

meteorologische berichtgeving  
voor de  
stormvloedkering oosterschelde

onder redactie van C. Floor

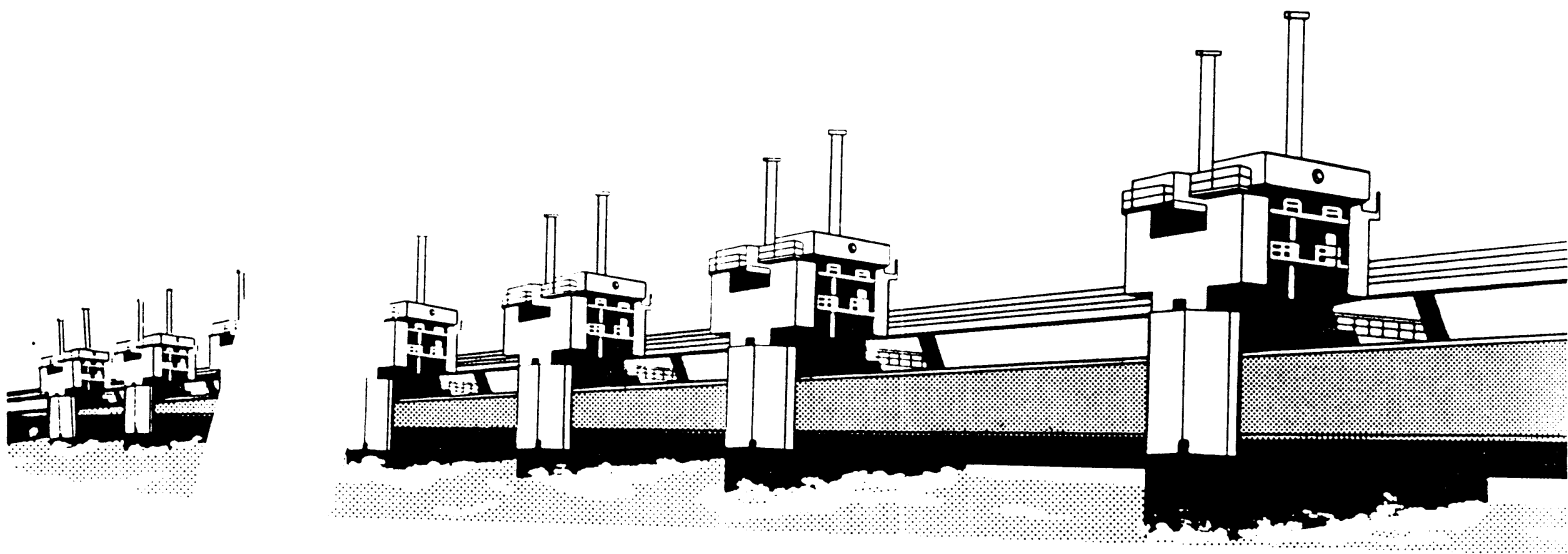
technische rapporten TR-101

---

# meteorologische berichtgeving voor de stormvloedkering oosterschelde

onder redactie van C. Floor

technische rapporten TR-101



INHOUD:

Voorwoord.....1

1. Het gebruik van meteorologische informatie bij het beheer van de stormvloedkering (C. Floor).....3

2. Het productieproces van de Oosterscheldeverwachtingen (C. Floor en P. Pancras).....6

3. Vakkenmethode voor opzetberekeningen (C. Floor).....10

4. Het fine-mesh atmosfeermodel van de Britse Weerdienst (C. Floor, J.P. de Jongh, H. Daan).....15

5. Wateropzetmodel WBN (H. Timmerman).....19

6. Het IOS-wateropzetmodel (C.J. Kok).....21

7. Golfhoogteberekening (P. Kruseman).....29

## VOORWOORD

Na een lange en bewogen periode van maatschappelijke discussie en politieke besluitvorming en na een bouwtijd van ca. 10 jaren is de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde op 4 oktober 1986 door H.M. de Koningin in gebruik gesteld. Door de keuze van een waterkering met beweegbare schuiven in plaats van een dichte dam worden twee doelstellingen nagestreefd. De eerste doelstelling, de beveiliging van grote delen van de provincie Zeeland tegen overstroming, wordt bereikt door de schuiven te sluiten als ten gevolge van zware stormen hoge waterstanden op de Oosterschelde worden verwacht. De tweede doelstelling, het zo goed mogelijk handhaven van het hoogwaardige zoutwater-getijde milieu van de Oosterschelde wordt gerealiseerd door de sluitingsfrequentie laag te houden en door tevens een zo kort mogelijke sluitingsduur te bewerkstelligen.

Het tegelijkertijd nastreven van de beide doelstellingen vraagt om een zorgvuldig beheer van de stormvloedkering. Meteorologische informatie omtrent te verwachten windsnelheden en -richtingen en daaraan gekoppelde verwachtingen omtrent de waterstandsopzet en de golfhoogte zijn hierbij van doorslaggevend belang.

Na een lange periode van meteorologische dienstverlening tijdens de uitvoering van deltawerken ziet het KNMI het als een eervolle opgave om een verantwoordelijke rol te mogen spelen bij het beheer van de stormvloedkering. Zij zal deze niet alleen uitvoeren door een adequate operationele dienstverlening, maar ook door het leveren van bijdragen aan de verdergaande ontwikkeling van numerieke modellen voor de berekening van de meteorologische randvoorwaarden, de waterstandsverhogingen en de golfhoogteverwachtingen.

Het voorliggende rapport heeft tot doel inzicht te verschaffen in gang van zaken rondom het opstellen van de Oosterschelde-verwachtingen en geeft tevens informatie over de toe te passen methodieken en de numerieke modellen waarmee de te verstrekken gegevens worden bepaald. De inhoud is zowel van belang voor de opstellers van de verwachtingen op het KNMI als voor de gebruikers ervan bij de RWS. Ik hoop dat dit rapport aan zijn doel beantwoord.

C. Kooman  
Directeur Operationele Dienst, KNMI

## 1. HET GEBRUIK VAN METEOROLOGISCHE INFORMATIE BIJ HET BEHEER VAN DE STORMVLOEDKERING

De beslissing over het al of niet sluiten van de stormvloedkering in de Oosterschelde en over het tijdstip waarop dat moet gebeuren, wordt mede genomen op basis van weersverwachtingen. Daarom heeft RWS, directie Zeeland, aan wie het beheer van de kering is toevertrouwd, het KNMI verzocht om verwachtingen van de waterstandsopzet, de windkracht, de windrichting en de golfhoogte voor een maatgevende locatie in de monding van de Oosterschelde\*. Met name de waterstandsverwachting is van belang omdat op basis van deze voorspelling automatisch bepaald wordt of de keringbemanning moet worden opgeroepen.

### Wisselstrategieën

Aan de keuze om weersverwachtingen te gebruiken bij het beheer van de stormvloedkering ligt een uitvoerige studie ten grondslag (RWS, 1985). Een eenvoudiger oplossing, namelijk automatische sluiting van de stormvloedkering zodra een bepaalde stand wordt bereikt of overschreden, bleek minder veilig. Het peil van het Oosterscheldebekken bedraagt namelijk bij een dergelijke werkwijze in stormvloedsituaties steeds ongeveer +3 m NAP. Bij zulke hoge waterstanden is de kans op schade aan de dijken van het Oosterscheldebekken - bijvoorbeeld door golfoverslag, door gebrek aan stabiliteit van de dijken, door erosie die optreedt als gevolg van doorstroming van water onder de dijk, of door de effecten van geconcentreerde golfaanvallen op glooiingen en grasmatten - te groot om te voldoen aan de norm van maximaal één overstroming per 4000 jaar. De stormvloedkering krijgt overigens wél een sluitinrichting die de kering bij te hoge waterstanden automatisch sluit. Deze komt bijvoorbeeld in actie als het meteorologisch voorspelsysteem zou falen.

De stormvloedkering kan wél zonder veiligheidsproblemen worden gesloten wanneer een binnenpeil van + 1 m NAP wordt gekozen of, bij twee- of drietopsstormvloeden, bij combinaties van binnenpeilen van 0, +1 en +2 m NAP (wisselstrategie). De wisselstrategie heeft bovendien het voordeel dat de effecten van de sluiting worden gespreid over de verschillende onderdelen van het milieu; daardoor worden de gevolgen voor milieu en visserij enigszins beperkt.

De keuze voor een wisselstrategie met verschillende binnenpeilen maakt de benodigde opzetverwachtingen voor de Oosterschelde omvangrijker dan voor de andere (SVSD-)basisstations. Als het besluit is gevallen dat de kering moet worden gesloten, gezien de te verwachten hoge waterstand, dient vervolgens te worden bepaald wanneer de kering moet worden gesloten om het gewenste binnenpeil te verkrijgen. Hiertoe worden modelberekeningen voor het Oosterscheldebekken uitgevoerd, die als invoergegevens uurlijkse waarden van wind en opzetten in de Oosterscheldemonding nodig hebben. Vandaar dat voor het basisstation Oosterschelde uurlijkse opzet- en windinformatie wordt geleverd, waar voor de andere basisstations kan worden volstaan met wateropzetten tijdens hoogwater (12-uurlijks). \*\*

## Ander gebruik stormvloedkering

Hoewel de kering in de Oosterschelde in feite is bedoeld om te gebruiken in stormvloedsituaties, acht RWS het ook in enkele andere gevallen zinvol en verantwoord om de kering buiten stormperioden te sluiten. Het gaat om:

- de beperking van de gevolgen van een dijkval en van opgetreden stormschade.
- de bestrijding van olieverontreiniging.
- het voorkomen van ernstige schade aan dijken voor drijfvijs.

Wanneer zo'n geval zich voordoet, zijn eveneens nauwkeurige opzet- en windverwachtingen voor de Oosterschelde nodig om het juiste tijdstip van sluiting te kunnen bepalen.

Elk ander gebruik van de stormvloedkering wordt niet verantwoord geacht. Gebruiksmogelijkheden die zijn onderzocht en afgewezen, zijn opgesomd in de tabel.

## Tabel

Afgewezen gebruiksmogelijkheden Stormvloedkering Oosterschelde.

- bij dreigende calamiteiten zoals het opsporen van vermiste personen;
- ter beperking van de kans op dijkval;
- om de berging van schepen te vereenvoudigen en om de gevolgen van een stranding van schepen buiten de Oosterschelde te beperken;
- ter beïnvloeding van de morfologie, de vegetatie of de fourageerfunctie van de Oosterschelde;
- ter voorkoming van verstikking van oesters in de winter;
- ter bevordering van slibafvoer van verwaterplassen;
- om bijzondere varende transporten te vereenvoudigen;
- om de effectiviteit van poldergemalen te verhogen;

## Besluitvorming

Het besluit om de stormvloedkering te sluiten wordt genomen door het hoofd van de operationele keringbemanning, samen met een assistent en een communicatieman. Dit beslisteam wordt geholpen en gecontroleerd door een elektronisch informatieverwerkend systeem dat het BSS (beslissimulatiesysteem) is gedoopt. De combinatie van de mens in de hoofdrol en de computer in de bijrol is bewust gekozen omdat ander de vereiste Deltaveiligheid niet gehaald werd: enerzijds is de kans op menselijk falen in calamiteitsomstandigheden te groot om alleen op mens te vertrouwen; anderzijds wordt ook een geheel geautomatiseerd systeem niet waterdicht geacht.

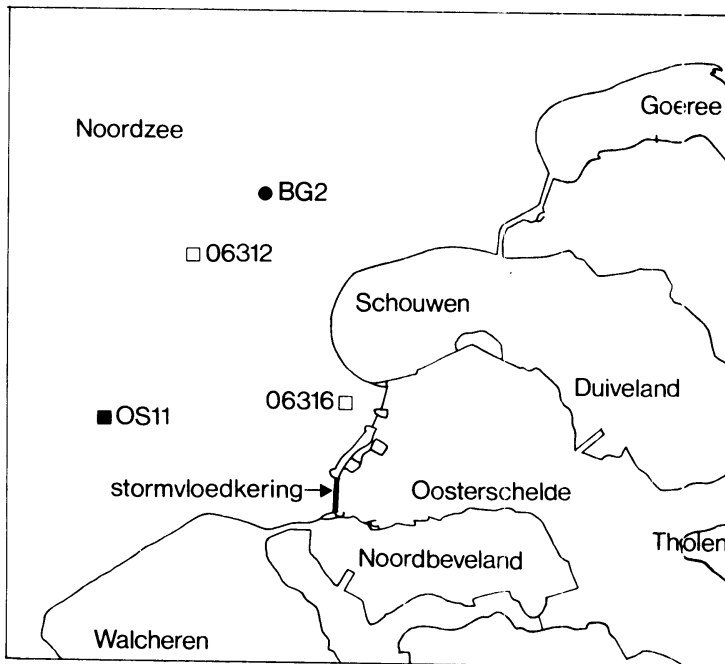
Het BSS is via een 2400 baud-lijn dag en nacht verbonden met de A9-computer op het KNMI; verwachtingen die door de meteoroloog verzonden worden arriveren dus vrijwel meteen op de kering. Het systeem heeft als eerste taak om na te gaan of de door het KNMI voorspelde opzet aanleiding geeft tot overschrijding van het sluitpeil. Als dat zo is zendt het BSS een signaal naar een telefoonkiezer, waarmee de bemanning via semafoons wordt opgeroepen. Terugmelding (oproep ontvangen) vindt plaats via een (in principe voor andere doeleinden) permanente post van RWS. Als zich voldoende bemanningsleden gemeld hebben zorgt het BSS ervoor dat geen verder personen worden opgeroepen.

Bij stormsituaties waarin een overschrijding van het sluitpeil verwacht wordt, biedt het BSS ondersteuning bij de besluitvorming van het beslisteam. Hiertoe geeft het systeem informatie over de actuele toestand en over metingen. Verder geeft het BSS voorschriften voor uit te voeren keringoperaties. Deze zijn gebaseerd op een aantal mogelijke draaiboeken, die in het systeem zijn opgenomen. Tevens wordt een aantal mogelijke alternatieven voor keringoperaties geevalueerd op gevolgen voor veiligheid en milieu. Het beslisteam kan eigen ideeën over mogelijk keringoperaties door het systeem op veiligheids- en milieu aspecten laten onderzoeken. Als een besluit wordt genomen dat buiten de basisregels valt waarover de computer beschikt volgt daarover een melding; het beslisteam neemt echter het uiteindelijke besluit. Tijdens de uitvoering van de sluiting bewaakt het BSS de gevolgde procedure en vergelijkt het de actuele situatie met de verwachte ontwikkelingen. De sluiting wordt uigevoerd door de centrale computerfiguratie (CCC) van de stormvloedkering, bediend door een operator ter plaatse.

RWS, z.j.: Beheer Stormvloedkering Oosterschelde, directie Zeeland; project Barcon, Middelburg.

RWS, z.j.; Het beslissysteem van de stormvloedkering Oosterschelde, project Barcon, Middelburg.

Figuur 1: Het Oosterscheldegebied met meetlocaties.



Omgeving Oosterschelde

- referentiestation wateropzet
- referentiestation wind, golven  
reservewindmeetpaal
- windmeetpaal

#### Voetnoten

- \* De opzetten gelden voor Roompot-Buiten, de wind- en golfverwachtingen zijn voor BG2, zie figuur 1.
- \*\* Verwachte golfhoogtes worden geleverd met tijdstappen van 6 uur.

## 2. HET PRODUCTIEPROCES VAN DE OOSTERSCHELDEVERWACHTINGEN

### C. Floor en P. Pancras

De meteorologische informatie die het KNMI aan RWS levert voor het beheer van de stormvloedkering Oosterschelde wordt in concept aangemaakt door de Burroughs A9 computer van het KNMI. De meteoroloog controleert het bericht, brengt zo nodig wijzigingen aan en geeft het terug aan de A9 die voor verdere afhandeling zorgdraagt. De gevolgde procedure wordt in dit hoofdstuk nader belicht.

#### Geleverde informatie

Ten behoeve van het operationele gebruik van de stormvloedkering in de Oosterschelde heeft RWS gevraagd om de volgende voorspelde grootheden:

- waterstandopzet te Roompot-Buiten, uurlijks, in cm., handmatig gecontroleerd op kwaliteit.
- windkracht te BG2, uurlijks, in 0,1 m/s.
- windrichting te BG2, uurlijks, in booggraden t.o.v. het geografische noorden.
- golfhoogte, tijdstap 6 uur, in cm.

De verwachtingen worden onder normale omstandigheden tweemaal daags geleverd; tijdens stormsituaties en bij eventueel ander gebruik van de kering kan de frekwentie van uitgifte desgewenst worden verhoogd. Het initiatief voor het leveren van de voorspellingen wordt door het KNMI genomen. De gekozen eenheden dienen opgevat te worden als "format" afspraken; conclusies over de nauwkeurigheid van de geleverde waarden kunnen er niet aan ontleend worden.

#### Aanmaak concept bulletin

De weergegevens voor Oosterschelde worden in concept aangemaakt door de Burrough A9 computer van het KNMI. De windrichting en windsnelheid te Oosterschelde worden betrokken van de uitvoer van het "fine-mesh" atmosfeermodel van de engelse weerdienst. De rekenresultaten van dit model dienen eveneens als invoergegevens van een KNMI wateropzetmodel en het GONO-golfmodel. Aan de uitvoer van deze modellen worden verwachte opzetten en deiningshoogten ontleend. De hoogte van de zeevang wordt bepaald uit de verwachte wind en vervolgens (op de voorgeschreven wijze) bij de deining opgeteld om de voorspelde golfhoogte te BG2 op te leveren. De zo verkregen waarden staan vermeld in een telexbulletin FQNL46, dat de meteoroloog kan oproepen (fig 2).

ZCZC 000 00000 04:56:13  
EUNLAG EHDB 030456

MODELUITVOER.BESTEMD VOOR METEOROLOOG.NIET VERZENDEN.  
OPZET- EN WINDVERWACHTING STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE.  
DE VERWACHTING VAN: DONDERDAG. 3 SEPTEMBER 1987 0000 UT.

HIERONDER STAAN DE DOOR DE COMPUTER BEREKENDE WAARDEN.  
UT 0300 0303 0306 0309 0312 0315 0318 0321 0400 0403 0406 0409 0412  
0Z -3 -3 -1 1 2 5 5 7 6 7 10 15 14  
DE 1206 1507 1609 1809 1908 1907 1909 1908 2208 2610 2611 2613 2513  
SG 16 30 30 36 36 36 67 83

0Z: DE VERWACHTE OPZET IN CM.  
DE: DE WINDRICHTING,AFGEROND OP TIENTALLEN  
GRADEN EN WINDSNELHEID IN KNOPEN.  
SG: SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN (ZEEVANG + DEINING) IN CM.

TIJD+STAND HW:1 0829UT.107NAP HW:2 2113UT.128NAP HW:3 1005UT.123NAP

OPGESTELD DOOR : H9.

NNNN



### Handmatige kwaliteitscontrole

Verzending van een weerbericht naar het BSS kan uitsluitend plaatsvinden door tussenkomst van de meteoroloog. Hiertoe start hij een interactief computerprogramma "SVKO" op (zie bijlage op blz 8), waarna de door de computer berekende waarden voor opzet en wind op zijn beeldscherm verschijnen (fig. 3).

```

58 OPZET- EN WINDVERWACHTING STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE.
  DE VERWACHTING VAN: VRIJDAG, 23 JANUARI 1987 0000 UT.
60 -----
  door de computer berekende waarden (in cm, 10-tal graden, kts)
62 -----
64 UT 2300 2303 2306 2309 2312 2315 2318 2321 2400 2403 2406 2409 2412
  OZ -14 -12 -15 -9 -9 -13 -13 -10 -10 -10 -13 -10 -11
66 WF 2504 3105 3005 2907 2707 2903 2903 3008 3008 3108 3207 3207 3106
68 TJD+STAND(HW:1 0617 UT,111 NAP) (HW:2 1857 UT,112 NAP) (HW:3 0726 UT,104 NAP)
  -----
69 Verwerking:
  1. Eerst eventuele wijzigingen aanbrengen.
  2. Vervolgens paraaf intikken en bladdijde verzenden.
  3. Ziet 4-er vanaf, dan 3 spaties verzenden.
72 -----
  PARAAF OE SPATIES => ELR

```

Als het sluitpeil volgens de computerberekeningen zal worden overschreden wordt dit op het scherm vermeld. Indien nodig brengt de meteoroloog wijzigingen in de getallen aan; zo niet, dan volstaat hij met het intikken van zijn paraaf en het indrukken van de verzendknop. Het computerprogramma voegt de bijbehorende significante golfhoogtes toe en verzorgt de verzending via de vaste lijnverbinding KNMI-BSS. Tevens wordt een telexbulletin FQNL47 aangemaakt, dat in voorkomende gevallen gebruikt kan worden om de SVSD, andere belanghebbenden of belangstellenden en bij lijnstoring de mensen op de kering zelf te kunnen informeren over de uitstaande verwachtingen (fig. 4).

```

104 00000 (00:04:17)
  FQNL47 EMDR 230824
  -----
  KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT (KNMI)
  CENTRALE WEERDIENST,POSTBUS 201,3730 AE DE BILT.
  TELEFOON 030-766911. TELEFAX 030-770407. TELEX 47000.
  -----
  KNMI BERICHTGEVING BEHEER STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE.
  -----
  BIJ GETIJFASE VERZENDEN AAN
  RIJKSWATERSTAAT SVD,DEEN HAAZ,TELEFAX 077221 1901
  -----
  BIJ LIJNSTORING TEvens VERZENDEN AAN
  RIJKSWATERSTAAT BSS-STORMVLOEDKERING,TELEFAX 077221 1901
  -----
  OPZET- EN WINDVERWACHTING STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE.
  DE VERWACHTING VAN: VRIJDAG, 23 JANUARI 1987 0000 UT.
  -----
  UT 2300 2303 2306 2309 2312 2315 2318 2321 2400 2403 2406 2409 2412
  OZ -14 -12 -15 -9 -9 -13 -13 -10 -10 -10 -13 -10 -11
  WF 2502 3103 3003 2904 2704 2904 2904 3004 3004 3104 3204 3204 3102
  SG 9 15 24 34 44 46 44 47
  -----
  OZ : DE VERWACHTE OPZET IN CM.
  WF : DE WINDRICHTING,AFGEROND OP TIENDALLEN
  GRADEN EN WINDSHELHEID IN M/S.
  SG : SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE (ZEEGANG + DEINING) IN CM.
  -----
  TJD+STAND HW:1 0617UT,111NAP HW:2 1857UT,112NAP HW:3 0726UT,104NAP
  -----
  OPGESTELD DOOR TELK

```

Wanneer de benodigde computergegevens ontbreken (door computerstoring in Engeland of t.g.v. een lijnstoring) kan de meteoroloog met het programma zelf een bericht aanmaken. Zes uur na verzending wordt het bericht automatisch herhaald. Dat is gedaan om de kans, dat de tijd tussen twee opeenvolgende berichten meer dan 13 uur bedraagt, zo klein mogelijk te maken. In dat geval zou het BSS namelijk nodeloos alarm slaan en de keringbemanning voor niets laten komen. Getracht wordt het aantal loze alarmen per jaar (door mislukte verwachtingen en door storing gezamenlijk) tot hooguit 6 à 7 te beperken. Tweemaal daags controleert een computerprogramma of de Oosterschelde verwachting inderdaad naar het BSS is verzonden. Als verzending nog niet heeft plaatsgevonden verschijnt er op de printer bij de wachtchef van de centrale Weerdienst een bericht met het verzoek de verwachting alsnog op te stellen en te verzenden. De wachtchef waarschuwt de meteoroloog die actie onderneemt.

## Bijlage

### IMISOBJECT SVKO

Het programma SVKO wordt gebruikt om dagelijks wind-, opzet- en golfhoogteverwachtingen te verzenden naar het B.S.S. (beslis en simulatie systeem) van Rijkswaterstaat.

Dit alles i.v.m. het beheer van de STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE.

Het programma wordt opgestart door de meteoroloog.

Als eerste gaat het programma kijken of de file DATA/SVKO aanwezig is.

Er kunnen nu 3 situaties ontstaan:

1. De file is aanwezig en de analysedtg\* uit de file is gelijk aan de analysedtg die bij de opstart hoort.  
De analysedtg uit de file heeft als begintijdstip 00.00 uur of 12.00 uur; dit is ook zo voor de analysedtg die bij de opstart hoort. Als we b.v het programma om 18.00 uur opstarten dan wordt het begintijdstip van de analysedtg die bij de opstart hoort 12.00 uur. Als deze situatie is ontstaan ga dan verder naar geval 1.
2. De file is aanwezig, maar de analysedtg uit de file is niet gelijk aan de analysedtg die bij de opstart hoort. Dat is bijvoorbeeld het geval als de analysedtg uit de file begintijdstip 00.00 uur heeft en men het programma opstart om 17.00 uur op (dus begintijdstip analysedtg is dan 12.00 uur). Als deze situatie is ontstaan ga dan verder naar geval 2.
3. De file is niet aanwezig (geval 3).

#### Geval 1

Er wordt nu een scherm gepresenteerd met de volgende gegevens (fig 3):

- a. 13 opzetten in c.m.
- b. 13 windrichtingen in tientallen graden.
- c. 13 windsnelheden in knopen.
- d. 3 hoogwater standen + tijden (hoogwater is de astronomische stand + de opzet).
- e. eventuele alarmmeldingen tijdens de hoogwater perioden.

De gebruiker kan nu een keus maken uit 3 mogelijkheden:

1. stoppen met de verwerking door spaties te verzenden.
2. gegevens wijzigen en een paraaf invullen, daarna de gegevens verzenden.
3. de gegevens ongewijzigd laten en een paraaf invullen, daarna gegevens verzenden.

\* dtg staat voor: datumtijdgroep

Bij de laatste 2 mogelijkheden worden de gegevens gecontroleerd op eventuele fouten in de invoer.

Als er een fout gevonden wordt, dan volgt er een display en het programma gaat terug naar de presentatie van de oorspronkelijke gegevens.

Als er geen fout gevonden wordt presenteert het programma de verzonden waarden, met eventueel nieuwe alarmmeldingen.

Er wordt ook een imisbulletin aangemaakt met de heading FQNL47 EHDB "DDUUMM" ("DDUUMM" = de verzendtijd).

Tevens wordt er een bericht verzonden naar het B.S.S. (beslis en simulatie systeem) van de Rijkswaterstaat.

## Geval 2

Er volgt nu een display dat de beide analyse datumtijdgroepen niet hetzelfde zijn.

De gebruiker kan nu een keus maken uit 3 mogelijkheden (fig 5): 1.

1. Presentatie van de vorige analyse gegevens door een "P" te verzenden.

Nu dezelfde werkwijze hanteren als beschreven is voor geval 1.

2. Zelf een bericht aanmaken door een "Z" te verzenden.

De analysedtg wordt nu de analysedtg die bij de opstart hoort. Er wordt nu een scherm gepresenteerd waarin men de volgende gegevens zelf in moet vullen:

2.1 13 opzetten in cm. (tussen -400 en +400).

2.2 13 windrichtingen in tientallen graden (tussen 01 en 36).

2.3 13 windsnelheden in knopen.

## Figuur 5:

```

)  +-----+
)  | 1.1  |      Opganalyse voor de opstart is:  7910010
)  | 1.1  |      Opganalyse uit de file is:      2012360
)  | 1.1  |      H MOET EEN KEUS MAKEN UIT DE VOLGENDE MOGELIJKHEIDEN:
)  |-----|
)  | 1.1  |      P - Presentatie oude gegevens met de datum 07910010
)  | 1.1  |      Z - Zelf een bericht aanmaken met de datum 07910010
)  | 1.1  |      S - Stoppen met de verwerking en wachten op de nieuwe gegevens.
)  |-----|
)  | 1.1  |      KEUS = P - Presentatie oude gegevens
)  | 1.1  |      KEUS = Z - Zelf een bericht aanmaken
)  | 1.1  |      KEUS = S - Stoppen met de verwerking
)  |-----|
)  | 1.1  |      KEUS = 0 - AUIT GEMIDDELD
  
```

Als de gegevens en een paraaf ingevuld zijn, worden de gegevens gecontroleerd op eventuele fouten. Als er een fout gevonden wordt volgt er een display en het programma gaat terug naar de presentatie van het scherm, waarbij de gegevens zelf ingevuld moeten worden. Als er geen fout gevonden wordt dan presenteert het programma de verzonden waarden, met eventueel alarmmelding. Er wordt ook een imisbulletin aangemaakt met de heading FQNL47 EHDB "DDUUMM" (DDUUMM = de verzendtijd).

Tevens wordt er een bericht verzonden naar het B.S.S. (beslis en simulatie systeem) van Rijkswaterstaat.

Ook kan men i.p.v. gegevens en een paraaf spaties verzenden waardoor het programma stopt met de verdere verwerking.

3. Stoppen met de verwerking door een "S" te verzenden.

## Geval 3

Er volgt nu een display dat de file niet aanwezig is.

De gebruiker kan nu een keus maken uit 2 mogelijkheden:

1. Stoppen met het programma door een "S" te verzenden.

2. Zelf een bericht aanmaken door een "Z" te verzenden (zie dan geval 2).

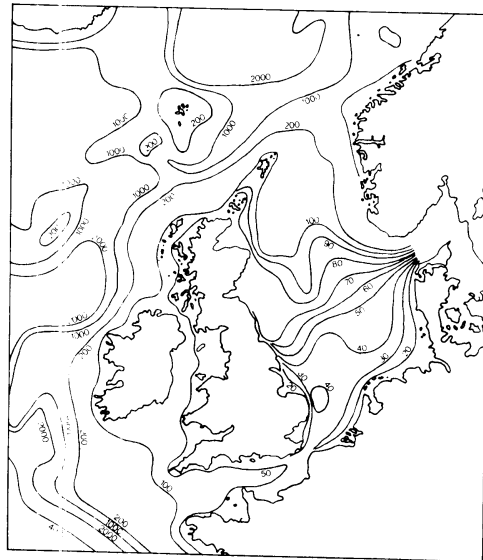
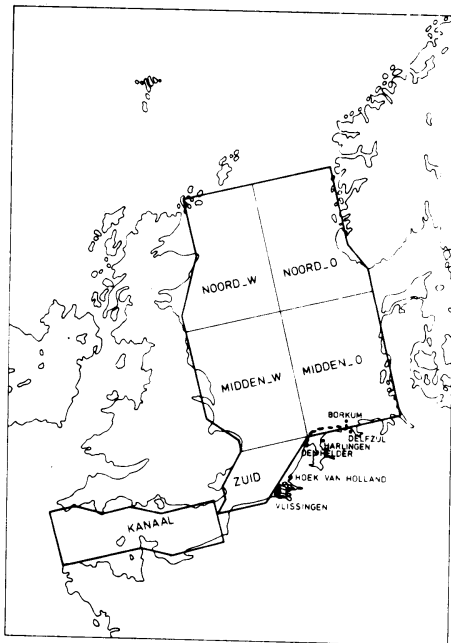
### 3. VAKKENMETHODE VOOR OPZETBEREKENING

#### C. Floor

Sinds september 1971 maakt de weerdienst te De Bilt gebruik van een methodiek voor de berekening van wateropzetten, die bekend staat als de "vakkenmethode". De methode werd ontwikkeld door Timmerman (1977), die voortbouwde op het werk van Schalkwijk (1947) en Weenink (1958). Deze methodiek speelt een cruciale rol in de door RWS gevraagde handmatige kwaliteitscontrole op de automatisch vervaardigde waterstandsvoorspellingen voor het Oosterscheldegebied en zal daarom in dit hoofdstuk worden toegelicht.

#### Windeffect

De langs onze kust gemeten waterstanden tijdens hoog- en laag water komen zelden overeen met de door RWS berekende zogeheten astronomische standen. Het verschil tussen beide standen noemt men de opzet en heeft hoofdzakelijk meteorologische oorzaken, al blijkt bij rustig weer dat de astronomische standen niet altijd exact zijn (Bakker, 1967). Vooral de invloed van de wind is belangrijk. Deze oefent op het water een meeslepende kracht uit, de schuifspanning. Als het waait gaat het wateroppervlak scheef staan. Hoewel de optredende hellingen gering zijn - een zware noordwesterstorm boven de Noordzee levert een helling van  $1:300.000$  -, zijn de effecten duidelijk merkbaar door de grote afstanden waar het omgaat, in het geval van de Noordzee ongeveer 900 km. De opzet is evenredig met het kwadraat van de windsnelheid en omgekeerd evenredig met de waterdiepte. Om te komen tot nauwkeurige opzetberekeningen is de Noordzee verdeeld in een aantal vakken, die elk een eigen bijdrage leveren aan de totale opzet, afhankelijk van de wind ter plaatse. De vakken zijn afgebeeld in fig. 6 (links).



Vooral een schuine stand van het gedeelte van de Noordzee dat bestaat uit de vakken noord-west, midden-west en zuid resulteert in hoge opzetten aan de Oosterscheldemonding. Vak zuid draagt ongeveer evenveel bij als vak midden-west; op grond van de kleinere afmetingen zou men een kleinere bijdrage mogen verwachten maar de geringere diepte (vgl. fig. 6 rechts) doet dit effect weer teniet.

De bijdrage van vak noord-west is door de relatief grote diepte slechts de helft à een derde van de bijdragen, die elk van de beide andere vakken afzonderlijk levert. De oostelijke vakken van de Noordzee hebben nog weer minder invloed, al kunnen ze bij nauwkeurige opzetberekeningen uiteraard niet verwaarloosd worden. Naast de Noordzee kan ook het Kanaal bijdragen aan de opzet die zich in de Zeeuwse wateren voordoet. Bij zuidwestenwind ontstaat in het Nauw van Calais flinke verhogingen die zich vandaaruit langs de de Vlaamse en Zeeuwse kust naar het noorden toe voortplanten. De bijdrage van het Kanaal is in zo'n situatie groter dan die van de andere vakken.  
Drukeffect en "external surge"

Wanneer de luchtdruk afwijkt van een "normale" waarde wordt het zeeoppervlak uit zijn ruststand gehaald. Lage barometerstanden geven aanleiding tot een verhoging van de zeespiegel, hoge barometerstanden tot een verlaging. In een stationaire toestand geldt de hydrostatische grondvergelijking (Keers 1966). Elke mb drukafwijking resulteert dan in 1 cm verhoging of verlaging van het zeeoppervlak. In de praktijk is de situatie uiteraard niet stationair. Schalkwijk (1947) onderzocht het drukeffect aan de hand van gemeten waterstanden tijdens rustig weer, zodat het windeffect geen rol speelde. Hij vond een waarde van de drukcorrectie die 50% bedroeg van de waarde voor stationaire situaties.

Veel opmerkelijker is het drukeffect boven diep water, zoals juist buiten de rand van het continentale plat ten noordwesten van Schotland (Timmerman 1975). Diepe depressies veroorzaken daar een "berg" water, die langs de Schotse noordkust de Noordzee binnentrekt en net als een getijgolf tegen de wijzers van de klok in de Noordzee rondtrekt. Een opzet ten gevolge van dit effect te Wick (Noord-Schotland) kan 12 uur later teruggevonden worden langs de Nederlandse kust. Het effect staat bekend als external surge (extern veroorzaakte opzet) omdat de oorzaak ervan buiten de Noordzee en het continentale plat ligt.

#### Dynamische effecten

De windeffecten voor opzetberekeningen zijn gebaseerd op evenwichtssituaties. In de periode waarin nog geen evenwicht is bereikt kunnen hogere opzetten optreden. Dat is met name het geval wanneer de loopsnelheid van de "opzetgolf" gelijk is aan de verplaatsingssnelheid van het windveld dat de opzet genereert. Omdat de golflengte van de "opzetgolf" groter is dan de diepte van de Noordzee en de amplitudo kleiner, geldt als voortplantingssnelheid  $V_g H$ , met  $g$  de versnelling van de zwaartekracht en  $H$  de diepte van de Noordzee. Dieptes van 29 à 33 m, zoals op de zuidelijke Noordzee leveren dan snelheden op van 29-36 kts. (Timmerman 1971, Keers 1966). Ter berekening van dit verschil tussen het maximale werkelijke wind effect en het maximale evenwichtswindeffect van een stormvloed, het zogenoemde "opzwiepeffect", heeft Schalkwijk (1947) de volgende empirische regel opgesteld: "Het opzwiepeffect is 2.2 maal de maximale stijging per uur in de evenwichtswindeffectkromme (formulering volgens Weenink, 1960). Het effect leeft kwalitatief voort in één van de aanvullende regels bij opzetberekening voor de getijmeteorologen van de centrale weerdienst te de Bilt:" een trogpassage of frontpassage geeft op het moment van voorbijtrekken een extra toeneming van de opzet". In beide gevallen dient de meteoroloog de correctie alleen toe te passen bij geschikte verplaatsingssnelheden van het opzetgevende windveld of van de bijbehorende troggen of koufronten, nl. tussen 29 en 36 kts.

Het opzwiepeffect is op te vatten als een vorm van resonantie. Een tweede vorm van resonantie treedt op wanneer de tijd tussen twee opeenvolgende stormvloedén gelijk is aan de natuurlijke trillingstijd van de Noordzee (Weenink, 1960). In zo'n geval mag men bij de tweede storm extra opzetten verwachten. Na het plotseling wegvallen van de wind boven de Noordzeevakken die aan de opzet bijdragen blijft de zee nog "naschommelen" als een grote bak met water. Men spreekt van terugslingering. De trillingstijd is in noord-zuidrichting 15-18 uur. Na een opzet van 1m volgt een halve periode later een verlaging van 0,5m; een volle periode later volgt een extra verhoging van 0,25m.

#### Werkwijze meteoroloog

Bij het opstellen van een opzetverwachting gaat de meteoroloog uit van aktuele en verwachte druk- of windvelden boven het Noordzeegebied. De windsnelheid is omgekeerdevenredig met de afstand tussen de isobaren op de weerkaart. De evenredigheidsconstante hangt af van de geografische breedte, van de dichtheid van de lucht en van de stabiliteit, die op zijn beurt hoofdzakelijk bepaald wordt door het temperatuursverschil tussen lucht en zeewater. Om uit een luchtdrukveld de bijbehorende windsnelheden af te leiden gebruikt de meteoroloog een door Bijvoet (1957) ontwikkeld windschaaltje.

Als standaardstormvloedsituatie is gekozen voor koude lucht van 8°C boven warm zeewater van 10°C bij een luchtdruk van 1000mb en op 55°NB; als hoek tussen werkelijke wind en isobaren is 10° gekozen. Voor elk van de vakken van figuur 6 bepaalt de meteoroloog de isobaarrichting en de windsnelheid op het tijdstip dat voor het hoogwater te Oosterschelde van belang is. Het effect van een opzet veroorzakende wind boven een vak is namelijk niet direct merkbaar aan de gemeten opzetten; naarmate de afstand tot het vak groter is duurt het langer voor de opzetten "arriveren". Voor de noordvakken is de weersituatie 9 uur voor hoogwater (of voor een ander tijdstip waarvoor met de opzet wil weten) van belang; bij de midden-vakken en het kanaal werkt de daar optredende wind 6 uur later door in de opzet en bij vak zuid wordt een vertraging van 3 uur aangehouden. Bij het bepalen van de windsnelheid boven de vakken wordt al rekening gehouden met de geografische breedte van de vakken. Met behulp van een tabel (Floor, 1986) bepaalt de meteoroloog uit de gevonden windsnelheid en isobaarrichting de bijdrage per vak aan de opzet te Oosterschelde. Wanneer de windrichting belangrijk meer dan 10 graden afwijkt van de isobaarrichting wordt een isobaarrichting gekozen die beter met de waargenomen of verwachte windrichting correspondeert. Zo nodig past de meteoroloog op de uiteindelijk berekende totaal verwachte opzet een stabiliteits-, dichtheids- en/of luchtdrukcorrectie toe. Verder wordt gekeken naar een eventuele "external surge" en naar opzweep- een terugslingeringseffecten. Het gecorrigeerde windeffect levert de uiteindelijke opzetverwachting van de meteoroloog. In de recente operationele praktijk gebruikt de meteoroloog in plaats van de tabel vaak een geautomatiseerde vakkenmethode (van Lindert, 1984). De windgegevens van het Engelse fine-mesh atmosfeermodel worden hierbij als "default"-waarde gepresenteerd (van Lindert, 1987) en worden door de meteoroloog zonodig in overeenstemming gebracht met de werkelijke situatie.

Literatuur

Bakker, A.C. 1967

Een poging tot eliminatie van onnauwkeurigheden in de getijtafels voor Vlissingen en Hoek van Holland ten behoeve van de waterstandsverwachtingen. KNMI verslagen V-204-II.

Bijvoet, H.C. 1957

A new overlay for the determination of the surface wind over sea from surface weather charts. KNMI Med. en Verh. No 71.

Floor, C. 1986

Opzettabel basisstation Oosterschelde. KNMI memorandum CWD 86-9 (niet gepubliceerd).

Keers, J.F. 1966

The meteorological conditions leading to storm surges in the Northsea. Met. mag. 95, pp 261-272.

Schalkwijk, W.F. 1947

A contribution to the study of storm surges on the Dutch coast. KNMI Med. en Verh. serie B, deel 1, no 7.

Timmerman, H. 1971

On the connection between cold fronts and gustbumps. Deutsche Hydr. Z. Bd 24, H4.

Timmerman, H. 1975

On the importance of atmospheric pressure gradients for the generation of external surges in the North Sea. Deutsche Hydr. Z, Bd 28, H.I.2

Timmerman, H. 1977

Meteorological effects on tidal heights in the North Sea. KNMI. Med. en Verh. No 99.

Weenink, M.P.H. 1958

A theory and method of calculation of wind effects on sea levels in a partly-enclosed sea, with special application to the southern coast of the North Sea. KNMI, Med. en Verh. No 73.

Weenink, M.P.H. 1960

De stormvloed van 21 t/m 24 december 1954: een geval van resonantie. KNMI wetenschappelijk rapport; WR 56-002 (IV-013).

Van Lindert, F.X. 1984

Verslag onderzoek nauwkeurigheidsopgave waterstandsverwachting. KNMI memorandum CWD 84-16 (niet gepubliceerd).

Van Lindert, F.X. 1987

UK-6-winden als "default"-waarden voor de geautomatiseerde vakkenmethode bij de waterstandsverwachting. KNMI memorandum CWD 87-02 (niet gepubliceerd).





#### 4. HET "FINE-MESH" ATMOSFEERMODEL VAN DE BRITSE WEERDIENST

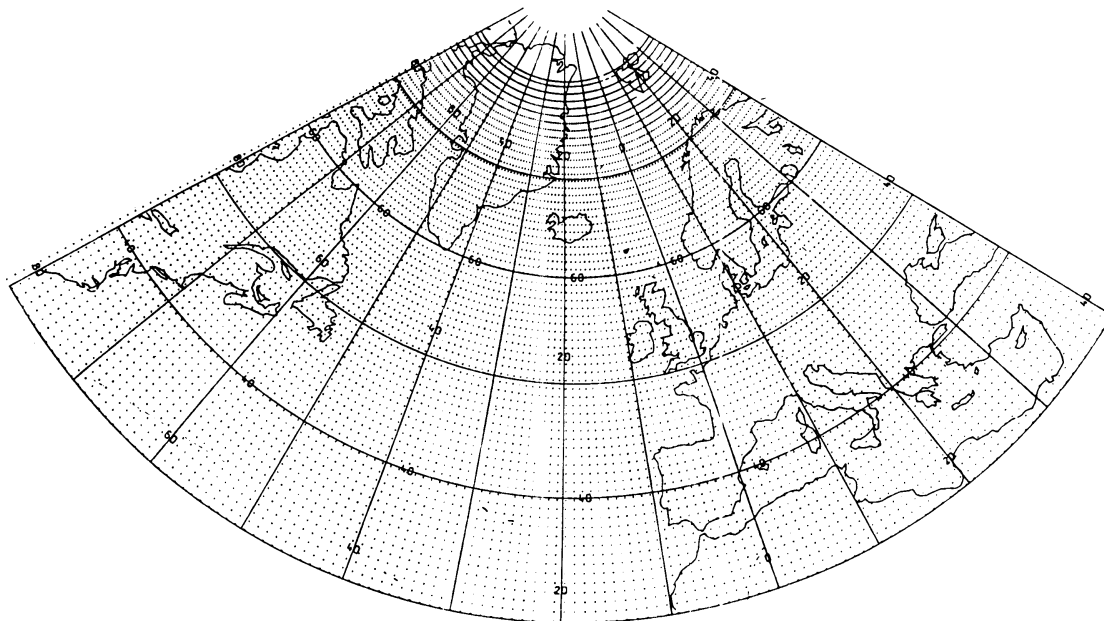
C. Floor, J.P. de Jongh, H. Daan.

##### Inleiding

De computerberekende windgegevens die in het productieproces van het Oosterscheldebulletin een rol spelen zijn afkomstig van het zogeheten "fine-mesh" atmosfeermodel van de Britse Weerdienst (UKMO, United Kingdom Meteorological Office) te Bracknell, Engeland. De door dit computermodel berekende winden worden gebruikt als invoervariabelen voor meerdere computermodellen en geautomatiseerde verwachtingsmethodieken. Enerzijds gaat het hier om de modellen voor de berekening van wateropzet en deining. Anderzijds levert het UKMO-fine-mesh model de "default"-waarden voor de zogenoemde "vakkenmethode" voor de opzetberekening (zie hfdst. 7) en de zegang (zie hfdst. 8). Daarnaast wordt de default-waarde voor de wind te Roompotsluis ontleend aan de UKMO fine-mesh gegevens. De UKMO-fine-mesh windgegevens liggen dus aan de basis van het productieproces van het Oosterscheldebulletin. We gaan daarom wat uitgebreider in op het computermodel dat deze winden levert.

##### Resolutie

Het atmosfeermodel van de Britse Weerdienst is ingevoerd in 1982 na de komst van een Cyber 205-supercomputer. Het is een 15-lagen model, waarvan 2 versies bestaan die beide tweemaal daags draaien. De eerste versie is grofschalig (coarse-mesh) en bestrijkt de gehele aardbol met een resolutie van 150 km. De berekeningen die het model uitvoert gaan tot 6 dagen vooruit. Een tweede versie is fijnmazig (fine-mesh) en levert de "informatie" voor de Oosterscheldeverwachtingen. Het rekengebied is beperkter, namelijk het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan en West-Europa (fig. 7).



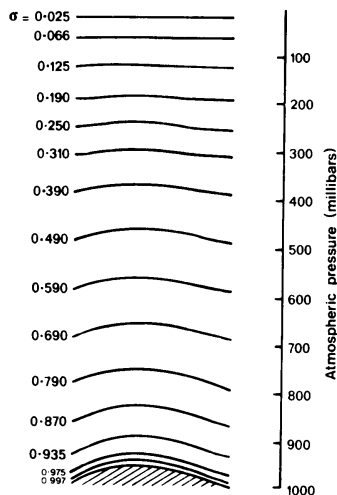
De resolutie bedraagt 75 km; de berekeningen gaan tot 36 uur vooruit. Als ontwerpstrategie voor beide versies werd gehanteerd het ontwikkelen van een eenvoudig economisch model met een zo hoog mogelijke resolutie binnen de mogelijkheden van de beschikbare computerfaciliteiten.

## Modellering

Natuurkundige processen als convectie, neerslagvorming, straling en verticale warmteuitwisseling en transport van vocht en impuls in de grenslaag zijn gemodelleerd. Het model gebruikt prognostische vergelijkingen voor impuls, temperatuur en vocht, naast de continuïteitsvergelijking en de hydrostatische vergelijking. Met orografie en land-zee verdeling wordt in het model rekening gehouden.

## Coördinaten en roosters

De gehanteerde coördinaten zijn lengte  $\lambda$ , breedte  $\phi$  en een verticale coördinaat  $\sigma = p/p_0$  met  $p$  de druk op het betreffende vlak en  $p_0$  de druk aan de grond. De 15  $\sigma$ -vlakken zijn ongelijkmatig verdeeld om een betere resolutie te krijgen de grenslaag en in de omgeving van de jet-stream en de tropopauze (fig. 8). Op elke  $\sigma$ -nivo worden windcomponenten, potentiële temperatuur, vochtigheid en hoogte (geopotential) berekend. De gridpunten van het rekenrooster hebben onderlinge horizontale afstanden van  $\Delta\lambda = 0.9375^\circ$  en  $\Delta\phi = 0.75^\circ$  (fig. 7,8).



Sigma levels of the 15-level model

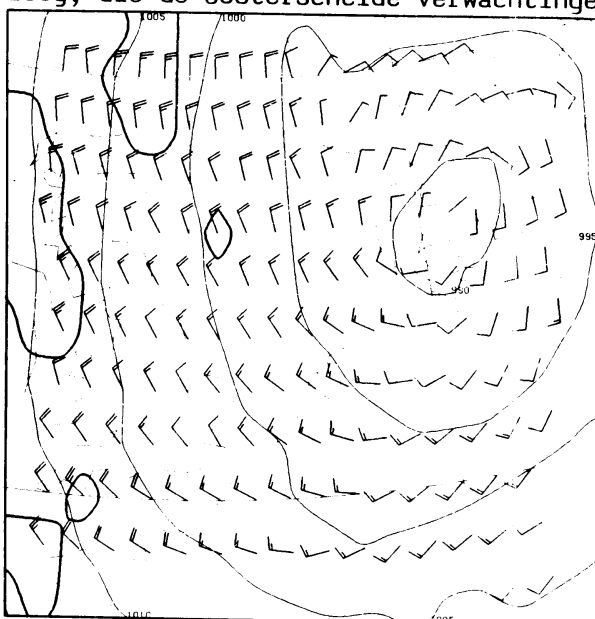
Het rekengebied wordt begrensd door de meridianen van  $80.625^\circ$  WL en  $39.375^\circ$  OL en door de breedtecirkels van  $79.5^\circ$  en  $30^\circ$  NB; het gebied omvat 129 kolommen van oost naar west en 67 rijen van noord naar zuid. Op alle roosterpunten worden gronddruk, potentiële temperatuur, vochtigheid, verticale snelheid en hoogte (geopotential) berekend. De berekende waarden voor de horizontale windcomponenten gelden op punten die middentussen 4 roosterpunten inliggen.

## Rekencyclus

Bij de berekeningen van het fine-mesh model worden rekenresultaten van de coarse-mesh modelrun van 12 uur tevoren gebruikt als waarden aan de randen van het rekengebied. Een fine-mesh rekencyclus begint met de coarse-mesh analyse van 12 uur tevoren als gisveld. Waarnemingen van na dat tijdstip worden in het model ingevoerd na kwaliteitscontrole en bepaling van een gewichtsfactor. Op deze manier ontstaan 4 fine-mesh analyses met tussenstappen van 3 uur. Door het gisveld voor analyses en de informatie voor de randen te baseren op dezelfde "run" van het coarse-mesh model voorkomt men discrepanties tussen modelrand en het inwendige van het model.

## Beschikbaarheid gegevens

Het fine-mesh model draait een 00 UT-en een 12 UT-run. Waarnemingen die om 02 UT resp. 14 UT binnen zijn worden nog bij de berekeningen gebruikt. Om 03 UT resp. 15 UT zijn de rekenresultaten te Bracknell beschikbaar. Vervolgens worden ze via het Global Telecommunication System (GTS) verzonden naar o.a. De Bilt. Het bij verzending gebruikte rooster heeft een roosterpuntafstand van  $1.25^\circ$  (fig. 3). Het gebied waarvan de rekenresultaten beschikbaar zijn loopt van  $32.5^\circ$  NB tot  $75^\circ$  NB en van  $70^\circ$  WL tot  $35^\circ$  OL. Te De Bilt wordt alleen informatie ontvangen over het gebied tussen  $35^\circ$  WL en  $35^\circ$  OL. Kort na 04 UT en 16 UT zijn de geëxtraheerde files met UKMO fine-mesh gegevens in de Burroughs A9 computer te De Bilt aangemaakt en gereed voor gebruik, waarna het golven- en het wateropzetmodel kunnen worden opgestart. Druk en windgegevens worden voor het Noordzeegebied grafisch gepresenteerd aan de meteoroloog, die de Oosterschelde verwachtingen opstelt en bewaakt (fig. 9).



Kwaliteit

De bruikbaarheid van het Oosterschelde bulletin is in hoge mate afhankelijk van de kwaliteit van de windverwachtingen van het atmosferische fine-mesh model. De windverwachtingen voor BG2 worden rechtstreeks door het model berekend; de nauwkeurigheid van de wateropzetverwachtingen wordt zowel bepaald door de nauwkeurigheid van het wateropzetmodel als de ingevoerde windgegevens. Om een indruk te krijgen van de kwaliteit van de windverwachtingen is gedurende de winterperiode 8-10-'85 tot 1-1-'86, de opgetreden wind op de positie K-13 (50 km ten NW van Den Helder) vergeleken met de voorspelde wind. Zowel van de 00 uur als van de 12 uur serie zijn de wind uit het geanalyseerde windveld alsmede de berekende 12 en 24 uur prognoses vergeleken met de opgetreden waarden. Hoewel de verificatie periode betrekkelijk kort is moeten de vergelijkingsresultaten al een redelijke indruk geven over de kwaliteit van het model.

Tabel 2 geeft een overzicht van de resultaten. De systematische fouten blijken zeer gering te zijn (variërend van 2.4 tot 0 knopen). De gemiddelde absolute fout blijkt, zoals was te verwachten, toe te nemen met de verwachtingstermijn. Bij een voorspeltermijn van 24 uur is de gemiddelde absolute fout ruim 9 knopen. Dit komt overeen met een standaarddeviatie van ongeveer 2 schaaldelen beaufort.

Om een indruk te geven wat een dergelijke nauwkeurigheid betekent is de volgende vergelijking gemaakt. Stel de computervoorspelling van het punt K-13 zou worden gebruikt om de stormseinen voor het district IJmuiden uit te geven wat zou dan de kwaliteit zijn van deze waarschuwingen in vergelijking met de kwaliteit van de seinen zoals die door de meteoroloog zijn uitgegeven. Deze seinen moeten 6-12 uur voor het tijdstip van optreden worden aangekondigd. Een dergelijke vergelijking geeft wel enig inzicht in de onderlinge nauwkeurigheid maar heeft wel beperkingen o.a. doordat:

- de meteoroloog een voorzichtige tactiek volgt. Hij zal gemiddeld voor een hogere windsnelheid waarschuwen dan er optreedt.
- de computer voor discrete tijden wind prognoses maakt (6, 12, 18 --- 30 uur prognoses) terwijl de meteoroloog ieder moment een stormsein kan uitgeven gebaseerd op de laatst ingekomen informatie.

Een sein is geacht goed te zijn voorspeld indien het 1 bft. of minder afwijkt van de opgetreden waarde in het meetpunt IJmuiden. Het blijkt, dat het model in 3 gevallen beter was dan de meteoroloog terwijl de meteoroloog slechts één maal beter was dan het model. In alle overige gevallen was de kwaliteit gelijk. De gevallen waarin de meteoroloog minder goed was dan het model, is de windverwachting steeds hoger geweest dan de waargenomen waarde.

De conclusie uit dit experiment is, dat de kwaliteit van de windverwachtingen van de meteoroloog van dezelfde orde is als de kwaliteit van de objectieve windverwachtingen bij een voorspeltermijn van 6-12 uur. -

#### Literatuur

Diverse auteurs: "Operational numerical forecasting: models and products".  
Thema-nummer Met. Mag. No 1357, Vol 114 - p. 221-251, augustus 1985.

#### Figuren

7. Roosterpunten en rekengebied UKMO fine-mesh atmosfeermodel.
8. De 15 6-nivo's van het fine-mesh atmosfeermodel.
9. Grafische presentatie wind- en luchtdrukgegevens van het fine-mesh atmosfeermodel. Elk windvaantje begint in een punt van het uitvoerrooster.

#### Tabel 2

Verificatie windverwachting over de periode 8-10-'85 tot 1-1-'86 in het punt K-13. De voorspelde windgegevens zijn ontleend aan het Engelse fine-mesh model.

Prognose tijd	Aantal	Sys. fout (knopen)	Gem. abs fout (knopen)
0	158	-2.4	6.6
12	157	-1.4	8.0
24	158	0.0	9.4

## 5. WATEROPZETMODEL WBN

H. Timmerman

Sinds 1976 is ter ondersteuning van de weerdienst te De Bilt het WBN-model (Wind Berekening Noordzee, Water Berekening Noordzee) operationeel. De benodigde wind- en luchtdrukgegevens werden geleverd door het atmosferische 4-lagen model BK4 (WBN-BK4). Op 1 december 1986 kwam hier voor in de plaats het IOS-model (zie hfdst. 6) (Institute of Oceanographic Sciences), gevoed door wind en luchtdrukgegevens afkomstig van een zeer geavanceerd atmosferisch model uit Bracknell (IOS-UK). In de zomer van 1986 werd een versie van WBN ontwikkeld die eveneens gebruik kan maken van de engelse wind- en luchtdrukgegevens (WBN-UK). Hierdoor werd het mogelijk de watermodellen onder gelijke atmosferische condities met elkaar te vergelijken. Gesplitst naar hoog- en laagwater en naar de twee voorspeltermijnen 0-12 resp 12-24 uur vooruit leverde dit gemiddeld over de 5 stations Vlissingen, Hoek v. Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl en voor de periode 7 oktober 1986 tot 1 maart 1987 het volgende resultaat op:

	HOOGWATER						LAAGWATER					
	g cm	RMS cm	N	g	RMS	N	g cm	RMS cm	N	g	RMS	N
	alle gevallen:											
WBN-UK	+0	18	1227	+2	20	1240	-9	20	1244	-8	21	1220
IOS-UK	-8	21	1095	-7	21	1155	-21	29	1118	-21	29	1165
	80 cm opzet						-50 cm verlaging					
WBN-UK	+17	27	33	+29	38	30	-22	29	88	-21	30	93
IOS-UK	+25	34	31	+25	38	26	-45	47	92	-44	47	94

Het is opvallend dat de resultaten van WBN, dat bovendien een factor 10 sneller is dan IOS, aanzienlijk beter zijn.

WBN maakt gebruik van 3 vergelijkingen waarmee de 3 onbekenden  $U = \int_0^H u dz$ ,  $V = \int_0^H v dz$  en  $h$  worden opgelost. De vergelijkingen zijn gebaseerd op de wet van Newton

$$K = \rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \text{ en op de wet van behoud van massa } \frac{\partial h}{\partial t} = - \operatorname{div}(\vec{V})$$

De wateropzet  $h$  wordt gedefinieerd in fig. 10. Informatie over het rekenrooster is in fig. 11 en 12 gegeven.  
 $\bar{h}$  hangt af van het wind- en luchtdrukveld en geeft aanleiding tot veranderingen van het  $V$ -veld, dat op zijn beurt bepalend is voor de gevraagde veranderingen in de tijd van  $h$ .

Literatuur:

Timmerman, H, 1977

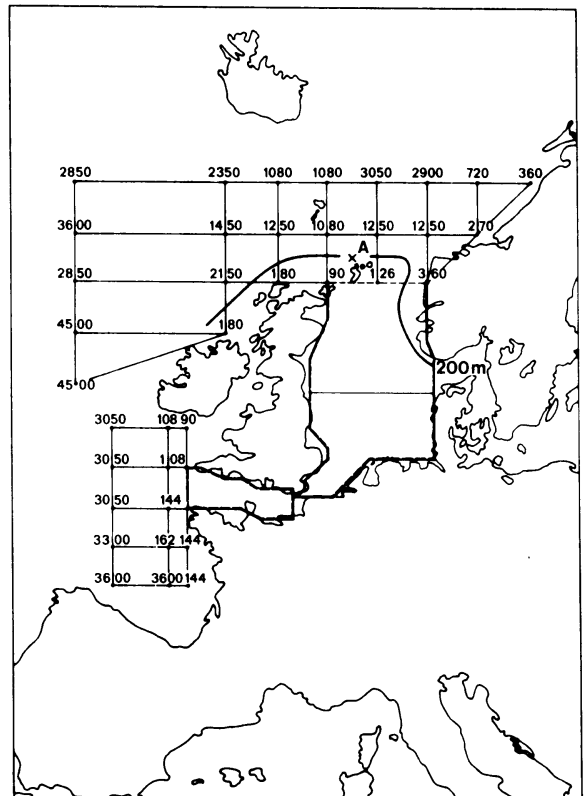
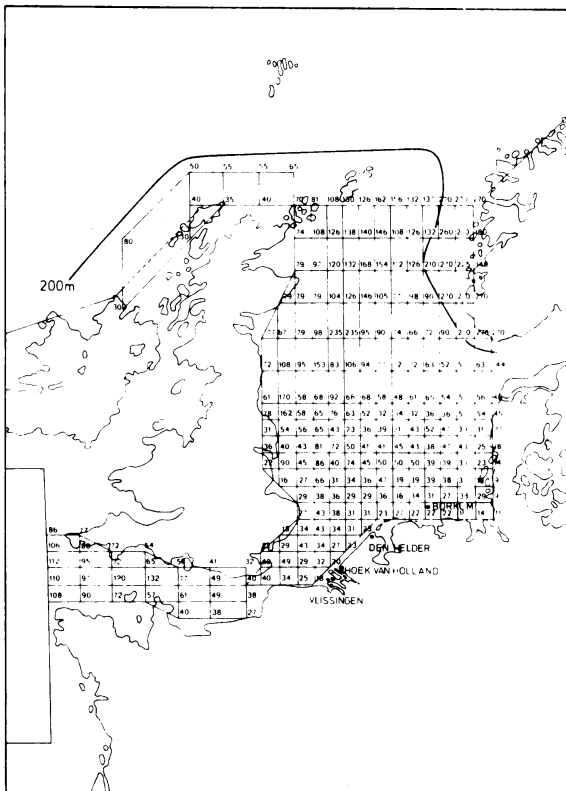
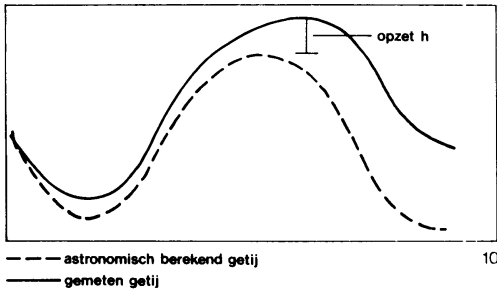
Meteorological effects on tidal heights in the North Sea. KNMI Med. en Verh. No 99.

Figuren

10. Definitie wateropzet  $h_j$   
 — gemeten getij  
 --- astronomisch berekend getij.

11. WBN rooster, Noordzee en directie omgeving.

12. WBN rooster, Atlantische Oceaan.



## 6. HET IOS-WATEROPZETMODEL

C.J. Kok

### Inleiding

Een aantal jaren geleden is er een vergelijking gemaakt tussen de performance van de operationele voorspelsystemen voor de wateropzet in stations aan de Noordzee. Hieruit bleek dat de Engelse verwachtingen superieur waren ten opzichte van de toenmalige Duitse, Deense en Nederlandse (zie Peeck et. al. 1983). Daarom is in 1986 besloten het WBN/BK4 systeem (het wateropzet model WBN ontwikkeld door Timmerman (1977) aangedreven met BK4 winden), te vervangen door een wateropzet model dat is afgeleid van het Engelse IOS-model aangedreven door Engelse fine mesh model winden, zogenaamde UK6-winden. Het IOS-model is ontwikkeld op het Institute of Oceanographic Sciences te Bidston.

Hieronder volgt een technische beschrijving van het thans operationele wateropzet model. Dit model wordt ook wel restricted shelf model (RSM) genoemd. Voor uitgebreidere modelinformatie wordt verwezen naar Davies and Flather (1978) en Flather and Davies (1978).

### Modelvergelijkingen

De modelvergelijkingen zijn de hydrodynamische vergelijkingen gemiddeld over de diepte. Ze beschrijven de snelheid (U,V) en de hoogte van een waterkolom als functie van de tijd op een lengte-breedte ( $\lambda, \phi$ ) rooster. De vergelijkingen zijn:

de bewegingsvergelijking in  $\lambda$  (oost-west) richting:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial U}{\partial \lambda} + \frac{V}{R} \frac{\partial U}{\partial \phi} - \frac{UV}{R} \tan \phi - fv =$$

$$- \frac{kU(U^2+V^2)^{\frac{1}{2}}}{D} - \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} - \frac{1}{\rho R \cos \phi} \frac{\partial p_a}{\partial \lambda} + \frac{F}{\rho D}$$

De bewegingsvergelijking in  $\phi$  (noord-zuidrichting)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial V}{\partial \lambda} + \frac{V}{R} \frac{\partial V}{\partial \phi} + \frac{U^2 \tan \phi}{R} + fU =$$

$$- \frac{kV(U^2+V^2)^{\frac{1}{2}}}{D} - \frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial p_a}{\partial \phi} + \frac{G}{\rho D}$$

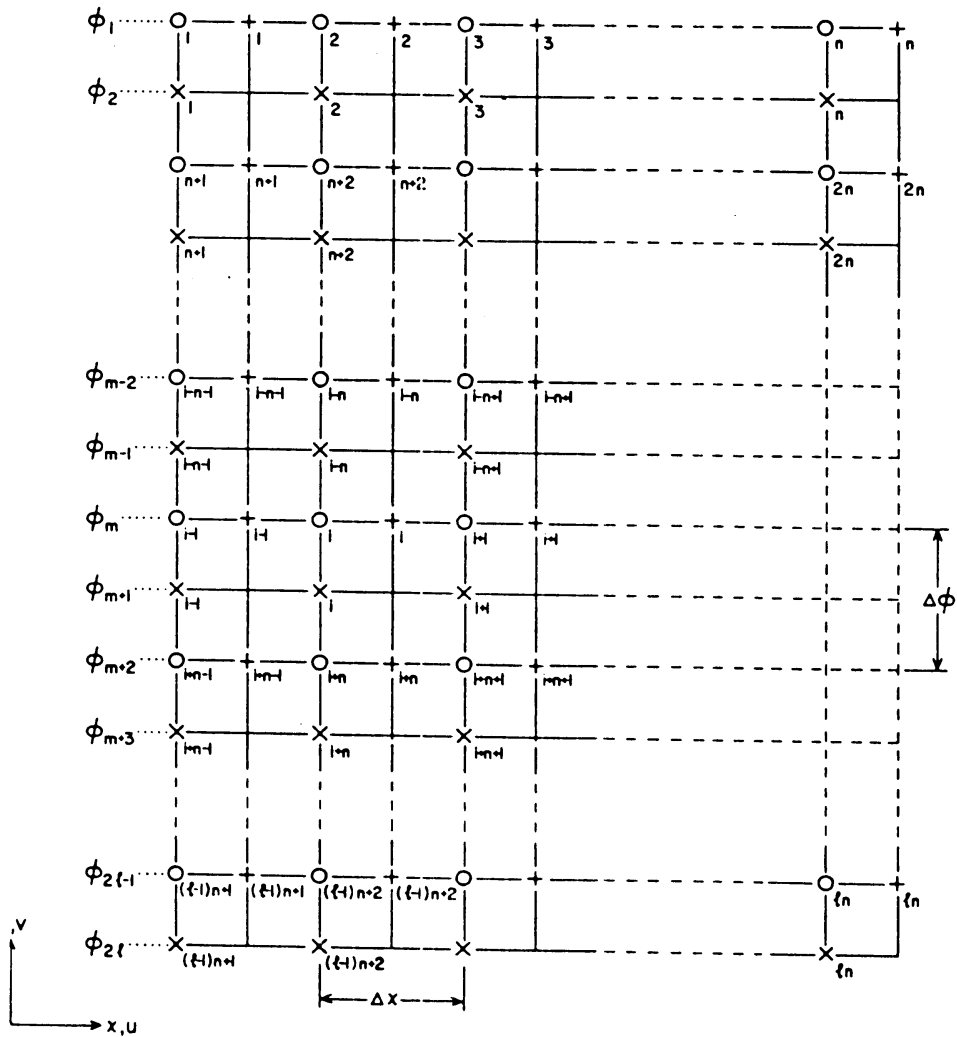
en de continuïteitsvergelijking

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial}{\partial \lambda} (DU) + \frac{\partial}{\partial \phi} (DV \cos \phi) \right\} = 0$$

Hierbij is:

- $\zeta$  de hoogte van het wateroppervlak bovenop de ongestoorde hoogte  $H$ .
- $D = H + \zeta$  is de totale diepte van het water.
- $R$  aardstraal
- $f = 2\Omega \sin\phi$  (met  $\Omega$  rotatiesnelheid van de aarde) is de Coriolis parameter
- $g$  zwaartekrachtversnelling
- $\rho$  dichtheid van water
- $F$  de oost-component van de winstress op het wateroppervlak
- $G$  idem de noordcomponent

Dit stelsel vergelijkingen wordt geïntegreerd in de tijd  $t$  op een rooster dat gestaggered is in de ruimte:  $Z$ ,  $U$  en  $V$  worden op verschillende punten uitgerekend. Zie figuur 13.



Figuur 13 Rekenrooster van het IOS model:

$o = \zeta$ -rooster punt,  $+ = U$ - roosterpunt,  $x = V$ -roosterpunt



Bij de tijdsintegratie wordt gebruik gemaakt van de "angled derivative" methode om numerieke instabiliteiten te voorkomen. De ongestoorde waterdiepte wordt voorgeschreven op  $\zeta$ -punten. Het rooster ziet er als volgt uit:

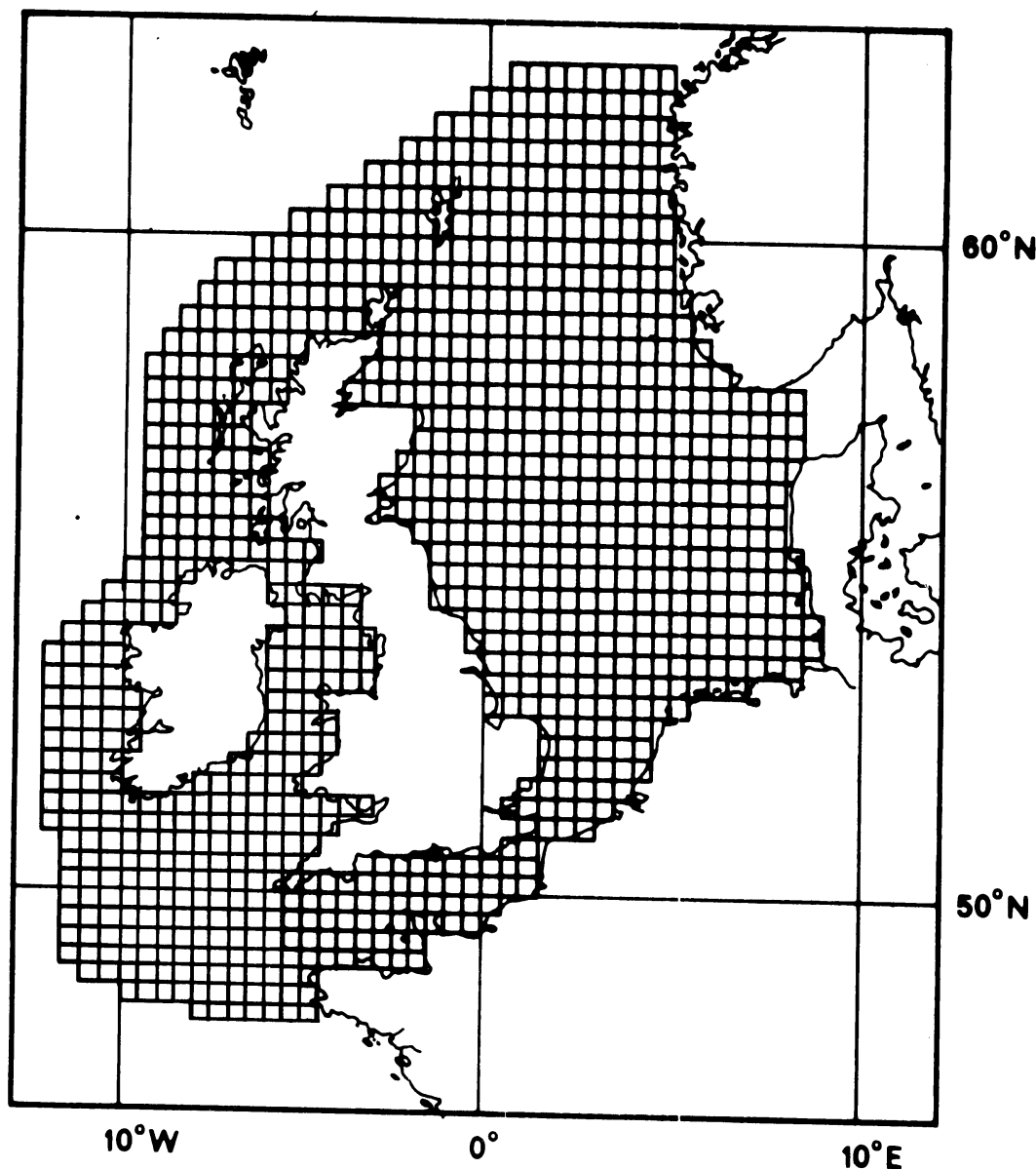


Fig. 14  $\zeta$ -roosterpunten IOS-model

Het gearceerde deel is het gebied dat afgekapt is van het oorspronkelijke IOS model om integratietijd te sparen. De tijdstap is 4 minuten tegen 3 minuten in het Engelse model. Dit is mogelijk gemaakt door de afkapping en het verminderen van de waterdiepte in enkele roosterpunten tot 650 meter teneinde aan CFL-criterium te voldoen en numerieke instabiliteit te voorkomen.

### Randvoorwaarden

Er wordt onderscheid gemaakt tussen zogenaamde open en gesloten randpunten. In de gesloten randpunten, op land-zee overgangen, wordt op iedere tijdstap de stroming loodrecht op de kusten gelijk aan 0 gemaakt. Op de open randpunten, die over het algemeen dicht bij de rand van het continentale plat liggen, wordt een soort van stralingsconditie toegepast. Deze conditie beoogt te voorkomen dat verstoringen opgewekt binnen het modelgebied reflecteren aan de rand. Dit gebeurt door ze als vrije golven het gebied te doen verlaten:

$$q = q_T + \frac{c}{H} (\zeta - \zeta_T - \zeta_M)$$

waarbij

$q$  de normale component van de stroming is (gemiddeld over de diepte)

$$c = \sqrt{gH}$$

De indices T en M slaan respectievelijk op getij- en meteorologische oorzaken.

### Aandrijvende krachten

Er werken verschillende krachten op het zeewater die van belang zijn voor de opzet. Deze zijn te verdelen in getijkrachten en meteorologische krachten. Bij het voorspellen van waterstanden gaat het met name om de invloed die de meteorologische forcering heeft; het getij zonder deze krachten is bijzonder nauwkeurig te bepalen en is vastgelegd in getijtafels voor diverse Nederlandse kuststations. Omdat echter de invloed van druk en wind op de waterhoogte en beweging sterk afhangt van de fase van het getij moet deze toch worden meegenomen in de modelberekeningen. (Het effect kan met rond 20% variëren met de fase van het getij). Het is echter niet noodzakelijk om het getij perfect te simuleren. Het volstaat om de belangrijkste componenten van het getij mee te nemen om een redelijke benadering van de interactie tussen getij en meteorologische effecten te verkrijgen.

De getijbeweging in het modelgebied wordt verkregen door aan de open randpunten de hoogte van het wateroppervlak als volgt voor te schrijven:

$$\zeta_T(x,y,t) = \sum_{i=1}^6 f_i H_i(x,y) \cos \{V_i + \sigma_i t + U_i - g_i(x,y)\}$$

waarbij

$f_i, U_i$  knoopfactoren van component  $i$

$H_i$  de amplitude

$\sigma_i$  snelheid

$V_i$  de fase van de evenwichtscomponent in Greenwich

$g_i$  de fase verschuiving tov  $V_i$

Analoog geldt voor de stroming aan de (open) rand:

$$q_T = \sum_{i=1}^6 f_i Q_i(x,y) \cos \{V_i + \sigma_i t + U_i - \gamma_i(x,y)\}$$

met  $Q_i, \gamma_i$  de amplitude en fase van de normale component van de stroming van getijcomponent  $i$ .

Er worden 6 componenten meegenomen, t.w. de belangrijkste 2 dubbeldaagse componenten  $M_2$  en  $S_2$  en verder  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $N_2$  en  $K_2$ . De knooppfactoren zijn in principe een functie van de tijd (met een cyclus van 18.6 jaar) maar worden per run constant gehouden.

Deze getijverstoring die op de open randpunten wordt aangebracht, loopt als een Kelvin golf de Noordzee binnen. Zo loopt de vloedberg met een snelheid van  $\sqrt{gH}$  langs de Engelse oostkust naar het zuiden en vervolgens langs de Belgische en Nederlandse kust noordwaarts.

Een tweede aanpassing van het wateroppervlak aan de open randen is noodzakelijk om het effect van de luchtdruk te verdisconteren. Deze instantane correctie wordt gegeven door

$$\zeta_M = \frac{\bar{p} - p_a}{\rho g}$$

Hierbij is  $\bar{p}$  de gemiddelde atmosferische druk (1013 mbar) en  $p_a$  de lokale luchtdruk. Deze is behalve van de plaats ook een functie van de tijd. De grootte van deze hydrostatische correctie is ongeveer 1 cm bij iedere mbar afwijking t.o.v. 1013 mbar.  $\rho$  is de dichtheid van water. In het binnengebied vindt aanpassing aan de luchtdruk plaats door middel van de (lucht)drukgradientkrachten.

Verreweg de belangrijkste meteorologische kracht op het water wordt uitgeoefend door de wind. De windstress componenten, die de impulsoverdracht van de lucht naar het water beschrijven, worden in x- en y-richting gegeven door

$$F = c \rho_a u (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$G = c \rho_a v (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$

met  $u, v$  de windcomponenten en  $\rho_a$  de dichtheid van lucht. Voor de dragcoëfficiënt  $c$  wordt gebruik gemaakt van het Smith & Banke profiel dat is afgeleid uit waarnemingen bij Sable Island in 1975:

$$c \times 10^3 = 0.63 + 0.066 (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$

De windstress wordt iedere 3 uur op ieder roosterpunt van het wateropzetmodel bepaald. Op tussenliggende tijdstippen is dit niet mogelijk omdat forecastvelden slechts om de 3 uur beschikbaar zijn.

De verstoringen die het gevolg zijn van getij, luchtdruk en windstress worden gedempt door wrijving langs bodem en kusten. Bovendien kunnen ze vrij door de open randen het modelgebied uitlopen.

#### Beginvoorwaarde

Iedere run begint met een begintoestand van waterhoogte en stromingen in het hele modelgebied. Deze wordt in de operationele praktijk in principe verkregen door een uitgangstoestand van de voorafgaande run te nemen (vooralnog) zonder dat deze aangepast wordt aan de werkelijke situatie door gebruik te maken van waarnemingen. Dit is in tegenstelling tot de initialisatie bij atmosferische modellen, waar de begintoestand van cruciaal belang is voor de kwaliteit van de voorspellingen. Bij wateropzet modellen die gebruik maken van het bovenbeschreven stelsel vergelijkingen, is de wrijving dusdanig groot dat instabiliteiten onderdrukt worden. De wrijving heeft ook tot gevolg dat de invloed van kleine fouten in de begintoestand betrekkelijk snel worden weggedempt.

Is door een of andere oorzaak geen begintoestand als bovenbeschreven aanwezig, dan moet het model "ingeslingerd" worden vanuit de rusttoestand. Na  $\pm 36$  uur integratie is het water zodanig in evenwicht met de forceringen dat het model weer voor voorspellingen gebruikt kan worden.

#### Verwerkingsschema

Het atmosferisch model levert 2x daags een forecast tot 36 uur vooruit vanaf de analysetijden 0hr en 12hr GMT. Enkele uren later, ( $\pm 5$  uur na 0hr en 12hr) levert het wateropzetmodel een 36 uren verwachting van de waterstand. Omdat slechts de belangrijkste getijcomponenten worden meegenomen, worden de opzetten berekend door 2 modelintegraties uit te voeren. Allereerst een getijrun waarin het model wordt aangedreven met alleen de 6 bovengenoemde getijcomponenten. Vervolgens een run ("getij + surge" run) met zowel getij als meteorologische krachten. In deze run wordt dus ook de interactie tussen getij en opzet meegenomen. Voor een redelijke schatting van de grootte van deze interactie is een exacte beschrijving van het getij niet noodzakelijk. Het verschil tussen beide runs geeft het meteorologische effect op de waterstand inclusief de niet-lineaire interactie tussen getij en opzet. De voorspelling van de waterstand wordt tenslotte verkregen door dit verschil op te tellen bij het berekende getij uit de getijtafels voor de desbetreffende stations.

Voor de stations Harlingen en Delfzijl worden nog correcties uitgevoerd op de modelresultaten om het effect van resp. de ondiepe Waddenzee en de Eemmond te verdisconteren. Dit wordt ook gedaan voor het (kleine) effect van de Westerschelde op de waterstand in Vlissingen. Voor de correcties voor Harlingen en Delfzijl worden vooralnog de tabellen gebruikt afkomstig van Timmerman (1977). In het winterseizoen 1986/'87 zijn deze correcties echter nog niet meegenomen.

Er wordt op dit moment gewerkt aan een procedure die de begintoestand corrigeert voor fouten die het gevolg zijn van fouten in de voorspelde winden en drukken in de voorafgaande 12 uur. Hierbij wordt een hindcast gemaakt waarin de meteorologische situatie van deze 12 uur geupdate wordt door gebruik te maken van de inmiddels ter beschikking gekomen nieuwe analyse (eventueel aangevuld met de "tussenanalyse" van 6hr of 18hr).

Literatuur

Davies, A.M. and R.A. Flather (1978): Application of numerical models of the North West European continental shelf and the North Sea to the computation of storm surges of November to December 1973.  
Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Reihe A. nr 14.

Flather, R.A. and A.M. Davies (1978): On the specification of meteorological forcing in numerical models for North Sea storm surge prediction, with application to the surge of 2 to 4 January 1976.  
Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Reihe A, nr 15.

Peeck, H.H., R. Proctor and C. Brockman (1983): Operational storm surge models for the North Sea.  
Continental shelf research, vol 2 no 4 p 317-329.

Timmerman, H. (1977): Meteorological effects on tidal heights in the North Sea.  
Mededelingen en Verhandelingen no 99. KNMI.

7. GOLFHOOGTEBEREKENING

P. Kruseman

7.1 Zeegang en Deining

De golfhoogtes die de Oosterscheldeverwachtingen bevatten worden berekend uit zeegang en deining. De deining wordt geleverd door het GONO-golfmodel, de zeegang wordt berekend uit de door de meteoroloog verwachte wind volgens een eenvoudige relatie. De golfhoogteberekening wordt hieronder toegelicht.

Figuur 15

Het GONO-rooster

DD=	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
DEPTH	15	10	10	10	10	10	10	10	15	15	15	15
FETCH	370	90	20	10	10	20	90	160	170	310	550	550
FF												
5	0.15	0.15	0.14	0.12	0.12	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
10	0.55	0.49	0.40	0.33	0.33	0.40	0.49	0.51	0.55	0.55	0.56	0.56
15	1.07	0.87	0.67	0.55	0.55	0.67	0.87	0.91	1.03	1.06	1.07	1.07
20	1.59	1.24	0.95	0.78	0.78	0.95	1.24	1.29	1.52	1.58	1.60	1.60
25	2.09	1.60	1.23	1.01	1.01	1.23	1.60	1.67	2.01	2.08	2.11	2.11
30	2.58	1.95	1.51	1.24	1.24	1.51	1.95	2.03	2.48	2.57	2.60	2.60
35	3.06	2.30	1.79	1.47	1.47	1.79	2.30	2.39	2.94	3.04	3.08	3.08
40	3.53	2.65	2.07	1.71	1.71	2.07	2.65	2.74	3.39	3.51	3.55	3.55
45	3.98	2.99	2.36	1.95	1.95	2.36	2.99	3.09	3.84	3.96	4.01	4.01
50	4.44	3.32	2.64	2.19	2.19	2.64	3.32	3.43	4.28	4.42	4.47	4.47

## 7.2 Het golfmodel GONO (Golven Noordzee)

### 7.2.1 Inleiding

GONO is het numerieke model dat door het KNMI is ontwikkeld voor het opstellen van golfverwachtingen op de Noordzee. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in JANSEN, KOMEN en DE VOOGT. Het is een zogenaamd 2<sup>e</sup> generatie golfmodel met een parametrische benadering van de zeegang en een spectrale benadering van de deining (hybride model). Ten behoeve van de verwachtingen voor de Oosterscheldekering wordt het zeegangsgedeelte slechts gebruikt als uitgangspunt voor de deiningberekening. De zeegangs berekening wordt afzonderlijk gedaan met een 1<sup>e</sup> generatie model (zie 7.3) opdat de zeegangsverwachting in overeenstemming blijft met de (zodanig handmatig gecorrigeerde) windverwachting (hoofdstuk 2) en omdat handmatige wijziging van het windveld in GONO niet mogelijk is.

### 7.2.2 Zeegang berekening van het GONO-model

De zeegang wordt uitgerekend op een rooster met een roosterpuntafstand van 75 km met een tijdstap van 1.5 uur. Op ieder gridpunt wordt eerst de energie uitgerekend die tengevolge van advectie uit de nabij gelegen punten aankomt. Vervolgens wordt het gedeelte van de geadvecteerde energie bepaald dat hoort bij de lokale windrichting. Deze energie wordt gebruikt als uitgangspunt voor golfgroei gedurende een tijdstap (1,5 uur) volgens de volgende empirische relatie:

$$\hat{H} = 0.22 \times \tanh(6.1 \cdot 10^{-4} \hat{t}^{.75})$$

waarbij:

$$\hat{H} = gH/U^2$$

$$\hat{t} = gt/U$$

$$G = 9.81 \text{ m/sec}^2$$

H = golfhoogte in meters

U = windsnelheid op 10 meter hoogte in m/sec

t = duur in seconden

In het ondiepe gedeelte van de Noordzee wordt vervolgens nog een correctie aangebracht voor het energieverlies tengevolge van bodemwrijving. Merk op dat de fetchbeperking impliciet verwerkt zit in de advectie. De verdeling van de zeegangenergie over het golfspectrum wordt bepaald volgens het Krusemanspectrum

### 7.2.3 Deining berekening

GONO berekent de deining slechts in een beperkt aantal roosterpunten. Voor de golven bij BG2 wordt de deining van het roosterpunt EURO als maatgevend beschouwd. Bij de deiningberekening worden de zeegangsvelden uit het verleden als uitgangspunt gebruikt. Deze worden voor ieder deiningpunt en voor elke periodeband van het spectrum afgescand naar zeegangsvelden waarvan de deining op het verwachtingstijdstip het roosterpunt bereikt. De betreffende energie wordt afhankelijk van de af te leggen weg, gereduceerd vanwege richtingsdispersie en bodemwrijving. Er wordt voor gezorgd dat energie die via de advectieve term zeegang blijft niet dubbel kan worden geteld. De aldus gevonden deiningenergie wordt bij de berekende zeegang energie opgeteld om de totale energie te verkrijgen.



### 7.3 Berekening Zeegang

Als basis van de berekening van de zeevang wordt de windverwachting van hoofdstuk 4 gebruikt. De zeevang wordt berekend met behulp van een relatie tussen de golfhoogte, de windsnelheid, de waterdiepte en de windbaan (fetch). Deze fetchrelatie is zodanig aangepast dat hij goed overeenkomt met de duurrelatie en de bodemdissipatie zoals die in GONO wordt gebruikt.

De relatie luidt:

$$\hat{H} = 0.22 \hat{D} \tanh(0.0213 \hat{F}^{.42} / \hat{D})$$

Waarbij:

$$\hat{H} = gH/U^2$$

$$\hat{D} = \tanh(0.38 (gD/U^{1.63})^{.65})$$

$$\hat{F} = gF/U^2$$

H = golfhoogte in meters

D = waterdiepte in meters

F = windbaan in meters

U = windsnelheid op 10 meter hoogte in m/sec

g = 9.81 m/sec<sup>2</sup>

De windbaan is in tabelvorm per 10° windrichting vastgelegd. Voor de waterdiepte is 10 meter genomen voor de windrichtingen 50-250° en 15 meter voor de overige windrichtingen. Een samenvattende tabel volgt hierna.

Indien er volgens GONO deining aanwezig is wordt deze (kwadratisch) bij de zeevang opgeteld volgens de formule

$$H^2_{\text{totaal}} = H^2_{\text{zeevang}} + H^2_{\text{deining}}$$

Literatuur:

Janssen P.A.E.M., Komen G.J., en De Voogt W.J.P. (1984).  
"An operational coupled hybrid wave prediction model".  
Journal of Geophysical Research vol 89. No C3, p3635-3654.