiervoor moet het brongebied van de deining i.c. het verwekkende wind- en zeeangsveld worden bestudeerd en in kaart gebracht.

Figuur 3 laat ons de hiervoor relevante vakindeling van de Noordzee en de Noorse Zee zien.

Kwantitatief is deining een "moeilijke" voorspelbare grootheid; de meteoroloog werkt dan ook in een zgn. man-machine mix prognosesysteem. Voor de manuele weerkaartenmethode wordt de geschetste vakindeling gebruikt. In voor deining relevante situaties wordt na een zorgvuldige luchtdrukanalyse het gradiënt-windveld in daarvoor in aanmerking komende vakken uitgerekend of voor de zuidelijke vakken voor de toekomst bepaald. Met behulp van gemodificeerde golfgroeitabellen wordt met de bekende restricties voor windduur en strijklengte de golfhoogte in het brongebied uitgerekend. Tevens wordt voor een looptijdprognose de significante periode bepaald. De verkregen zeetoestand stelt ons in staat om met o.a. wetmatigheden voor dispersie en bodemwrijving kwantitatieve uitspraken te doen voor het verwachtingsreferentiepunt buitengaats. Door de berekening voortdurend te baseren op de drie-uurlijkse weerkaarten kan de te verwachten 10 seconden deining worden geplot in de tijd.

Voor de operationele praktijk is deze methode veelbelovend maar tijdrovend gebleken. Niettemin is er veel ervaring mee opgedaan. Programmering van het tabellenwerk etc. staat thans op het programma. Naast deze manuele techniek is een numeriek golvenmodel in gebruik. Dit model wordt viermaal per etmaal opgestart door het KNMI BK-4 atmosferisch model. De veranderende toestand van de zee kan hierbij in kaart worden gebracht alsmede de geanalyseerde en verwachte windvelden in het rekenrooster (figuur 4). Voor een aantal geselecteerde roosterpunten (zoals het eerder genoemde referentiepunt) wordt een prognose opgesteld voor de golfbeweging.

Figuur 4:

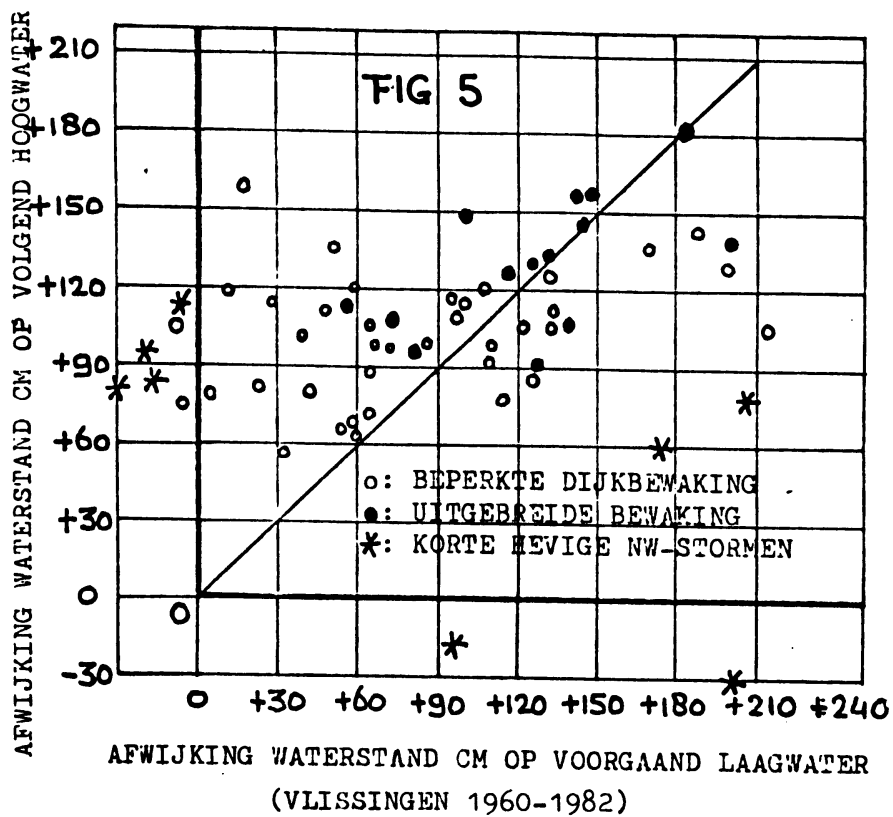


Eveneens zijn karakteristieke grootheden uit het verwachte golfspectrum beschikbaar zoals de 10^+ sec. deining (of zegang). Tot op weerkaarten werkdiagramformaat is een volkomen parallelle werkwijze ontwikkeld.

De geloofwaardigheid van het golvenmodel kan voortdurend snel worden getoetst door onderzoek van het verwachte brongebied en het voorspelde windveld. Het is gebleken dat deze synthese tussen de subjectief manuele en objectief numerieke aanpak de beste resultaten oplevert.

Een ander belangrijk effect van het weer op het water is de waterstandsafwijking ten opzichte van de astronomisch voorspelde stand. Door bijvoorbeeld een samenvallen van een verlaging tijdens het laagwater en een verhoging tijdens het daaropvolgend hoogwater zal de stroomsnelheid toenemen door het grotere getijverschil. Effect op de golfbeweging is eveneens aantoonbaar.

Figuur 5:



Uit figuur 5 blijkt dat de voorspellende waarde van actueel geconstateerde waterstandsafwijkingen gering is zelfs voor het eerstvolgende extreem van het getij. Bij deze figuur moet opgemerkt worden dat hier waterstandsafwijkingen zijn uitgezet in stormachtige situaties welke tot dijkbewaking in de Deltagebied noodzaakten.

Bij de even belangrijke geringere waterstandsafwijkingen is eveneens tot ca. 6 uur vooruit geen sprake van een dagelijks toepasbaar voorspelrecept door extrapolatie. De operationele voorspelaanpak wordt hier

al bemoeilijkt door de nauwkeurigheid van de astronomische getijvoorspelling. Deze kent een gemiddelde verwachtingsfout van vrijwel 0 cm en een standaardafwijking welke fluctueert tussen 10 en 15 cm.

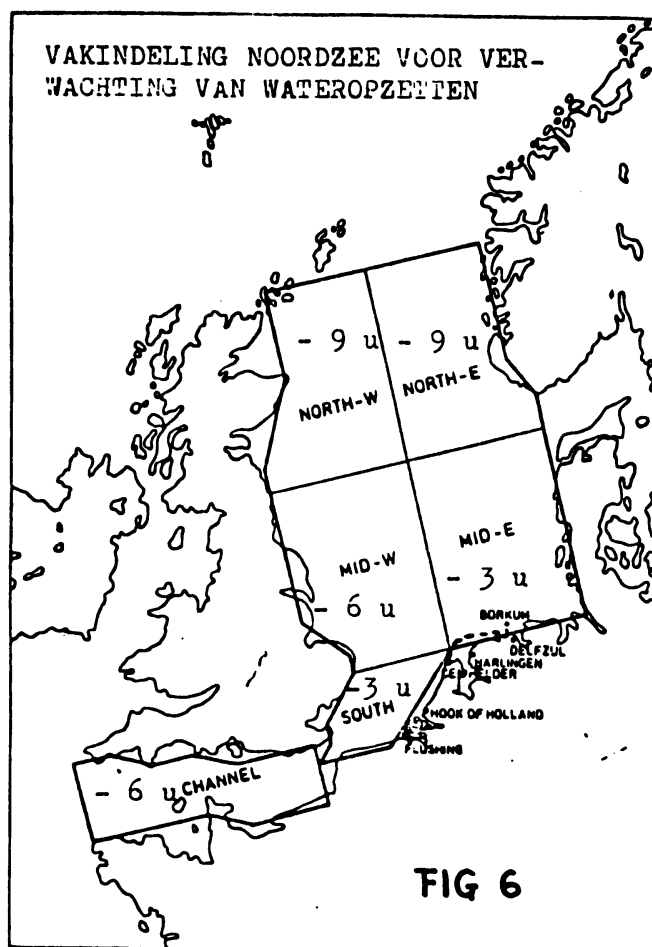
Waterstandsafwijkingen in ons kustgebied zijn te frequent om ze in operationeel opzicht te negeren. Vanzelfsprekend zou dit voor de stormvloedkering al ontoelaatbaar zijn; de kleinere en potentieel werkbelemmerende afwijkingen zijn ook te talrijk. Ruim 10.000 hoogwaters in de periode 1965-1979 zijn op dit punt onderzocht. De opgetreden extremen waren een opzet van + 165 cm en een verlaging van 85 cm. De bijgaande tabel verschaft ons meer inzicht.

Afwijking		Afwijking	
-40 cm	1%	+20 tot +30	12%
-40 tot -30	1%	+30 tot +40	6%
-30 tot -20	4%	+40 tot +50	4%
-20 tot -10	9%	+50 tot +60	2%
-10 tot 0	19%	+60 tot +75	2%
0 tot +10	22%	+75 tot +95	1%
+10 tot +20	16%	+95 cm	1%

Er is een mate van verwantschap tussen de verwachtingsmethodiek voor waterstanden en voor golven. Voor beide heeft de zee een zekere aanpassingstijd nodig waarvan we kunnen profiteren. Men zou zelfs kunnen zeggen dat de meteorologische onzekerheid hierdoor wordt verkleind. Niettemin is de verwachtingsmethode complex omdat vele prediktoren de te voorspellen grootte bepalen. Juist tijdens verondersteld gevaar voor stormvloed staat de meteoroloog onder een hoge tijds- en informatie-druk. Ook andere overwegingen hebben ons doen besluiten de meteoroloog wederom in een man-machine-mix configuratie te laten werken.

In figuur 6 zien we een vakindeling over de Noordzee en het Kanaal.

Figuur 6:

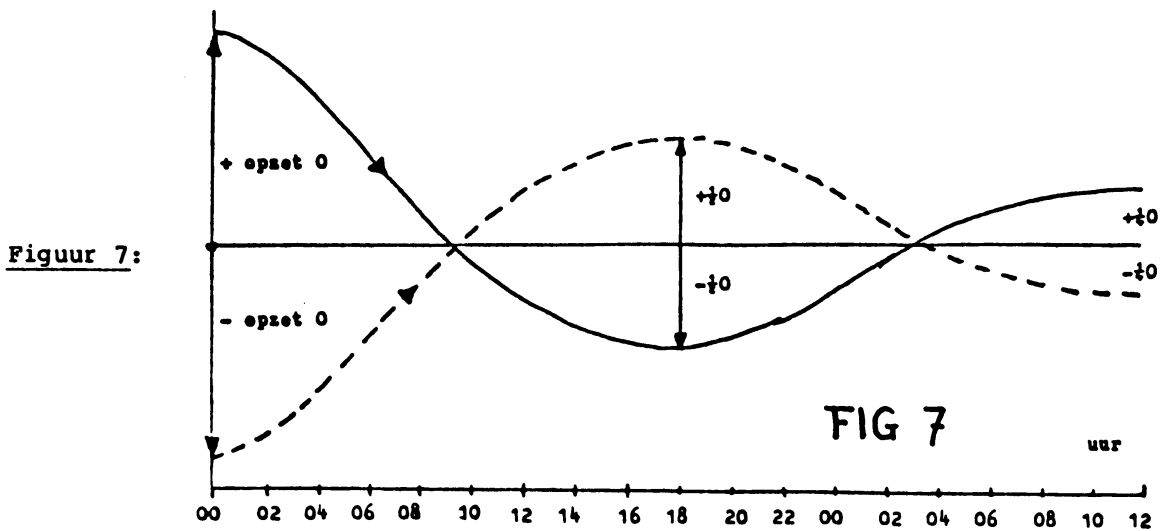


Deze vakindeling wordt gebruikt voor de manuele weerkaartmethode waarin de meteoroloog zijn synoptische ervaring kan leggen. Uit deze figuur valt bijvoorbeeld op te maken dat het (partieel) verhogend effect van een noordwesterstorm ten Oosten van Schotland na ca. 9 uur merkbaar is op het getij langs de Zeeuwse kust. Wanneer voor 24 uur vooruit een waterstandsafwijking moet worden berekend zou voor dit vak een betrouwbare verwachte windvector voor 15 uur vooruit moeten worden afgeleid. Elk ander vak heeft zijn eigen traagheid en hiervoor zal dan ook een windvector op een ander tijdschip moeten worden berekend. Het gesommeerde effect van alle vakken vormt uiteindelijk de te verwachten waterstandsafwijking.

Het zal duidelijk zijn dat (vooral tijdens stormvloedsituaties) in hoog tempo drie-uurlijks gronddrukanalyse beschikbaar moeten zijn om te komen tot een nauwkeurig te verwachten isobaren patroon. Vaak wordt ook uurlijkse informatie benut; scheepswaarnemingen op zee zijn tijdens de-

ze "tussen-uren" echter schaars. Het is gebleken dat niet-windeffecten een niet onaanzienlijke doorwerking hebben in de uiteindelijke waterstandsafwijking. Genoemd worden de plaatselijke luchtdruk, de atmosferische stabiliteit van de aangevoerde luchtmassa's (bijvoorbeeld verschil lucht- en zeevatertemperatuur, luchtdichtheid). Na het snel passeren van een noordwesterstorm, kan voorts een resonantieverschijnsel ontstaan waardoor op het derde hoogwater na het stormvloed hoogwater nog een kwart van de oorspronkelijke opzet terugslingert (Figuur 7).

SLINGERINGDIAGRAM NOORDZEE RICHTING NOORD / ZUID



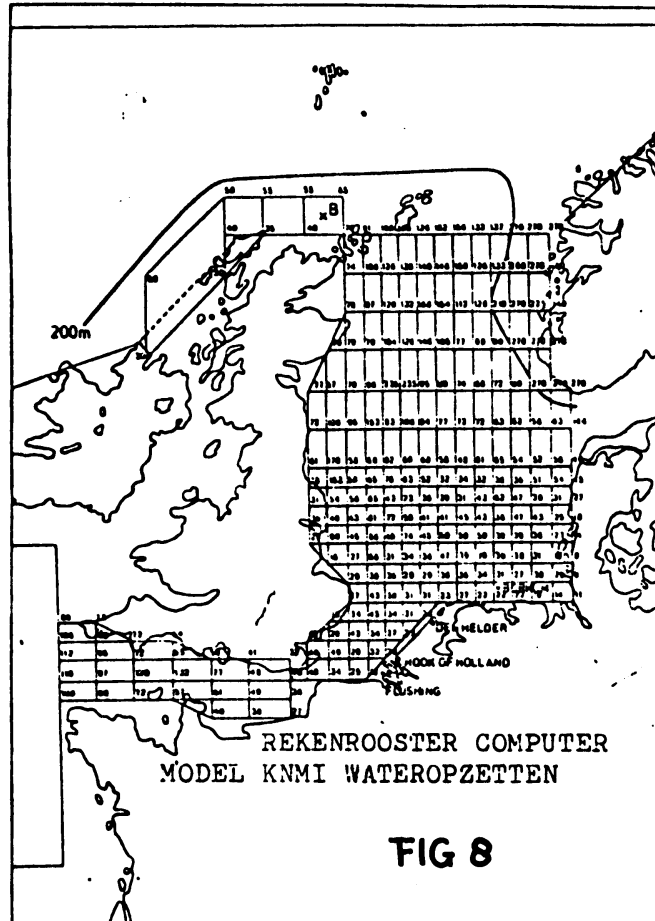
Ook flinke verlagingen tijdens rustig weer zijn hiermee veelal verklaarbaar. Een laatste effect is de zgn. external surge die in het extremere geval een halve meter verhoging of verlaging kan veroorzaken, terwijl de plaatselijke wind geen enkele rol speelt. De atlantische getijgolf die ons via Engelse oostkust nadert kan door grote luchtdruk-systemen op de oceanen flink worden verstoord bij het bereiken van de ondiepe Noordzee.

Langs de Schotse Oostkust worden dan "onverklaarbare" verhogingen geconstateerd waarvan de helft na ca. 10 uren de Zeeuwse kust bereikt. De weerdienst ontvangt weliswaar inlichtingen hierover; de snelheid van overdracht naar ons land is echter voor flinke verbetering vatbaar. Het zou te verkiezen zijn deze op (op kritieke momenten) vitale informatie in het meetnet op te nemen en snel te distribueren.

Naast de weerkaartenmethode is een numeriek model beschikbaar waarvan de uitkomsten (waterstandsafwijkingen uurlijks tot 24 uur vooruit) vier maal per etmaal ter beschikking staan.

Het rekenrooster is afgebeeld in figuur 8.

Figuur 8:



In feite is het rooster met rekenpunten tot over de oostelijke Atlantische Oceaan uitgebreid om de luchtdruk golf op ons getij in rekening te brengen. De luchtdruk- en windvelden waarmee dit model wordt gestart en in tijdstappen wordt gevoed staan in de vorm van kaarten ter beschikking zodat altijd een check op plausibiliteit mogelijk is. Evenals bij de verwachting voor de lange deininggolven is ook hier gebleken dat de manuele en numerieke techniek tesamen de meest doeltreffende en realistische aanpak is.

De waterstandsverwachting voor vier opeenvolgende extremen van het getij worden in het meteo-bulletin opgenomen. Tijdens de periodieke overdracht van het weer houdt de waterloopkundige van het HMC echter ook rekening met de dagelijkse voorspel-onvolkomendheden van het astronomische getij. Eén en ander is van groot belang (vooral tijdens springtij) voor de verdere voorspelling van stroom, kentering, enz.

Tijdens verondersteld gevaar voor stormvloed is een speciale "voorwaarschuwingsprocedure" van kracht waarin het UPS deelneemt.

Na de voorwaarschuwingsprocedure wordt normaal verder geopereerd in SVSD-verband KNMI/RWS (Stormvloed Sein- en Waarschuwingdienst) ten behoeve van de dijkbewaking.

5. Weerkundige details en effecten op mesoschaal

Gelet op de dimensies van ruimte en tijd waarin het dagelijkse weergebeuren zich afspeelt is de meteoroloog gewend te denken in termen van grootschaligheid. Het weer op mesoschaal is echter soms van direct belang voor de uitvoering. Zo is vorst werkbelemmerend voor de droge uitvoering etc. maar van vorst is bekend dat er op korte afstand grote verschillen kunnen optreden.

Daar de droge constructiewerken voor de stormvloedkering zich afspelen op een werkeiland vlak aan zee werd onderzocht in hoeverre de stationswaarneming van het "continentaler" gelegen Zierikzee representatief was. Met behulp van thermografen werd informatie vergaard van het werkeiland (maaiveld en bodem bouwput op ca. 18 m beneden NAP). Deze werd vergeleken met de officiële KNMI-registraties van Zierikzee welke bijvoorbeeld maatgevend zijn voor declaraties vorstverlet. Bij enige wind (meer dan 4 m/s) zijn de verschillen nihil maar bij een winterse heldere hemel en weinig wind treden aanzienlijke verschillen op. Figuur 9 geeft zo'n voorbeeld waarbij de vorming van een koude "zak" diep in de putten opmerkelijk is.

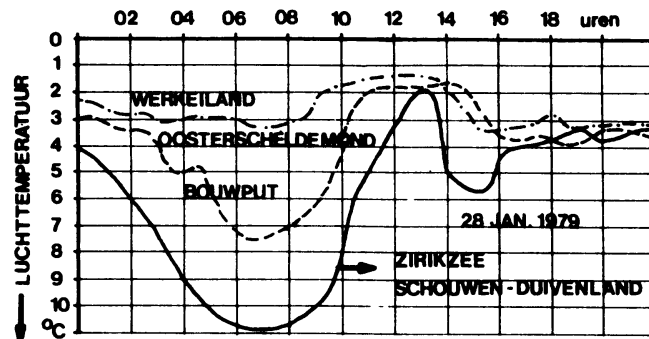
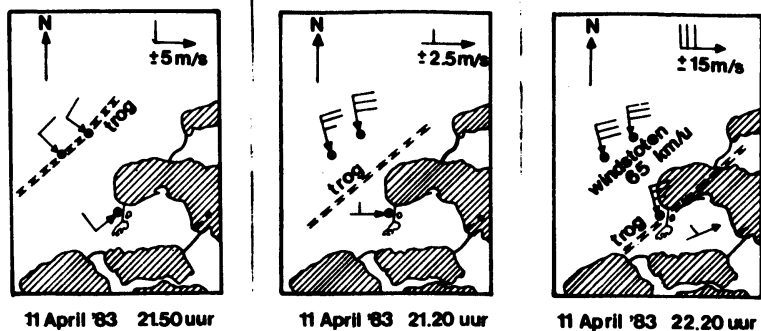


FIG 9

Koude luchtzak in diepe bouwput

Inderdaad kwam het tamelijk vaak voor dat het op maaiveldhoogte niet vroom doch in de bouwdokken wel. On-line luchttemperatuurregistraties zijn de meteoroloog sindsdien behulpzaam bij het opstellen van vorstverwachtingen. De figuren 10 laten ons een windregime op zeer kleine schaal zien. Het betreft hier de nadering van een lijn met snelle en scherpe winddraaiing die met een snelheid van ca. 13 km/u naar de monding van de Oosterschelde trok.



Figuur 10

Op grond van de meteorologische ontwikkeling werd voordien gewaarschuwd voor noordwest 7 BFT. In een zeer kort tijdbestek kon m.b.v. de HISTOS winddata een extra waarschuwing voor hogere windkracht worden gegeven. Achter deze zgn. vore van lage luchtdruk nam de wind later toe tot 8 à 9 BFT. Merk op dat de vore zich niet verplaatst met de wind "die er op staat". De wind waait als het ware door het druksysteem heen. De trek-snelheid van de lijn van winddraaiing nam later zelfs af terwijl aan de westflank windstoten tot kracht 10 voorkwamen. Op deze ruimteschaal kan men inderdaad voorspellen door het verschijnsel te meten.

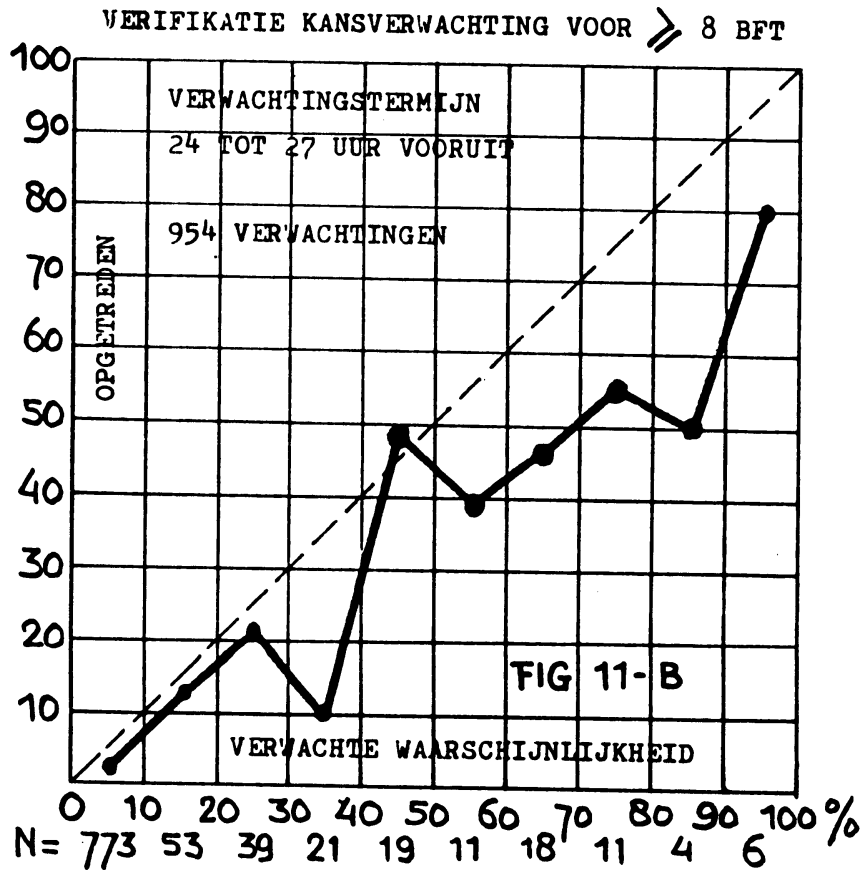
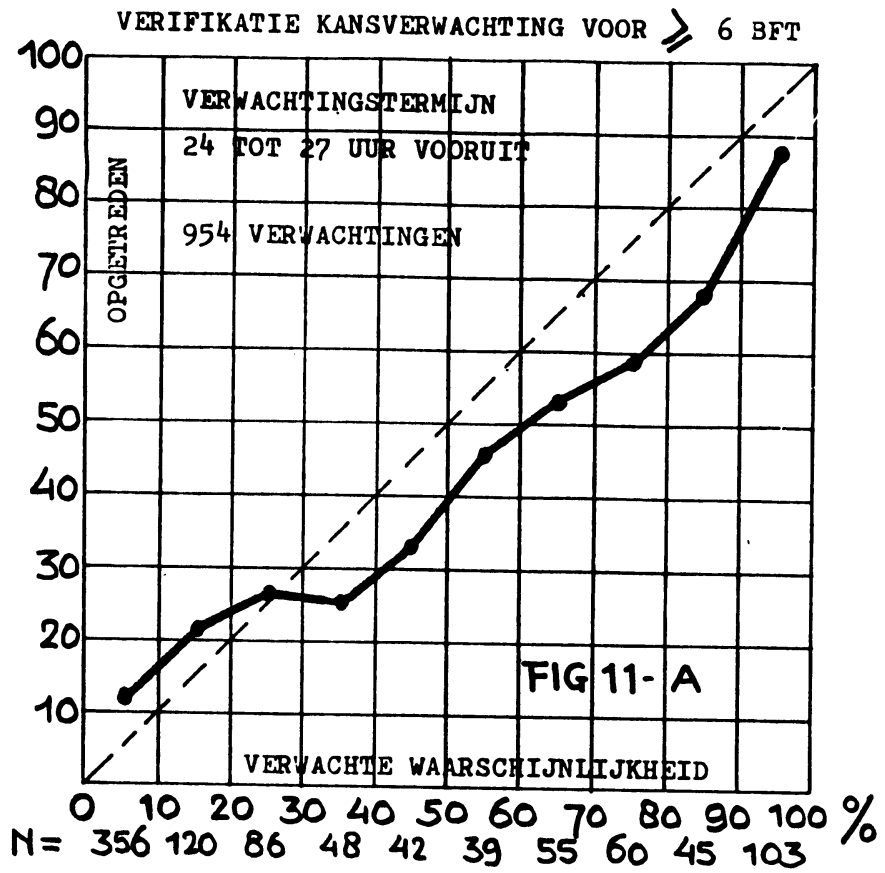
6. Verificatie van verwachtingen; een economische beschouwing

Tijdens de voorbereiding en opbouw van het HISTOS-net en HMC-prognosebedrijf zijn vele operationele voorlichtingskwesties met uitvoerders, projectleiders en werkmaterieelbemanning bediscussieerd. Er is een zekere mentaliteit vereist om dagelijks met het "onzekere" weer en de feilbare weersverwachting om te gaan en daarbij toch beslissingen te nemen en onbekende werkbaarheidsgrenzen door ervaring in te schatten. Naast de weersverwachting bleek het additioneel toegeleverd materiaal zoals de "briefing" op papier, de weerkaartjes, de snelle toelevering van waarschuwingen e.d. via VHF radio een extra ondersteuning te zijn. Niettemin was er meet van af een wens om te bezien wat de verwachtingen feitelijk waard zijn. Nu kunnen om voor handliggende redenen nimmer kategorale ja/nee verwachtingen worden toegeleverd. De ingeschatte zekerheid of onzekerheid van optreden van het weersverschijnsel blijkt echter een grootheid te zijn met nut voor de informatie-overbrenging die tevens geverifieerd kan worden. In de weerdienst worden alle uitspraken vastgesteld en naderhand gecontroleerd. Sinds enkele jaren wordt ook dagelijks een verificatieprocedure uitgevoerd voor kansverwachtingen voor de wind. In stappen van 10% waarschijnlijk wordt de kans op het overschrijden van windkracht 4 (gunstig), windkracht 6 (marginaal) en windkracht 8 (onveilig) voor onderscheiden verwachtingsperioden opgegeven.

Op alle werkdagen wordt dit tweemaal gedaan. Resultaten voor de periode tot 27 uur vooruit en wel voor het overschrijden van 6 BFT en 8 BFT zijn weergegeven in figuur 11a en figuur 11b.

Een 10% uitspraak geldt als "zeer onwaarschijnlijk" en een 90% verwachting als vrijwel zeker. Geconcludeerd kan worden dat de kansuitspraken beloond worden zij het dat vooral bij 8 BFT en hoger (en wel voor deze voorspeltermijn) sprake is van een systematische overschatting. We vinden hier de strategie van de voorlichter terug die probeert om aan de veilige kant te zitten. Beschouwd over vele verwachtingen heeft een 50% verwachting wel degelijk gebruikswaarde. In november is de statistische kans op \geq 8 BFT 3%. De 50% uitspraken bevatten aantoonbaar meerwaarde dan de klimatologie.

Figuur 11:



De investeringen voor het HISTOS-net en het HMC/UPS zijn in absolute zin niet gering geweest. In relatieve zin voldoen ze ruimschoots aan de 1% wet van de totale projectkosten als reservering voor operationeel weerkundige voorzieningen. Het economisch "plaatje" kan verder worden ingekleurd door het nut te becijferen indien geen meteorologische begeleiding zou zijn georganiseerd.

De beslisser beschikt dan slechts over klimatologische informatie en de waarde van zijn persistentie-verwachtingen tijdens actueel gunstig of ongunstig weer.

Voor een eenvoudige maar illustratieve voorstelling nemen we het volgende aan:

1. Een "ja"-werkbeslissing gevolgd door gunstig weer levert gemiddeld een winst op van 1 per dag;
2. Een "ja"-werkbeslissing gevolgd door ongunstig weer (inclusief onveilig weer) levert gemiddeld een winst op van -5 per dag;
3. Een "nee"-beslissing gevolgd door gunstig weer levert een winst op van -1 (gemiddeld productieverlies) en
4. Een "nee"-beslissing gevolgd door ongunstig weer levert eveneens een winst op van -1.

Over een periode van 100 dagen (of 100 operationele werkbeslissingen) kan nu becijferd worden indien de klimatologische kans op gunstig weer $P_k = 0,85$:

1. Indien geen meteorologische informatie wordt gebruikt zal de altijd Ja-beslisser (ook kort na ongunstig weer) een winst behalen van $W_j = (85 \times 5) - (15 \times 5) = + 10$

Hier is nog sprake van winst door een gunstige klimatologie.

2. Indien volmaakt trefzekere weersverwachtingen $P_m = 1$ worden benut zal de winst oplopen tot:

$$W_1 = (85 \times 1) - (15 \times 1) = 70;$$

3. Indien de meteorologische voorlichting dermate slecht is dat $P_m = 0$ dan worden voortdurend verkeerde beslissingen genomen en de winst bedraagt hier:

$$W_0 = - \{ (85 \times 1) + (15 \times 5) \} = -160.$$

In werkelijkheid geldt $0 < P_m < 1$ en indien verwachtingen met betrouwbaarheid P_m worden gebruikt geldt dat de totale winst na 100 dagen bedraagt:

$$W_t = (W_1 - W_0) P_m - W_0 = 230 P_m - 160.$$

Er is dus sprake van economisch nut indien de winst van de (persistentie) JA-beslisser wordt overtroffen m.a.w. indien:

$$W_t = 230 P_m - 160 > + 10.$$

Uitgerekend kan worden dat in dit geval een trefkans van meer dan 74% rendeert.

Op identieke wijze kan voor een andere situatie het volgende worden becijferd. Stel de kans op gunstig weer wederom op $P_k = 0,85$. Het gemiddelde verlies tijdens een ongunstige en onveilige werkdag bedraagt nu -8 i.p.v. -5.

De consequente Ja-beslisser heeft een Winst $W_j = -35$. (Hier blijkt de waarde van de statistiek en klimatologie door goede metingen en waarnemingen). Een meteorologische trefkans van meer dan 62% is echter al voldoende voor een economische verantwoorde operationele aanpak.

Stellen we in een slotvoorbeeld $P_k = 0,95$ en houden we -5 aan voor het gemiddelde verlies door ongunstig en heftig weer dan is er sprake van economisch nut indien de meteorologische trefkans boven 90% ligt. In dit geval kan de beslisser maar beter geen weersverwachtingen gebruiken bij zijn afwegingen.