

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

Verslagen

V-311

J.W. Sanders

Een geautomatiseerd systeem voor numerieke  
verwachtingen van wateropzetten, zeevang en  
deining.

De Bilt, 1979

Publikatienummer: K.N.M.I. V-311(MO).

Kon.Nederlands Meteorologisch Instituut,  
Postbus 201,  
3730 AE De Bilt,  
Nederland.

U.D.C.: 551.509.58 :  
551.556.8 :  
551.465.755:  
551.466.33

Een geautomatiseerd systeem voor numerieke  
verwachtingen van wateropzetten, zeegang en deining.

J.W. Sanders

Inleiding

De scheepvaart met grote tankers door de Eurogeul bracht een nieuwe probleemstelling met zich mee. Deze schepen hebben een platte brede bodem, waardoor overdwarse slingeringen de effectieve diepgang vergroten. Dit soort slingeringen wordt veroorzaakt door lange golven waarvan de periode 10 seconden of meer bedraagt en van voldoende energie. Bij geringe ruimte tussen de kiel van de tanker en de bodem van de Eurogeul is het mogelijk dat ten gevolge van deze slingeringen de bodem geraakt wordt.

Voor tankers, die wat hun diepgang betreft nog maar net door de Eurogeul kunnen varen, is het van belang van te voren de waterstand en de energie in het golven-spectrum voor periodes groter dan 10 seconden te kennen. Dit "van te voren" betekent minimaal de duur van de vaartocht door de Eurogeul.

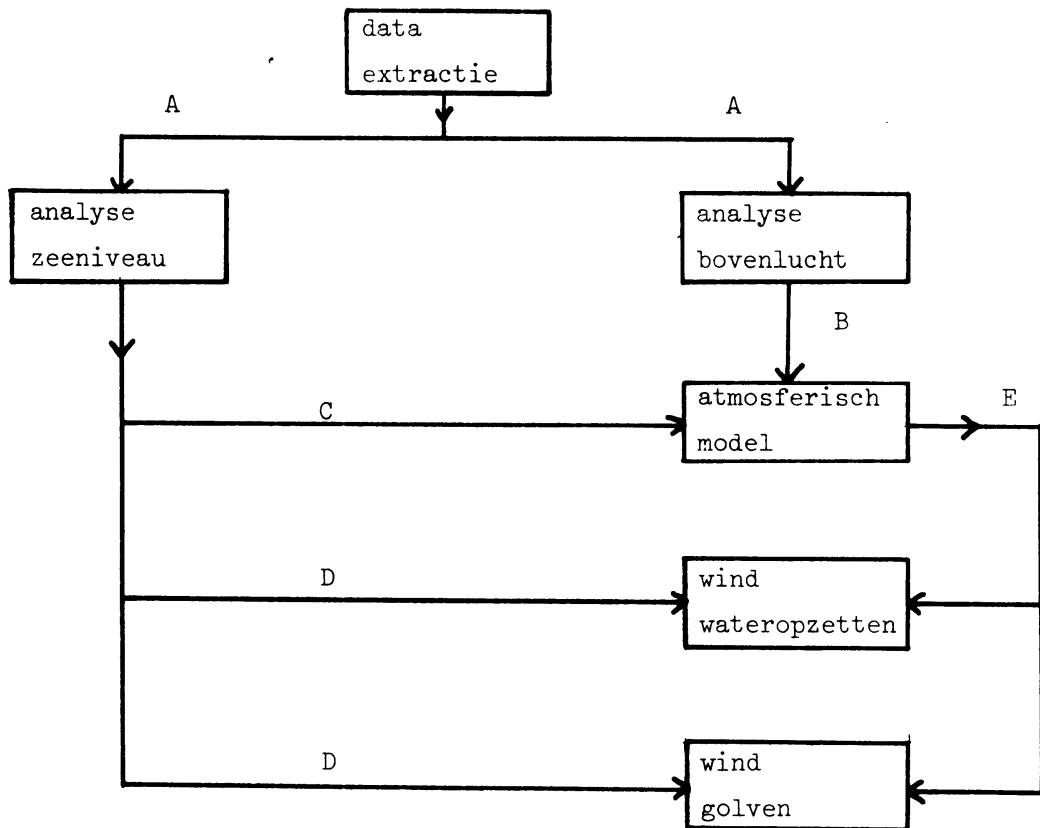
Zowel de afwijkingen in de waterstand t.o.v. het astronomische getij als de golf toestand worden door de meteorologische situatie bepaald. Het KNMI werd gevraagd verwachtingen voor deze grootheden te leveren voor het Eurogeul gebied.

Deze rapportage strekt zich uit over de periode zomer 1971 tot aan de zomer 1977 en betreft de constructie van een geautomatiseerd numeriek systeem dat mede ten behoeve van de vraagstelling voor de Eurogeul werd ontwikkeld. De realisatie van dit systeem werd bereikt in twee stappen, genoemd de pré-operationele en de semi-operationele fase. Inhoudelijk kan dit systeem ruwweg opgedeeld worden in de volgende onderdelen:

- 1) data extractie
- 2) analyse, dus de constructie van het isobaren patroon op zeeniveau en in de bovenlucht
- 3) berekening van de wind op posities en tijdstippen zoals vereist voor 4 en 5
- 4) berekening van de wateropzetten

- 5) berekening van de golftoestand
- 6) het atmosferisch model voor het voorspellen van het isobaren patroon op zeeniveau
- 7) een systeem dat de bovengenoemde schakels omvat en de besturing, communicatie, archivering en het bijsturen mogelijk maakt.

Hieronder volgt een schematische voorstelling van de relaties tussen verschillende onderdelen uit dit systeem:



- A = inclusief controle en correcties  
B = analyses op niveaus 300, 500 en 850 mbar voor een achthoekig gebied (omvat bijna gehele noordelijk halfrond)  
C = analyse luchtdruk op zeeniveau voor achthoek  
D = analyse luchtdruk op zeeniveau voor het kleine gebied van de wateropzet- en golvenberekening (Noordzee en Noorse Zee)  
E = voorspelde stromingspatronen op zeeniveau t/m 24 uur vooruit
- Zie fig. 1 voor het rekenrooster van het golven-model en fig. 2 voor het rooster waarop de wateropzetten berekend worden.

In de pré-operationele fase, omvattende de realisatie van bovengenoemde punten met uitzondering van 6, werd de zgn. GONO (= GOLven NOordzee) groep gevormd, genoemd naar de twee eindproducten van dit systeem, nl. de lange getijden- en korte oppervlakte golven.

De vaste medewerkers van de GONO-groep waren:

H.C. Bijvoet (voorzitter)

W.J.A. Kuipers (punten 1,2 en 7)

H. Timmerman (punten 3 en 4)

J.W. Sanders (punten 3,5 en 7)

A. van der Hoek ) uitvoering van controle, verificatie en evaluatie  
F. Klepper )

Uiteraard werd er door vele anderen binnen het KNMI een bijdrage geleverd, met name vanuit de computer afdeling door H.W. de Froe, N.J. de Koning en A.M.J. Philippa.

Vlak voor de invoering van de semi-operationele fase, eind 1976, werd de GONO-groep opgeheven en de werkzaamheden voortgezet binnen de zgn. WGNV (Werkgroep numerieke verwachtingen) in de volgende samenstelling:

W.J.A. Kuipers (voorzitter en punten 1 en 2)

H. Timmerman (punten 2,3 en 4)

J.W. Sanders (punten 3,5 en 7)

L.C. Heijboer (punt 6)

A.W. den Exter Blokland (punten 2 en 6)

J. van Maanen (punt 2)

A. van der Hoek)

F. Klepper ) uitvoering van controle, verificatie en evaluatie

G.W. Brouwer )

A. Grendel )

J. van Raalten (evaluatie punt 6)

#### Waterstanden

De berekening van de waterstanden is gebaseerd op de veronderstelling dat het meteorologische effect op de waterstanden eenvoudig kan worden opgeteld bij de standen, die door Rijkswatersaat in de getijtafels worden gegeven.

Om deze reden is op het KNMI het onderzoek zowel als de praktische toepassing uitsluitend gericht op het effect van wind en luchtdruk op de waterstanden.

Dit onderzoek heeft al een lange geschiedenis. Aanvankelijk werd vooral gezocht naar statistische verbanden tussen wind en wateropzet. Voorbeelden hiervan zijn het onderzoek van de Staats Commissie voor de Rotterdamse Waterweg (1920) en van Schalkwijk (1947).

Na de stormvloed van 1953 gaf Weenink een analytische oplossing van de hydronamische vergelijkingen welke voor dit doel noodzakelijkerwijs sterk wāren vereenvoudigd. Enerzijds resulteerden deze oplossingen in tabellen, waarin staat aangegeven het verband tussen het stationaire effect op de waterstanden in een aantal stations langs de Nederlandse kust en de windvelden boven een zestal gebieden op de Noordzee en het Kanaal. Deze tabellen kunnen worden gebruikt voor de voorspelling van de waterstanden. Voorwaarde is dan wel dat de voorspelde luchtdrukvelden, waaruit voorspelde windvelden kunnen worden afgeleid, beschikbaar zijn. Toepassing van deze methode vindt op het KNMI sinds vele jaren plaats, waarbij de voorspelde luchtdrukvelden op subjectieve wijze op basis van ervaring worden vervaardigd (handmethode).

De computer maakt het mogelijk deze berekeningen uit te voeren voor een slechts weinig vereenvoudigd stelsel vergelijkingen met verfijnde stapgrootte in ruimte en tijd, waarbij ook aangrenzende delen van de Atlantische Oceaan kunnen worden meegenomen. Deze oplossingen kunnen niet in tabellen worden ondergebracht, maar wel, bijvoorbeeld iedere 3 uur, ter beschikking komen. Voorwaarde is dan dat de luchtdrukvelden, zowel voor analyse als voorspelling, door de computer worden berekend op basis van een atmosferisch model.

Opzetvoorspellingen voor het Deltagebied werden tot dusver verstrekt door de Meteorologische Dienst in Zierikzee. Hierbij werden 2 keer per dag om 8 en 15 uur opzetvoorspellingen voor Hoek van Holland tot 24 uur vooruit verstrekt aan de "natte" gebruikers in dit gebied. Bij deze voorspellingen werd gebruik gemaakt van tabellen.

### Golfverwachtingen.

In 1971 werd het KNMI gevraagd een systeem te ontwikkelen om dit soort golfverwachtingen (zie inleiding) te geven. De stand van de wetenschap was toen nog niet zodanig dat er voldoende kennis bestond om aan de vraagstelling te voldoen. Wel kon men met empirische technieken een schatting geven van de significante golfhoogte en periode voor diep water. Voor deze vraagstelling echter moet de spectrale vorm bekend zijn en speciaal in het lang golvig gedeelte, waarbij het dan gaat om energie en niet om golfhoogte.

De vraagstelling heeft geleid tot twee verschillend geaarde onderzoeken. Er bestaan nu twee methodieken, een hand- en een numerieke methode, die nu beide operationeel bruikbaar zijn.

De eerste methode maakte het mogelijk op korte termijn aan de vraagstelling tegemoet te komen. Deze zgn. handmethode is gebaseerd op het gemiddeld verband tussen het voorkomen van een golfveld op zekere plaats met zekere gemiddelde richting en het naderhand daaruit optreden van deining met perioden boven de 10 seconde ter hoogte van de Eurogeul. Aan de hand van een groot aantal verschillende golfvelden en de daarvan afkomstige gemeten deining ter hoogte van de Eurogeul is dit gemiddelde verband vast te stellen.

Er was voor deze lokatie voldoende materiaal aanwezig om een handmethode voor de meteoroloog samen te stellen. Voor deze handmethode is wel noodzakelijk dat de golfvelden gekend zijn: hiervoor worden dan de 12-uurlijkse golfanalyses van de afdeling Routing gebruikt. Deze handmethode is dus uitsluitend gebaseerd op de vaste lokatie van de Eurogeul; voor een andere positie zou de relatie tussen een golfveld en de daaruit voortkomende deining met periode boven de 10 seconde opnieuw moeten worden vastgesteld aan de hand van voor die positie gedane metingen. (ref. 1).

De tweede methode is bedoeld voor algemene toepassing, dus niet alleen voor de lokatie van de Eurogeul en de bijbehorende vraagstelling. De opbouw van zeegang op diep en ondiep water wordt daarin berekend. Het zeegangsspectrum is daarbij bepaald door een aantal parameters, waarvan de ontwikkeling in afhankelijkheid van windsterkte, windrichting, duur, fetch en diepte berekend wordt (zie ref. 2). Voor zover deining en zeegang bij hetzelfde windveld behoren zijn deze gekoppeld.

De processen die de deining beïnvloeden op weg naar de positie waar men de deining wil kennen worden daarin in rekening gebracht. Al deze berekeningen maken het gebruik van een computer noodzakelijk, waardoor ook de weersituatie in de computer gekend moet zijn. Handinvoer is onmogelijk, vandaar dat voor deze methode een volledig geautomatiseerd computersysteem tot stand is gebracht.

#### Numerieke methode.

Zowel voor de berekening van de waterstanden als van de golfstoestand, moet de meteorologische situatie op de computer berekend worden. In 1972 werden de eerste testen uitgevoerd op de kleine computer (EL-X8) van het KNMI. Het betrof hier een koppeling van de eerste versie van de volgende programma's: data extractie, analyse, wateropzetten, golfberekening. Deze eerste test werd uitgevoerd voor een aaneengesloten periode van 3 weken. Met de ervaring hiermee opgedaan werden een groot aantal wijzigingen ingevoerd, zowel in de berekeningswijze als in het numerieke systeem. De eerste grote aaneengesloten periode was de winter 72-73 waarin de programma's op continu-basis 4 maal per dag gedraaid werden. Het numerieke systeem dat tot de winter 76-77 in test liep kon per definitie niet aan de vraagstelling voldoen, dit vanwege de beperkte mogelijkheden van de EL-X8. Verderop wordt er op ingegaan waarom dit zo was en volgt ook een beschrijving van het systeem dat wel op operationele basis aan de vraagstelling kan voldoen.

Eerst volgt nu een korte beschrijving van de constructie van het isobarenpatroon op zeeniveau, de onmisbare eerste stap uit dit systeem.

#### Het analyse programma.

De bepaling van het isobarenpatroon dient om daaruit het windveld te berekenen.

De informatie die wij over de wind boven zee krijgen, is in hoofdzaak afkomstig van schepen. Voor het rechtstreeks construeren van het windveld is het aantal waarnemingen te klein. Om deze reden zal het windveld ook berekend moeten worden uit het isobarenpatroon op zeeniveau. Allereerst dient dus een methode te worden ontwikkeld waarmee uit de over de telex ontvangen waarnemingen het isobarenpatroon kan worden afgeleid en wel volledig automatisch via de computer.



Dit isobarenpatroon wordt al sinds jaar en dag door de meteorologen geanalyseerd en in de weerkaart getekend. Het in een voor de computer geschikte vorm brengen van deze "handanalyse" vergt echter veel tijd. Voorts levert de menselijke factor uiteraard kans op fouten bij zo'n omzetting.

De waarnemingen die via de telex binnenkomen geven informatie onder meer over de wind en de luchtdruk. De luchtdrukwaarneming is rechtstreeks bruikbaar voor de constructie van het isobarenpatroon. Indirect is ook de windwaarneming hiervoor te gebruiken. Deze verschafft namelijk informatie over de isobarenafstand en -richting en is in feite min of meer gelijkwaardig met waarnemingen van het luchtdrukverschil in twee richtingen.

Een windwaarneming van een landstation is over het algemeen niet bruikbaar omdat die teveel wordt beïnvloed door lokale effecten. Het is duidelijk hoe groot de waarde is van scheepswaarnemingen. Ten eerste verschaffen zij informatie over het isobarenpatroon (luchtdruk en wind) en ten tweede komen zij ten dele uit gebieden waarin waarnemingen schaars zijn. In dit geval waarin we de zeetoeestand willen berekenen betreft dat juist het gebied waar we deze waarnemingen het meest nodig hebben.

Als alle gegevens voor het gebied binnen zijn, zal nog niet beoordeeld kunnen worden welke waarnemingen foutief zijn overgekomen. In eerste instantie worden daarom alle waarnemingen vergeleken met het voorspelde patroon dat uit de voorgaande analyse wordt berekend. Waarnemingen die teveel afwijken van dit patroon worden geschrappt, hoewel zij in een latere fase nogmaals beoordeeld zullen worden. Dan wordt een analyse over het materiaal gemaakt, waarbij weer een grens gesteld wordt aan de afwijkingen die tussen deze analyse en de waarneming mogen voorkomen. Die waarneming welke het meest boven de gestelde grens uitgaat, wordt geschrappt. De analyse wordt nu met de overblijvende waarnemingen opnieuw gemaakt, waarbij weer gezocht wordt naar de grootste uitschieter boven de toegestane grens; mocht die er zijn dan wordt het proces nogmaals herhaald, enz.

De uiteindelijke analyse die we zo krijgen wordt nu in de plaats gesteld van het voorspelde drukveld waarmee we in het begin gestart zijn. Alle geschrapte waarnemingen worden nu opnieuw beoordeeld.

Het is een vanzelfsprekend belang dat zoveel mogelijk alle waarnemingen worden benut, zonder echter door foutieve rapporten te worden misleid. Duidelijk foutieve berichten worden door de hier omschreven methode buiten de analyse gehouden. Het betreft hier in het algemeen coderings- of overbrengingsfouten, die in de normale handanalyse ook verworpen zouden zijn. Het stellen van de juiste grenzen aan de toelaatbare afwijkingen in de verschillende stadia van de analyse is daarbij van doorslaggevende betekenis. Enerzijds moet daarbij een foutief bericht worden verworpen, anderzijds moet een goede waarneming in bijzondere situaties, bijvoorbeeld een zeer snel uitdiepende depressie, juist wel worden aanvaard.

Na alle ervaring die er nu reeds met deze methode is opgedaan, blijkt het toch nog wel een enkele keer mogelijk dat een analyse in een bepaald deelgebied verknoeid wordt door het aanvaarden van een foutieve waarneming of ook wel door het verwerpen van een juiste waarneming.

Een bijzondere eigenschap van de analyse-techniek die hier gebruikt wordt is dat de waarnemingen "ter plekke" gehonoreerd worden en niet zoals gebruikelijk is eerst geïnterpoleerd worden naar een vast rooster.

#### Het operationele systeem

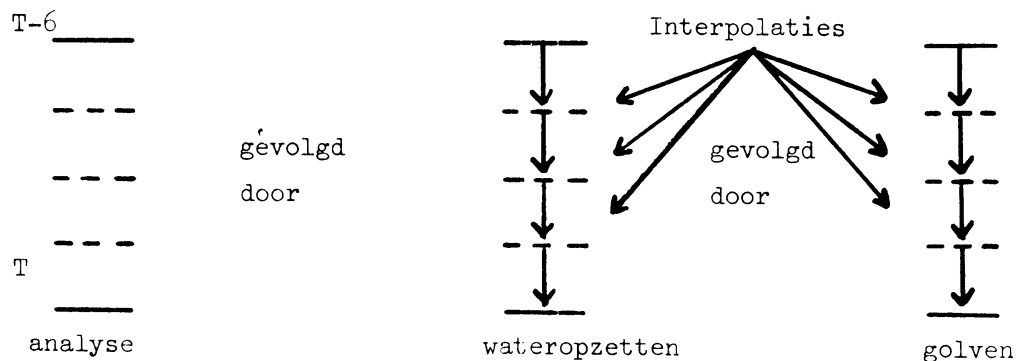
In de beginfase werd uitgegaan van een beperkte doelstelling, die inhield het realiseren van een systeem dat op routine-basis op de computer gedraaid kon worden. Dit systeem kreeg een beperkte opzet vanwege de begrenzings gesteld door de EL-X8.

Vanwege de lange rekentijden werd alleen in de winter seizoenen routine matig gedraaid, in de resterende periodes werden dan speciale testen of "hindcast" studies uitgevoerd.

Het systeem bestond uit de onderdelen analyse-wateropsetten-golven-<sup>↓</sup>berekening en werd 4 maal per dag gedraaid. Er werd alleen gebruik gemaakt van meteorologische informatie op zeeniveau, betrekking hebbende op de tijden 00,06,12 en 18 uur GMT.

De voorspellingen waren dus nog niet in het systeem opgenomen. Deze pré-operationele fase duurde tot en met het winterseizoen 75-76.

In deze periode werd veel vooruitgang geboekt in de modelontwikkeling. Het numerieke systeem werd herhaaldelijk gewijzigd. Hoewel dit draai-schema voldoende was voor het onderzoek en het verkrijgen van operationele ervaring, kon het niet aan de vraagstelling voor de Eurogeul voldoen. Hieronder volgt een discussie waarbij dit toegelicht wordt.



De analyse betrekking hebbende op het tijdstip T (=00, 06, 12 of 18 uur GMT) werd opgestart op T+5. Oorzaak hiervan was dat eerst een monitorlijst door de Weerdienst in de vorm van een ponsband bij de computer moest worden afgeleverd. Deze monitorlijst geeft in een aantal vaste lokaties de luchtdruk voor het tijdstip T, dus de meteoroloog moet eerst zijn eigen handanalyse gereed hebben voor hij deze ondersteuning kan geven. Deze ondersteuning wordt gegeven voor gebieden met weinig waarnemingen zoals de Atlantische Oceaan en de Noorse Zee, maar stuurt niet bij op de analyse omdat die pas daarna gemaakt wordt. Met dit systeem is er dus geen controle van de Weerdienst op de computer-analyse.

Als deze analyse gereed is zullen de programma's voor wateropzetten en golfberekening opgestart worden en de windberekening in deze programma's vereist een interpolatie tussen T-6 en T met een tijdstap van  $1\frac{1}{2}$  uur. Voor een aantal situaties is gebleken dat het noodzakelijk is ook de analyse op T-3 in het systeem op te nemen.

De gevolgen van één foutieve analyse kunnen, afhankelijk van de meteorologische situatie, doorwerken in de uitkomsten van de wateropzetten voor een periode van 18 uur. Voor de golfberekening is dat maximaal 5 dagen, onder te verdelen in een periode voor het zee-gangs gebied en naderhand de eruit voortkomende deining op grote afstand.

Dit systeem was dus operationeel niet bruikbaar op grond van de volgende redenen:

- 1) geen mogelijkheid tot controle en bijsturing door de Centrale Weerdienst.
- 2) aflevertijd te laat.
- 3) het ontbreken van de tussenliggende 3-uurlijkse analyses.
- 4) geen voorspellingen van het isobaren patroon op zeeniveau.

In deze pré-operationele fase werden er door de computer opgestelde telex berichten verstuurd naar het Controle Centrum voor de Eurogeul te Hoek van Holland. Deze berichten gaven 4 maal per dag de deining voor het tijdstip T en de uitlopende deining berekend uit de tot T-72 teruggaande golfkaarten. Ook werd 2 maal per dag de zeegangs-kaart (deining eruit gehaald) van het hele rekengebied overgeseind. De uitlopende deining is het numerieke equivalent van de handmethode, met de zeegangs-kaart kan men zich via de handmethode een beeld vormen over de herkomst van de deining.

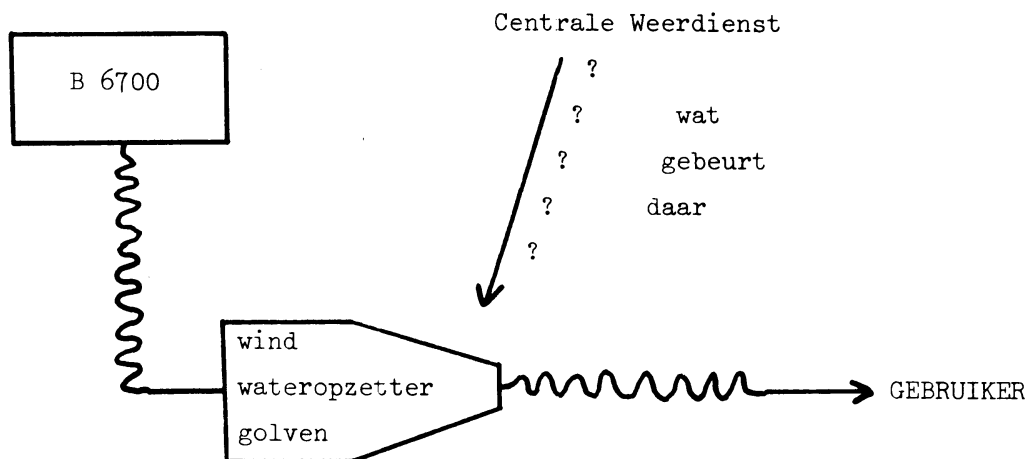
Deze telex berichten waren bedoeld om een wisselwerking tot stand te brengen met de toekomstige gebruiker. Uitdrukkelijk werd gesteld dat de Weerdienst verantwoordelijk bleef voor het uitgeven van waarschuwingen.

In 1974, toen er reeds ruime ervaring was opgedaan met het systeem en ook de modellen na een aantal wijzigingen tot een bruikbaar stadium waren ontwikkeld, werd door F. Klepper (KNMI) een grondig onderzoek ingesteld naar de isobaren- wind- en golvenberekening met de bedoeling systematische fouten op te sporen. Hiervoor werd de stormachtige periode november-december 1973 geheel opnieuw geanalyseerd. Deze studie (ref. 3) heeft geleid tot een groot aantal wijzigingen in alle drie de onderdelen. Een aantal daarvan konden reeds op de EL-X8 worden ingevoerd en een aantal moesten wachten tot de in gebruikstelling van de grotere en snellere Burroughs B 6700 computer.

De komst van de B 6700 maakte het mogelijk een systeem in te voeren dat wel operationeel aan de vraagstelling kan voldoen. Tevens kon de nog ontbrekende schakel, n.l. de voorspellingen van het atmosferische model op zeeniveau in het systeem worden opgenomen.

Semi-operationele fase.

De computer uitkomsten voor de wateropzetten en golfstoestand kunnen niet op routine basis door de Centrale Weerdienst gecontroleerd worden. Onjuist zou zijn dat meteorologische informatie buiten de CWD om zonder kennis van de kwaliteit ervan en zonder mogelijkheid tot bijsturen of ingrijpen, rechtstreeks van de computer naar de gebruiker gaat.



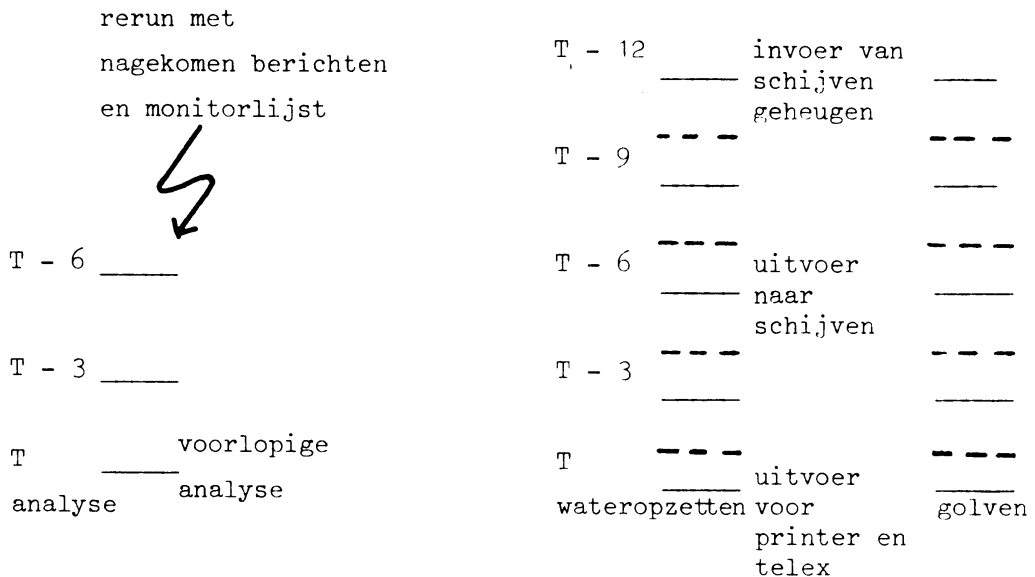
Een situatie zoals hierboven getekend is volkomen onacceptabel. De Centrale Weerdienst is verantwoordelijk voor het verstrekken van dit soort informatie aan de gebruiker. Het numerieke systeem moet dan ook zodanig zijn dat de CWD controle uitoefend en eventueel bijstuurt en daarmee de kwaliteit van de uitkomsten voldoende kan bepalen, zodat de CWD hiervoor ook verantwoordelijk kan worden gesteld.

Uit onderzoek was gebleken dat de modellen inmiddels zo ver ontwikkeld waren, dat als het windveld voldoende nauwkeurig bepaald was, ook de uitkomsten voor de wateropzetten en golven geen ernstige afwijkingen meer vertoonden. Niet dat hiermee het onderzoek voor deze modellen als afgesloten kon worden beschouwd. Verder was ook gebleken dat bij een voldoende nauwkeurig isobarenpatroon het windveld daaruit voldoende nauwkeurig berekend kon worden, zeker in situaties onder de 50 knopen.

Bij elkaar werd het hierdoor mogelijk de toets voor de eindproducten bij het isobaren patroon te leggen. Dit is precies de grootheid die wel routinematig door de meteoroloog beoordeeld kan worden. Het numerieke systeem moet dan zodanig zijn dat de meteoroloog ook kan ingrijpen als hij dat nodig oordeelt.

Ofschoon er eerst enige twijfel bestond toonde A. van der Hoek (KNMI) aan dat er voor het beschouwde gebied op de tussenliggende 3-uurlijkse tijdstippen wel voldoende gegevens waren voor het maken van een analyse. Behoudens dat gebleken was dat voor een aantal situaties de 3-uurlijkse analyse niet gemist kan worden, was het voor het nu nieuw in te voeren draaischema belangrijk dat deze analyse op grond van voldoende waarnemingen ook inderdaad uitgevoerd kon worden.

Hieronder volgt een beschrijving van het operationele schema, ook wel rerun-systeem genoemd, dat de drie eerder genoemde bezwaren opheft.



Met T wordt weer aangegeven 00, 06, 12 of 18 uur GMT.

De analyse start nu op T+1. Alle landstations zijn dan binnen, de meeste schepen ook, een paar zullen gemist worden omdat zij later komen. Er is voor de analyse betrekking hebbende op het tijdstip T geen ondersteuning van de Weerdienst. Zou meteen gestart worden met het construeren van deze analyse, dan is het duidelijk dat de kwaliteit ervan slechter zou zijn in vergelijking met het systeem uit de pré-operationele fase. Dit gebeurt dan ook niet, zij komt als laatste tot stand, genoemd voorlopige analyse, uit een serie van drie analyses nl. die van T-6, T-3 en T.

Op T+1 zijn alle nagekomen berichten voor T-6 reeds binnen, als ook alle berichten voor T-3. Op de B 6700 kost het uitvoeren van deze analyses minder dan 15 minuten rekentijd. De voorgaande analyse, dus die van T-6 uit de voorgaande run, was daardoor op T+1 al ruim 5 uur beschikbaar in de Weerdienst.

De Weerdienst kan er dus voor zorgen dat er op T+1 een monitorlijst in de computer beschikbaar is voor de voorlopige analyse van T-6. Deze monitorlijst zal naast een reeks luchtdrukwaarden in vaste posities (zoals voorheen, maar dan voor minder punten) een gedeelte bevatten waar de meteoroloog indien hij dat nodig oordeelt kan bijsturen door de luchtdruk op te geven in één of meer door hem gekozen posities, waardoor de voorlopige analyse van T-6 naar zijn inzichten wordt veranderd.

Het analyse gedeelte start dan op door de voorlopige analyse van T-6 opnieuw uit te voeren met de nagekomen berichten en de monitorlijst. Zodoende ontstaat de definitieve analyse, die door de meteoroloog bewaakt en eventueel bijgestuurd is en alle waarnemingen bevat. Deze analyse behoort daardoor van optimale kwaliteit te zijn.

De analyse van T-3 krijgt daardoor een goed gisveld (of voorspelde analyse) om mee te starten. Dit gisveld ligt bovendien maar 3 uur van de analyse waar hij uit geconstrueerd wordt; dat was voor het gisveld uit de pré-operationele fase 6 uur. Ook het gisveld voor de analyse van T-3 kan daardoor van goede kwaliteit zijn, waardoor ook verwacht mag worden dat de analyse zelf ook van goede kwaliteit is. Dit effect herhaalt zich voor de voorlopige analyse van T, waardoor de kwaliteit ervan helemaal niet hoeft onder te doen voor de analyse op T uit het voorgaande systeem van de pré-operationele fase en in veel gevallen zelfs beter zal zijn.

De wateropzet- en golvenberekening die hierna opstarten kenden als laatste de definitieve analyse van T-12 uit de voorgaande run.

De zeetoestand die beide programma's nodig hebben om door te starten was in de voorgaande run weggeschreven in het geheugen van de computer voor het tijdstip T-12 en wordt nu bij het opstarten als eerste binnen gehaald. De programma's beginnen dus bij T-12, rekenen dan door tot T-6 en schrijven de erbij behorende zeetoestand weg in het geheugen voor de volgende run, waarna zij doerrekenen naar T.

Na T-6 wordt de uitvoer dus niet onthouden en dient uitsluitend voor de berichtgeving. De uitvoer van T wordt alleen tijdelijk onthouden voor de verdere berekeningen gebaseerd op de voorspellingen van het atmosferische model.

Doordat de analyse van T-6 en alle eraan voorafgaande van gegarandeerde kwaliteit zijn, is het niet meer mogelijk dat ontsparingen

voor het golven-programma optreden voor langere periodes. Bijsturen van het programma voor de wateropzetten op grond van waargenomen waterstanden is niet mogelijk, hetzelfde geldt voor het golvenprogramma. De oorzaak van zo'n afwijking kan immers liggen in afwijkingen in de analyse op andere posities op een tijdstip in het verleden.

In het winterseizoen 76-77 werd dit nieuwe systeem op de B 6700 ingevoerd, tegelijk met het voorspellings-gedeelte. Wat betreft de voorspelling van het isobaren patroon op zeeniveau, ontbrak het nog aan ervaring. De koppeling van het atmosferische model op continu basis aan het golven model was nieuw. Op aanvraag konden uit Engeland de voorspellingen van hun 10-lagen model overgeseind worden. Dit gebeurde vanaf januari 1977 op continu-basis 2 maal per dag. Het betrof hier de Engelse analyse en hun prognoses 6, 12, 18 en 24 uur vooruit. Een set programma's werd ingevoerd, die het mogelijk maakten op routine basis de eigen en Engelse prognoses te vergelijken, speciaal voor wat hun nauwkeurigheid betreft voor het berekenen van de wind (publicatie in voorbereiding). Dit maakte het mogelijk wijzigingen in het eigen model relatief snel op hun waarde te beoordelen, waardoor de achterstand ten opzichte van Engeland snel verminderd kon worden. Dit was noodzakelijk omdat op praktische gronden met eigen voorspellingen gewerkt diende te worden.

Om inzicht te krijgen in de resultaten voor meest "gevoelige" eindgebruiker van het prognose systeem nl. het golvenprogramma, werden de golvenberekening gekoppeld aan zowel het Engelse als het eigen prognose model.

Ook de Amerikaanse 24-uurs prognose die op routine basis binnenkomt werd vergeleken met het eigen en het Engelse model.

Het hierboven omschreven systeem liep in zijn geheel probleemloos op de computer vanaf het voorjaar 1977. Alleen een belangrijke verandering was nog niet gerealiseerd. Dit hield in een essentiële wijziging in het analyse programma zelf, waardoor een verbetering in de kwaliteit te verwachten is.



Bovendien zou dit nieuwe analyse programma moeten gaan dienen voor het opstarten van het eigen atmosferische model dat tot nu toe uitgaat van de Engelse analyses aan de grond en in de bovenlucht.

De ontwikkeling van dit nieuwe analyse programma is inmiddels ver gevorderd en het laat zich aanzien dat deze nieuwe analyse programma's in de naaste toekomst in het operationele systeem zullen worden ingevoerd, ook als uitgang voor het eigen atmosferische model.

#### Evaluatie en aanpassing modellen.

##### Waterstanden

Vanaf 1973 zijn opgetreden en gemeten opzetten, windsnelheid en windrichting op een aantal plaatsen bij de Nederlandse kust vergeleken met de berekende waarden. Deze vergelijking, die ook werd uitgevoerd voor 16 stormvloedten uit de periode september 1958 tot maart 1962, leidde tot een betere keuze van de grootte van een aantal coëfficiënten, die worden gebruikt bij de windberekening en bij de opzetberekening.

Ook werd ontdekt dat de luchtdrukverschillen in het overgangsgedebied van zeer diepe gedeelten van de Oceaan naar ondiepe kustwateren een belangrijke rol speelt bij de ontwikkeling van external surges.

Sinds oktober 1977 worden 2 maal per dag de voorspelde luchtdrukwaarden tot 24 uur vooruit afkomstig van het Met. Office in Bracknell bij de berekening betrokken, zodat voorspelde waterstanden tot 24 uur vooruit op routine basis beschikbaar komen. Ook deze berekende waarden zijn vergeleken met waarnemingen. Een bewerking van deze vergelijking voor de periode oktober 77 tot april 78 gaf als indruk dat de kwaliteit van de waterstandvoorspellingen in de eerste 24 uur nog niet aanzienlijk terugloopt.

##### Golven.

In de beginfase van de ontwikkeling van het model werden 14 stormen geselecteerd die manueel voor computer invoer geschikt werden gemaakt.

Deze data set diende om allerlei aannames te testen. Het hiermee ontworpen model werd naderhand steeds meer verfijnd. Voor de ontwikkeling van zeegangsspectra op diep water zie ref. 2. Het model beschrijft nu de ontwikkeling van zeegang, zowel op diep als ondiep water. Bij de opbouw ervan wordt deining in rekening gebracht voor zover deze afkomstig is uit hetzelfde windveld, zoniet dan zijn deining en zeegang ontkoppeld. Bodemwrijving en verandering van de groepsnelheid zijn in het rekenschema opgenomen, refractie nog niet.

Een vergelijking tussen de handmethode en het numerieke model op basis van operationeel gebruik is moeilijk te geven omdat bij toepassing door de meteoroloog de afgegeven waarschuwing zowel wat begin- als eindtijd betreft beïnvloed kan zijn door de metingen bij de Eurogeul als de uitkomsten van het numerieke model.

Een objectieve vergelijking tussen beide methodieken moet uitgaan van een aaneengesloten reeks analyses, waarbij dezelfde reeks voor beide methoden wordt gebruikt. Zo'n vergelijking is niet uitgevoerd. Bedacht moet worden dat de resultaten van een dergelijke vergelijking nog een interpretatie verlangen als het gaat om toepassing voor operationeel gebruik. De geselecteerde periode speelt uiteraard een rol, maar er bestaat ook een verschil tussen een objectieve numerieke methode die altijd en onder elke omstandigheid volgens een vast voorschrift met zijn uitkomsten komt en een handmethode waarbij de menselijke factor een rol speelt.

#### Conclusies en discussie.

Voor de golvenberekening speelt het windveld boven de Noorse Zee een belangrijke rol. De onzekerheden zijn voor dat gebied groter dan voor de Noordzee en dit zou nog aanzienlijk toenemen als de berichtgeving van weerschepen op positie M zou komen te vervallen. De huidige discussie over het uit de vaart nemen van weerschepen geeft dan ook reden tot ongerustheid. De weerschepen meer westelijk op de Atlantische Oceaan zijn uitermate belangrijk voor de kwaliteit van de voorspellingen voor de Noordzee, omdat de ontwikkelingen overwegend uit het westen komen.

De uitkomsten voor de golven worden gepresenteerd in de vorm van periode-bandjes en gemiddelde richting per richtings-sector.

Bovendien wordt er onderscheid gemaakt tussen zeegang en deining. Tot nu toe houdt de vraagstelling voor de Eurogeul in het wel of niet overschrijden van de totale variantie ("energie") van  $150 \text{ cm}^2$  voor golven met een periode boven de 10 seconden. Voor zeegang zal bij ontstaan van golven boven de 10 seconden de grens van  $150 \text{ cm}^2$  snel overschreden worden, terwijl de golfperiode niet ver boven de 10 seconden uitkomt. Bovendien heeft zeegang een grote richtings-spreiding. Hierdoor zou het mogelijk kunnen zijn dat een tanker daar anders op reageert als op deining met zelfde energie in het periode bereik van 12 tot 14 seconden. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of het van belang is onderscheid te maken tussen zeegang en deining en ook de energie-maat in het waarschuwingssysteem te betrekken. Misschien is zelfs een verdere differentiatie in periodes bruikbaar als ook een klasse verdeling in soorten van tankers en belading. Op vragen hierover van KNMI-zijde kwam tot nu toe geen antwoord. Mochten dit soort zaken van belang zijn dan geeft het golfvoorspellings model de mogelijkheid hier op in te gaan en zouden er formules zijn te ontwerpen voor de responsie van een tanker op de golftoestand dan zouden de uitkomsten ook in de vorm van slingerhoeken kunnen worden opgegeven.

Zodra het nieuwe analyse model in het systeem is opgenomen, kan begonnen worden met het samenstellen van contingentie tabellen voor de wateropzetten en golfberekening. Er is een publicatie in voorbereiding over de nauwkeurigheid van dit systeem, betrekking hebbende op de periode voorafgaande aan de invoering van de nieuwe analyses. Wegens de beperkingen vroeger van de EL-X8 is het rekengebied voor de golven zo klein genomen als de vraagstelling voor de Eurogeul toeliet. De B 6700 maakt het mogelijk dit gebied in westelijke richting uit te breiden, waardoor de uitkomsten ook algemeen bruikbaar worden voor het gebied benoorden de Doggersbank.

De kwaliteit van het systeem is inmiddels op het peil dat dit systeem operationeel zou kunnen worden ingezet, maar bij vragen van de gebruiker zal de meteoroloog hier op moeten antwoorden, zodat ook hij met dit systeem vertrouwd moet zijn geraakt.

Referenties.

- 1) Kruseman, P., 1976. Twee praktische methoden voor het maken van verwachtingen voor golfcomponenten met perioden tussen 10 en 25 seconden nabij Hoek van Holland. KNMI W.R. 76-1.
  - 2) Sanders, J.W., 1976. A Growth-Stage Scaling Model for the Wind-Driven Sea. Deutschen Hydrografischen Zeitschrift, Band 29, 1976, Heft 4.
  - 3) Klepper, F., 1975. Numerieke berekening van zeegang en deining op de Noordzee, een voorlopige evaluatie van de uitkomsten van het GONO-programma over de periode november-december 1973. Intern rapport KNMI. (Memo 75-301)
- Timmerman, H., 1977. Meteorological Effects on Tidal Heights in the North Sea. KNMI Mededelingen en Verhandelingen No. 99.
- Exter Blokland, A.W. den, 1972. Experimenten met het numeriek opstellen van neerslagverwachtingen. KNMI W.R. 72-8.
- Galen, J. van, 1969. Baroklien 3-parameter model. KNMI W.R. 69-3.
- Heijboer, L.C., 1973. Windverwachtingen voor 12 en 24 uur vooruit op 850 mbar door het BK3-model en de relatie tussen de geostrofische wind op 850 mbar en de gemeten wind van de meetpaal Katwijk. KNMI W.R. 73-1.
- Heijboer, L.C. en Exter Blokland, A.W. den, 1974. The inclusion of latent heat in a three-level model with filtered equations and its influence upon the development of depressions. KNMI W.R. 74-11.
- Heijboer, L.C., 1977. Design of a baroclinic three-level quasi-geostrophic model with special emphasis upon the developing short frontal waves. KNMI Mededelingen en Verhandelingen No. 98.

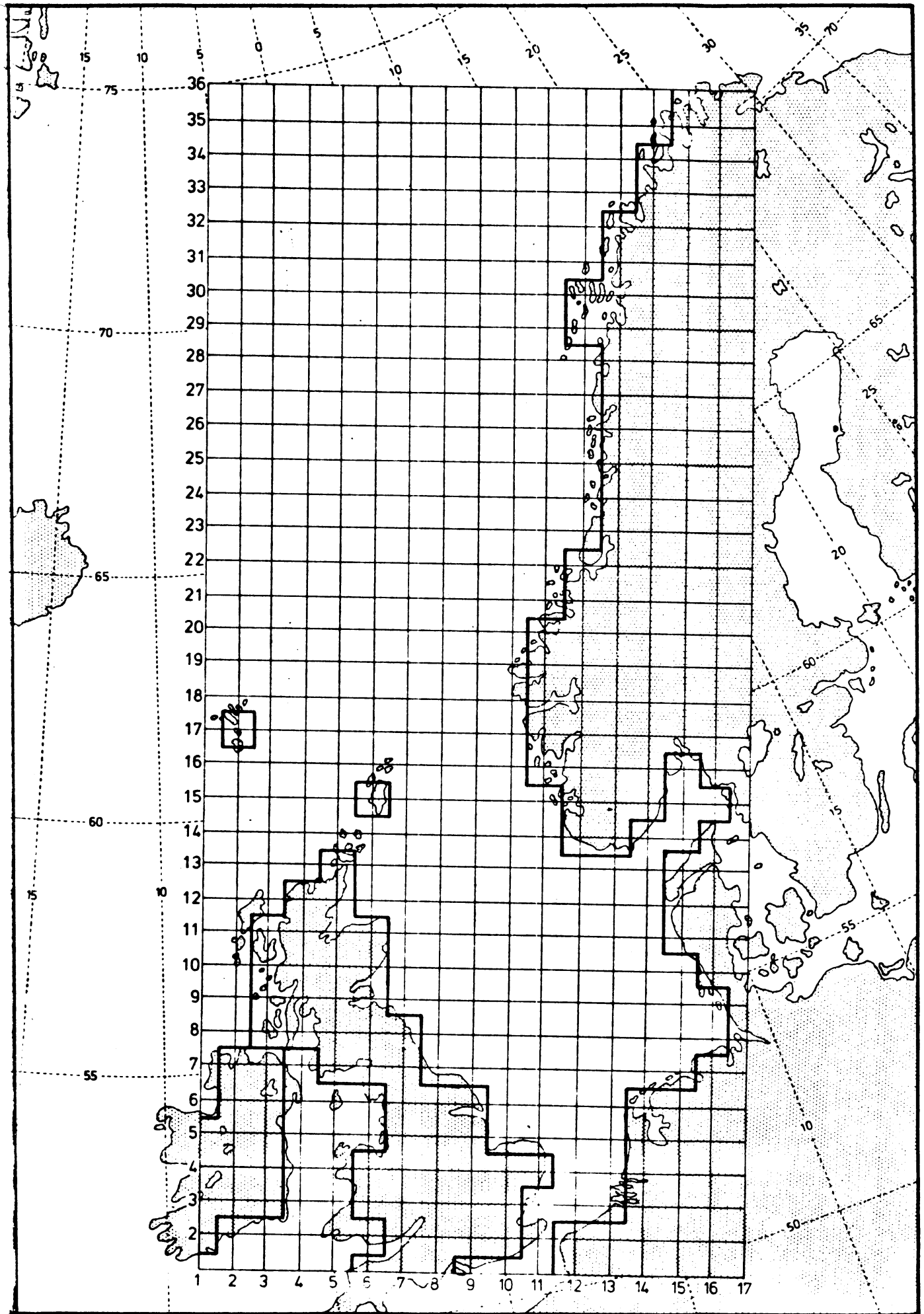


fig.1

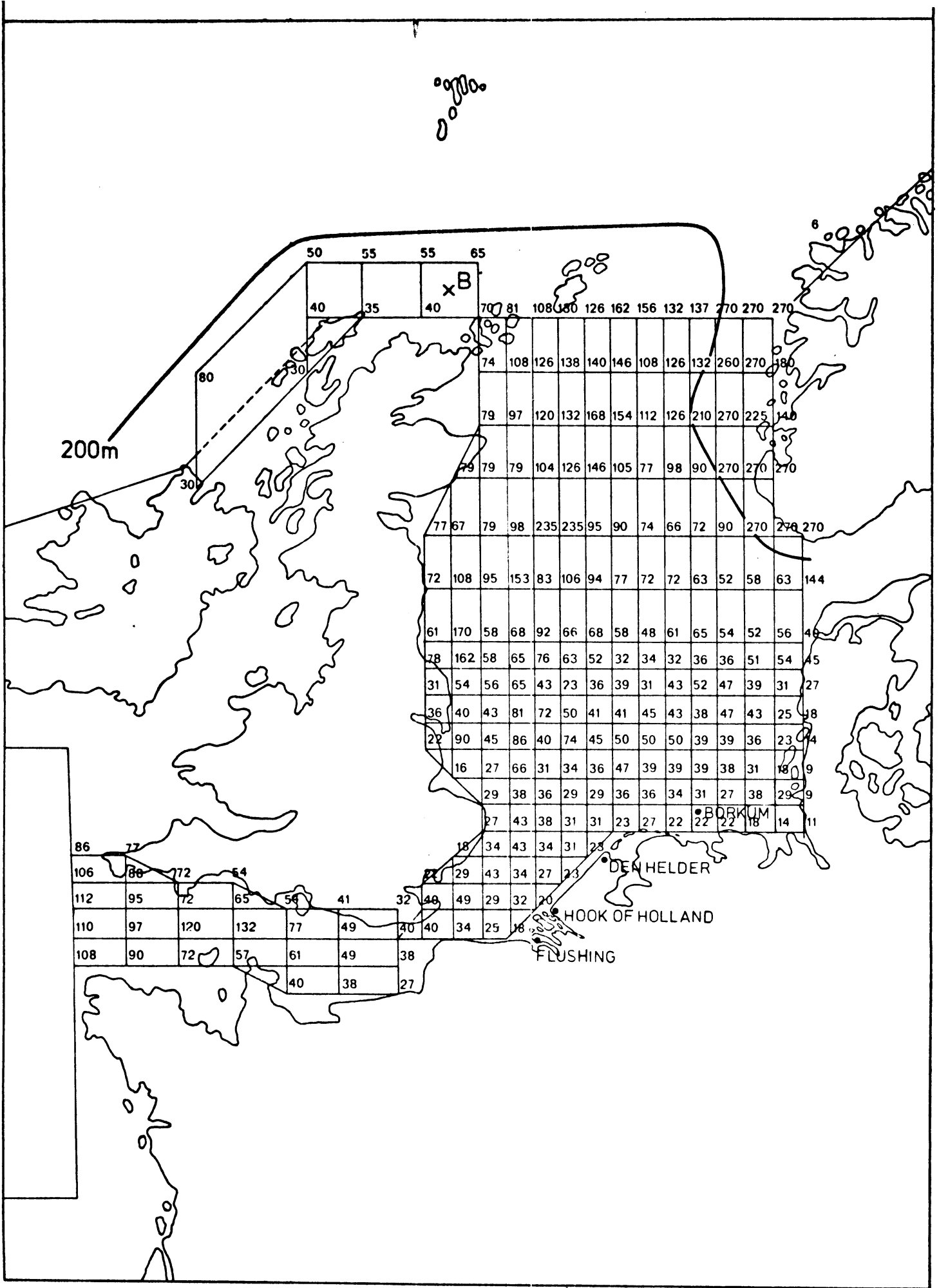


FIG. 2