

naar een niet-lineair  
wateropzetmodel;  
stand van zaken februari 1988

C. J. Kok

wetenschappelijke rapporten WR-nr 88-03

scientific reports WR-nr 88-03

**Naar een niet-lineair wateropzetmodel**

**Stand van zaken februari 1988**

**C.J. Kok**

**"Met scheve opzetten zal alles recht komen"**  
**(Ton Donker)**

## INHOUD

I	INLEIDING	1
II	HET IOS WATEROPZET MODEL	3
	1. Modelbeschrijving	3
	2. Verwerkingsschema	11
III	SCHEVE VERSUS RECHTE OPZETTEN	14
	1. Lineair versus niet-lineair model	14
	2. Grafische opzetpresentatie	28
IV	MODELGETIJ	30
	1. Inleiding	30
	2. Gebruikte getijcomponenten en hun effect	31
	3. Modelgetijverificatie	40
V	KWALITEIT UK6-WINDEN	48
	1. Historie	48
	2. Nieuwe windverificatie	51
VI	GECORRIGEERDE UK6-WINDEN	63
	1. Inleiding	63
	2. Methode en verificatie	65
VII	WADDEN/EEMSMOND CORRECTIE	70
VIII	IOS VERIFICATIE	77
	1. Mogelijke oorzaken van foute verwachtingen	77
	2. Opzet verificatie	80
	3. Verificatie van faseverschuivingen van het getij	87
IX	SLOT	94
	REFERENTIES	96
	APPENDIX	

## I. INLEIDING

Tot voor enkele jaren werd voor de waterstandsverwachtingen langs de Nederlandse kust gebruik gemaakt van het WBN model. Dit is ontwikkeld door Timmerman op basis van een model afkomstig van het Mathematisch Centrum te Amsterdam. In het najaar van 1986 is besloten het WBN te vervangen door het IOS wateropzetmodel dat ontwikkeld is door het Institute of Oceanographic Sciences te Bidston (Engeland).

Een belangrijke reden voor de vervanging was de grote hoeveelheid computertijd die het BK4 atmosfeermodel opslokte. Dit model, dat uitsluitend werd gedraaid om het WBN aan te drijven, gebruikte in totaal bijna een kwart van de totale rekencapaciteit van de Burroughs. Daarom is een vergelijking gemaakt tussen de verschillende operationele wateropzetvoorspelsystemen van de landen rond de Noordzee (Peeck et al, 1983). Hieruit bleek het IOS model, aangedreven door winden uit het fine mesh model (UK6) van Bracknell, superieur te zijn boven alle andere, inclusief het bovengenoemde WBN/BK4.

In Peeck et al is dus niet gekeken naar de kwaliteit van de afzonderlijke wateropzetmodellen maar alleen naar de performance van het totale voorspelsysteem, die uiteraard in belangrijke mate afhangt van de kwaliteit van het gebruikte atmosfeermodel.

Van het BK4 model was bekend dat het veel te wensen overliet. Uit verschillende verificaties was gebleken dat de UK6-basis te prefereren was boven BK4 zelfs wanneer de grotere beschikbaarheid (BK4 4x per dag tegen UK6 2x) in aanmerking wordt genomen. Naar aanleiding van de resultaten van Peeck et al is het IOS model naar Nederland gehaald en aangepast aan de mogelijkheden wat betreft computergebruik (uitgevoerd door Harger Peeck). Verificatie van deze nieuwe modelversie was aanleiding om met ingang van 24 november 1986 het IOS/UK6 systeem operationeel te maken. De WBN/UK6 versie die inmiddels in ontwikkeling was kon nog geen rol spelen in de besluitvorming. Een uitvoeriger argumentatie over de invoering van het IOS/UK6 is te vinden in Komen (1986), De Jongh (1986) en Daan (1986). De (alom erkende) veel betere fysica in het IOS model heeft bij de uiteindelijke beslissing tot invoering geen enkele rol gespeeld.

De grootste verandering is echter juist de andere beschrijving van het fysische gedrag van de waterbewegingen in de Noordzee. Deze is wezenlijk anders in een lineair (WBN) dan in een niet-lineair model (IOS). Met niet-lineair wordt in dit rapport bedoeld dat de getijbewegingen ook beschreven

worden naast de bewegingen die het gevolg zijn van wind- en luchtdrukkrachten. In een niet-lineair model kan daarom de belangrijke interactie tussen deze bewegingen redelijk beschreven worden.

De overgang op een niet-lineair model heeft nogal wat consequenties. Dit geldt zowel voor de "logistiek" als voor met name de interpretatie (en presentatie) van de modeloutput. Deze modeloutput bevat namelijk veel meer informatie dan in een lineair model mogelijk is. Levert een lineair model "slechts" een schatting voor "de" opzet bij hoog- en laagwater, een niet-lineair model levert daarnaast een indicatie over vervroeging of verlating van de getijbeweging onder invloed van de meteokrachten en geeft in principe ook realistischer opzetten tussen de getijextremen. Dit is met name van belang voor toekomstige data-assimilatie. Met de invoering van het IOS model is het KNMI deze weg ingeslagen. Omdat het IOS model echter lang niet perfect is is een goede interpretatie van de modeloutput van nog groter belang.

Dit rapport geeft een evaluatie van de stand van zaken na ruim 1 jaar ervaring met het IOS model. Een groot aantal doorgevoerde veranderingen wordt beschreven. De nadruk zal echter liggen op de principiële verschillen tussen lineaire en niet-lineaire wateropzetmodellen. Deze komen met name aan de orde in hoofdstuk III. De modelbeschrijving staat in hoofdstuk II. Bij overgang op het nieuwe model bleek de bestaande Waddenzee-/Eemsmond correctie niet te voldoen. De nieuw ontwikkelde correctie staat beschreven in hoofdstuk VII. De simulatie van de niet-lineaire interactie wordt in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van de modelgetijbeschrijving. Hierop wordt ingegaan in hoofdstuk IV. Een evaluatie van de windinvoer is gegeven in hoofdstuk V. Deze was aanleiding tot een correctie van de windsnelheid in de kustgebieden (zie hoofdstuk VI). Tenslotte worden in hoofdstuk VIII de resultaten gepresenteerd van een rerun met het huidige IOS model over de winter '86/'87. In dit hoofdstuk komen ook de faseverschuivingen van het getij aan de orde. Daarnaast wordt er een indeling gemaakt in mogelijke oorzaken van foute opzetverwachtingen. Hierbij wordt tevens aangegeven in welke onderdelen de in de komende jaren geplande ontwikkelingen verbetering zouden kunnen geven.

## II. HET IOS WATEROPZET MODEL

### II.1 Modelbeschrijving

Hieronder volgt een technische beschrijving van het thans operationele wateropzet model. Dit model is ontwikkeld op het Institute of Oceanographic Sciences te Bidston en wordt daarom hier het IOS model genoemd. In de literatuur wordt dit model ook wel restricted shelf model (RSM) genoemd. Uitgebreide modelinformatie wordt tevens gegeven in Davies & Flather (1978) en Flather & 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:

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

de bewegingsvergelijking in  $\phi$  (noord-zuid) richting:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{R \cos \phi} \frac{\partial V}{\partial \lambda} + \frac{V}{R} \frac{\partial V}{\partial \phi} + \frac{U^2 \tan \phi}{R} + fU =$$
$$- \frac{kV(U^2 + V^2)^{1/2}}{D} - \frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \phi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial p_a}{\partial \phi} + \frac{G}{\rho D}$$

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

- $D = H + \zeta$  , de totale diepte van het water
- $f = 2\Omega \sin\phi$  (met  $\Omega$  rotatiesnelheid van de aarde) de Coriolis parameter
- $g$  de zwaartekrachtversnelling
- $\rho$  de dichtheid van het water
- $F$  de oost-component van de windstress op het wateroppervlak
- $G$  idem de noord-component
- $k = 0.0025$ , de bodemwrijvingscoëfficiënt

Dit stelsel vergelijkingen wordt geïntegreerd in de tijd  $t$  op een rooster dat gestaggered is in de ruimte:  $\zeta$ ,  $U$  en  $V$  worden op verschillende punten uitgerekend. Zie Fig. II.1.

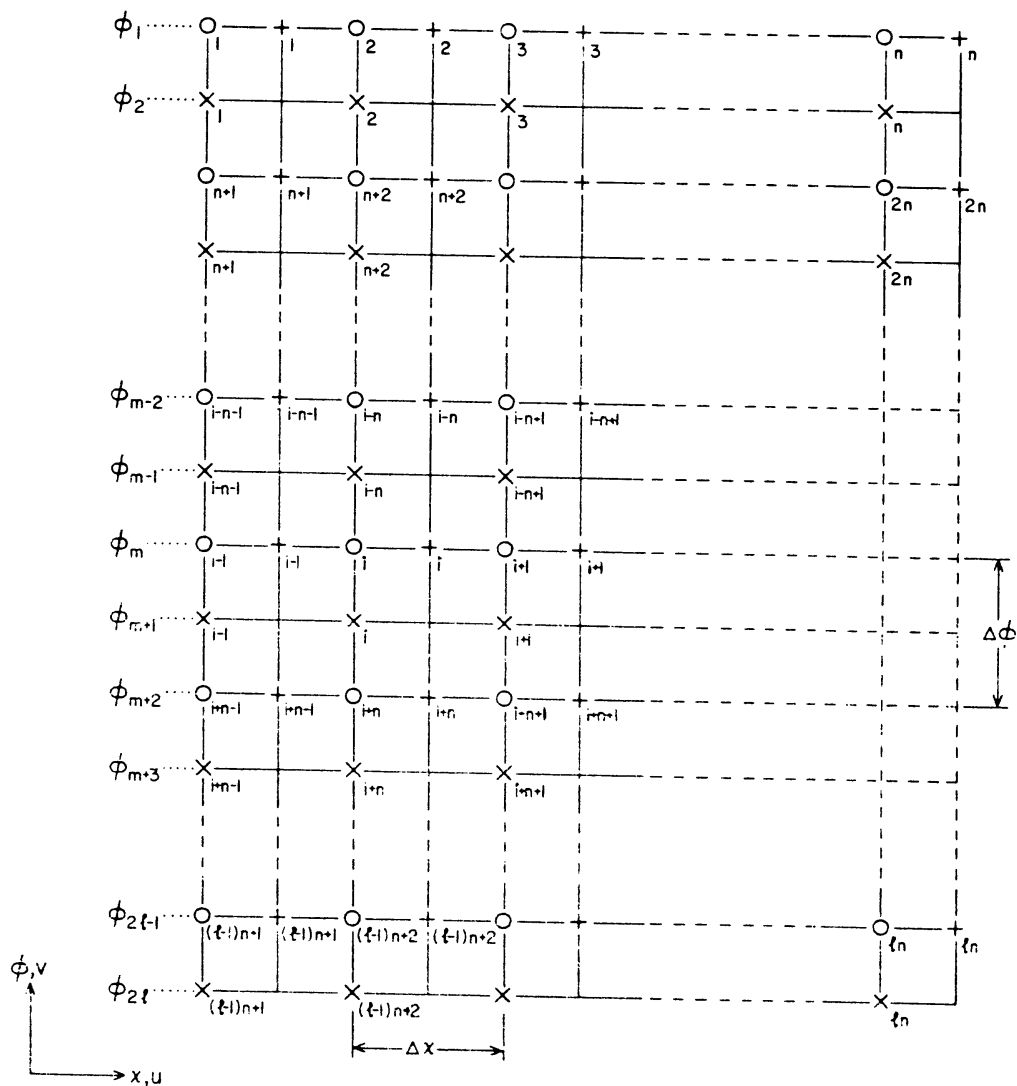


Fig. II.1 Rekenrooster van het IOS model: o  $\zeta$ - roosterpunt, + U en x V roosterpunten

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 staat weergegeven in Fig. II.2, het niet-gearceerde deel. De roosterpuntsafstand is  $1/2^\circ$  in de x-richting en  $1/3^\circ$  in de y-richting; ongeveer 30 bij 30 km. Het gearceerde deel is het gebied dat afgekapt is (door Harger Peeck) van het oorspronkelijke IOS model om integratietijd te sparen. De tijdstap is nu 4 minuten tegen 3 minuten in de originele Engelse versie. Dit is mogelijk gemaakt door de afkapping en het verminderen van de waterdiepte in enkele roosterpunten tot 650 meter teneinde aan het CFL-criterium te voldoen om numerieke instabiliteit te voorkomen. Deze voorwaarde luidt:  $\Delta x > \Delta t \sqrt{gH}$

#### 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 (gemiddeld over de diepte)

$$c = \sqrt{gH}$$

$\zeta_T$  en  $q_T$  zijn de door de getijkrachten opgewekte hoogte en stroming,  $\zeta_M$  is de hydrostatische correctie voor luchtdrukeffecten. Deze worden in de volgende sectie beschreven.

Bovenstaande randconditie lijkt echter niet in alle omstandigheden volledig te voldoen. Dit kan worden aangetoond door het volgende experiment. We hebben de lineaire versie van het model (dit is het model zonder getijkrachten) aangedreven met een constante zuidenwind over het hele integratiegebied. In Fig. II.3 is de waterstand gegeven (in cm) horend bij de uiteindelijke evenwichtssituatie. Deze wordt bereikt na ongeveer  $1\frac{1}{2}$  dag



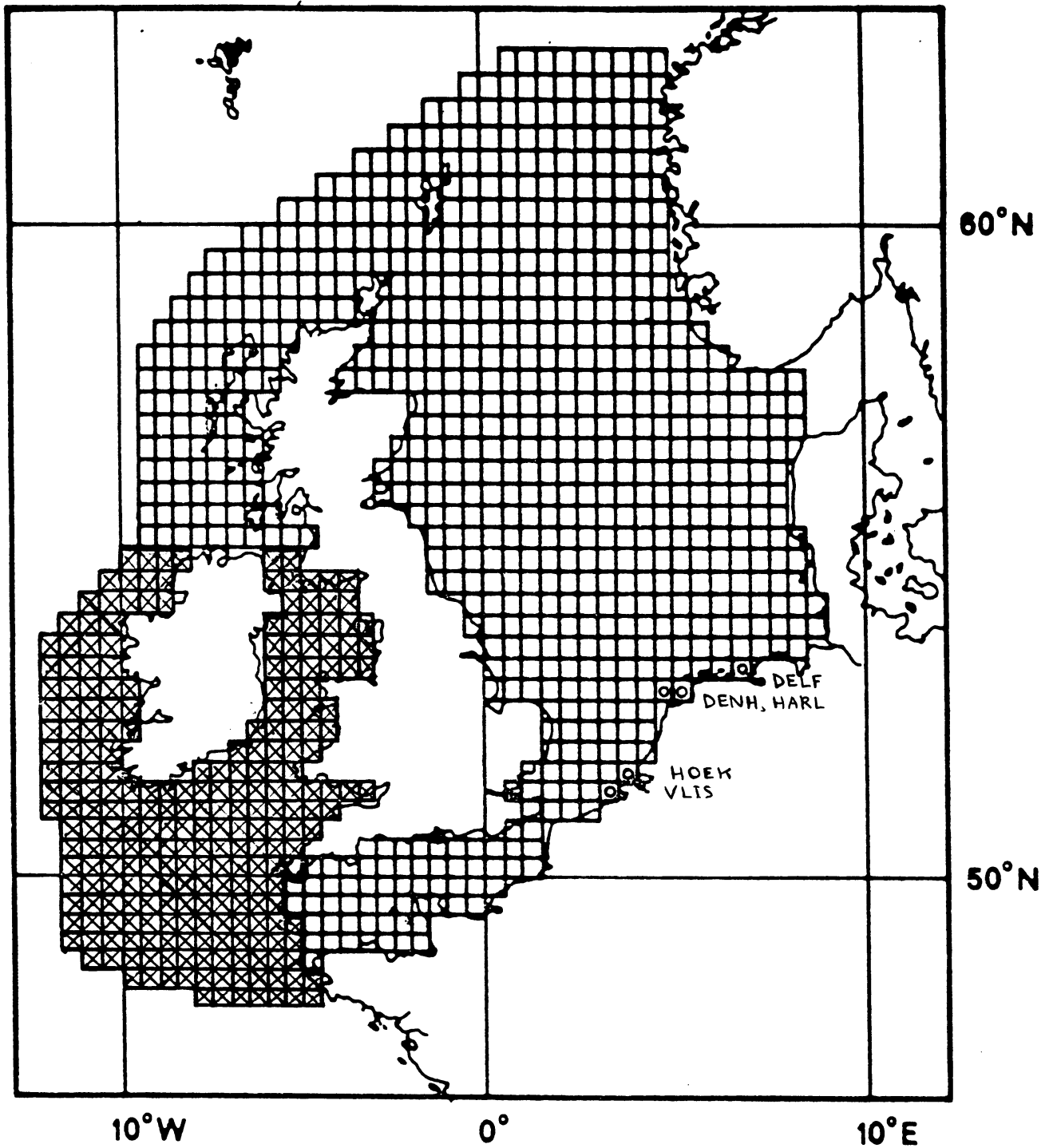


Fig. II.2 ζ-roosterpunten IOS model, het niet-gearceerde deel is het huidige modelgebied. (Het totale gebied is het oorspronkelijke IOS rooster)

integratie. Opvallend is de "waterberg" tegen de noordrand van het modelgebied. De gebruikte randvoorwaarde is dus blijkbaar niet in staat om deze uit het gebied te laten weglopen en lijkt dus niet het beoogde effect te hebben: waterstandsverschillen tussen binnen- en buitengebied te nivelleren door een stroming over de rand.

In het in Fig. II.3 getoonde experiment is nog gebruik gemaakt van een andere dragcoëfficiënt dan die in dit hoofdstuk besproken zal worden. Dit heeft uiteraard geen invloed op bovenstaande conclusies.

### 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. Op de grootte van dit effect komen we terug in het volgende hoofdstuk. 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 krijgen.

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
$\sigma_i$	de snelheid
$V_i$	de fase van de evenwichtscomponent in Greenwich
$g_i$	de faseverschuiving t.o.v. $V_i$

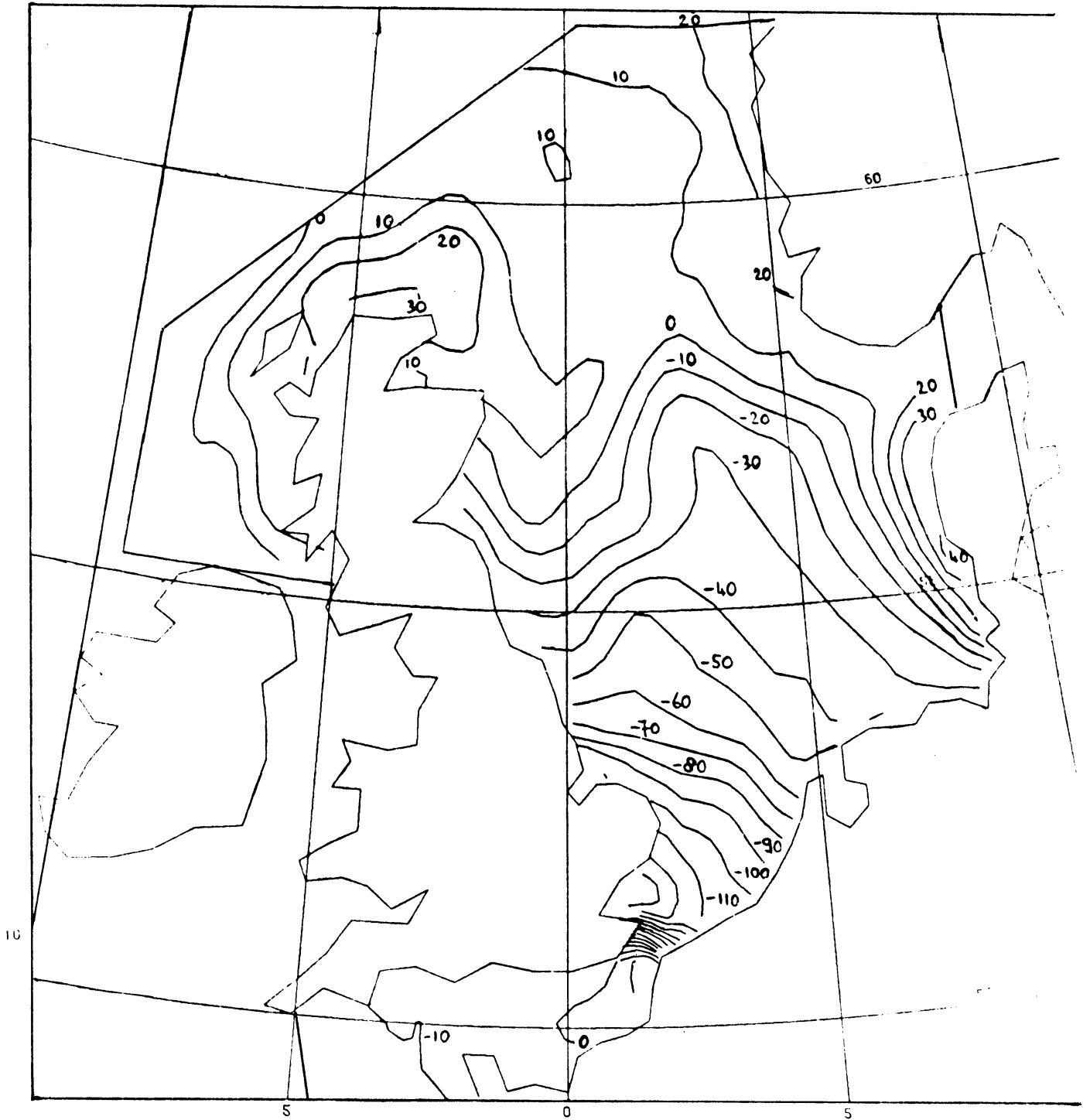


Fig. II.3 Evenwichtsofzet (in cm) bij afwezigheid van getijkrachten als respons op een Z-wind in het hele modelgebied.

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 ongeveer  $\sqrt{gH}$  langs de Engelse oostkust naar het zuiden en vervolgens langs de Belgische en Nederlandse kust noordwaarts. Zie voor de theorie van Kelvin golven Gill (1982).

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 locale 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 het water. In het binnengebied vindt aanpassing aan de luchtdruk plaats door middel van de (lucht)drukgradiëntkrachten.

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

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

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

met  $u$ ,  $v$  de windcomponenten (in m/s) 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 meteorologische invoer voor het IOS model wordt op dit moment verkregen uit het Engelse fine mesh model. De geleverde velden zijn 3-uurlijks en worden lineair geïnterpoleerd naar uurlijkse waarden voordat de stressen worden berekend.

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. De bodemwrijving is evenredig met het kwadraat van de stroomsnelheid (eerste term in het rechterlid van de bewegingsvergelijkingen); het energieverlies is dus evenredig met de derde macht.

#### Beginvoorwaarde

Iedere run begint met een begintoestand van waterhoogte en stroming in het hele modelgebied. Deze wordt in de operationele praktijk in principe verkregen door een uitgangstoestand van de voorafgaande run te nemen (vooral nog) 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 wateropzetmodellen die gebruik maken van het bovenbeschreven stelsel vergelijkingen, is de wrijving dusdanig groot dat instabiliteiten en verstoringen onderdrukt worden. De wrijving heeft ook tot gevolg dat de invloed van kleine fouten in de begintoestand betrekkelijk snel worden weggedempt. Fouten kunnen ook simpelweg met de Kelvingolf het modelgebied uitlopen.

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

## Nabehandeling modeloutput

Modelstanden stellen per definitie gemiddelden voor over gebiedjes van circa 30 x 30 km. Voor de opzet kunnen echter locale kleinschalige invloeden van essentieel belang zijn. Het IOS model is te grofmazig om deze goed te beschrijven. Daarom worden voor de stations Harlingen en Delfzijl (en in mindere mate Vlissingen), in afhankelijkheid van de wind, correcties uitgevoerd op de modelopzetten voor naburige roosterpunten. Deze worden beschreven in hoofdstuk VII.

Tenslotte wordt voor het station Oosterschelde de opzet afgeleid uit de twee dichtstbijzijnde roosterpunten. De gebruikte formule is: opzet te Oosterschelde =  $2/3$  x de berekende opzet te Vlissingen +  $1/3$  x die in Hoek van Holland. Zie Floor (1986b).

Voor external surges - opzetten die buiten het modelgebied hun oorsprong vinden - dient in afwachting van data-assimilatie handmatig te worden gecorrigeerd.

Dit laatste geldt in het algemeen niet voor zogenaamde opzwiepeffecten en terugslingeringen. De waterstand zal bij storm in het algemeen veel afwijken van de stand die in evenwicht is met het windveld. Dit "opzwiepen", mits niet veroorzaakt door buien(lijnen) die te kleinschalig zijn voor het wateropzetmodel, zal goed voorspeld kunnen worden. Dit geldt tevens voor de resonantie die het gevolg is van twee depressies die elkaar met een tijdsverschil opvolgen die gelijk is aan de eigentrilling van de Noordzee (ca 16 uur) of die het gevolg is van het in fase lopen van windveld en opzetberg.

Na het passeren van een windveld zal de Noordzee nog even blijven "naschommelen". De hiermee samenhangende terugslingeringen worden door een dynamisch model goed beschreven.

## II.2 Verwerkingsschema

De wind- en druinvoer is afkomstig van het fine mesh model van het Met. Office in Bracknell (Engeland). Dit model levert tweemaal daags een forecast tot 36 uur vooruit vanaf de analysetijden 0 uur en 12 uur GMT. De 3-uurlijkse winden en drukken worden op een "uitvoerrooster" (zie hoofdstuk V) naar het KNMI gezonden waar ze in het algemeen rond 4 uur en 16 uur GMT arriveren. Hierna wordt een verwerkingsjob gestart, waarin o.a. het IOS model inclusief

alle pre- en postprocessing wordt gedraaid. Zijn de winden en/of drukken na 8 resp 20 uur GMT nog niet "binnen", dan worden er geen wateropzetten berekend.

Om tot een opzetberekening te komen moeten 2 modelintegraties worden uitgevoerd. Allereerst een getijrun (T run) waarin het model wordt aangedreven met alleen de 6 bovengenoemde getijcomponenten. Vervolgens een run ("getij + surge" run, T+S) 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 belangrijke niet-lineaire interactie tussen getij en opzet. De beste schatting van de (totale) waterstand wordt tenslotte verkregen door dit verschil op te tellen bij het astronomisch getij uit de getijtafels voor de desbetreffende stations.

De totale waterstand kan niet rechtstreeks uit de T+S run verkregen worden doordat de getijrepresentatie van het model hiervoor bij lange na niet voldoende is (zie hoofdstuk IV). Dit komt allereerst door het geringe aantal gebruikte getijcomponenten. Daarnaast is het model veel te grofmazig om de belangrijke locale invloeden goed te beschrijven.

Naast de 36 uur forecast van het fine mesh model uitgaande van 0 en 12 uur GMT ontvangt het KNMI ook de analyses van 6 uur en 18 uur GMT. Er is geprobeerd om met behulp van deze analyses de begintoestand van een modelrun te corrigeren voor fouten in de voorspelde winden en drukken in de voorafgaande 12 uur. Hierbij werd een hindcast gemaakt waarin de meteorologische situatie van deze 12 uur geupdate werd door gebruik te maken van de inmiddels ter beschikking gekomen nieuwe analyse en die van 6 uur eerder. Toepassing van deze procedure leverde echter geen verbetering van de opzetverwachting op. Daarom is er van verdere ontwikkeling afgezien. Een mogelijke oorzaak van dit falen wordt gegeven in hoofdstuk V.

De rekentijd voor een 36-uurs run van het IOS model bedraagt 7,5 min. cpu op de Burroughs A9. Eenmaal daags wordt een getijrun gedraaid van 48 uur, uitgaande van dezelfde starttijd als van de getij + surge run. Hierdoor is er bij de volgende T+S run, 12 uur later, de benodigde 36 uur modelgetij aanwezig. Dus is totaal gebruikt het IOS model per dag ca 25 min. cpu. Hierop is nog gemakkelijk 20% te bezuinigen door de getijrun te beperken tot 24 uur door ervoor te zorgen dat de getijrun voor een bepaalde datum (minimaal) 1 dag vóór de T+S run plaatsvindt. De netto rekentijd van het IOS-systeem komt dan op ca 20 minuten plus enkele minuten pre- en postprocessing. De turnaroundtijd

kan desgewenst nog verkort worden door de getijrun buiten bovengenoemde job te houden; deze run is namelijk niet afhankelijk van de aanwezigheid van winden en drukken.

Een beschrijving van de postprocessing (aanmaak van archiverings- en verificatie files e.d.) is te vinden in Komen (1986).



### III. SCHEVE VERSUS RECHTE OPZETTEN

#### III.1 Lineair versus niet-lineair model

Per 1 oktober 1986 is het KNMI met de invoering van het IOS model overgegaan op het gebruik van een niet-lineair model voor de wateropzetverwachting. Met niet-lineair wordt hier bedoeld dat de interactie met het getij in de berekeningen wordt verdisconteerd. De voorloper van het IOS model, het WBN, kent deze interactie niet.

Deze overgang brengt nogal wat veranderingen met zich mee. De modeluitvoer is ingewikkelder maar bevat veel meer fysische informatie over het gedrag van de Noordzee dan vroeger. Hier zal in deze paragraaf iets nader op worden ingegaan door een drietal grote verschillen tussen lineaire en niet-lineaire modellen te belichten.

Om de interpretatie van de modeloutput te vergemakkelijken is onlangs de presentatie iets gewijzigd. Hierop wordt ingegaan in de tweede paragraaf.

Allereerst bekijken we een aantal gebruikte termen.

Het in hoofdstuk II beschreven wateropzetmodel wordt gebruikt om een schatting te maken van de afwijkingen ten opzichte van het astronomisch getij in de Nederlandse hoofdstations (en dus niet rechtstreeks voor de absolute stand). Het astronomisch getij is het verloop van de waterstand bij totale afwezigheid van wind- en luchtdrukeffecten. Dit is in principe goed te berekenen tot jaren vooruit (zie echter hoofdstuk VIII.1).

Door meteorologische oorzaken kan de waargenomen stand, zoals bekend, veel afwijken van de astronomische getijcurve. De verschilskromme wordt de rechte opzet genoemd. De meteoroloog is (vooralsnog) minder geïnteresseerd in het verloop van de rechte opzet als functie van de tijd, maar veeleer in de maximale stand in de buurt van het astronomisch hoogwater en de minimale stand bij het laagwater. Het verschil tussen deze stand en de betreffende astronomische getijwaarde wordt scheve opzet genoemd. Zie Fig. III.1. Deze opzet wordt "scheef" genoemd omdat het tijdstip waarop het geobserveerde maximum (of minimum) optreedt niet samen hoeft te vallen met het tijdstip van hoog (of laag-) water. Dit kan in extreme gevallen tot zo'n 4 uur verschillen.

In een niet-lineair model zijn op analoge manier rechte en scheve opzetten te definiëren. Zoals gezegd (hoofdstuk II) genereert zo'n model zijn eigen getij door middel van een getijrun (T run). De zo verkregen kromme  $\zeta_T$  is slechts bedoeld om de belangrijkste karakteristieken (en niet meer dan dat)

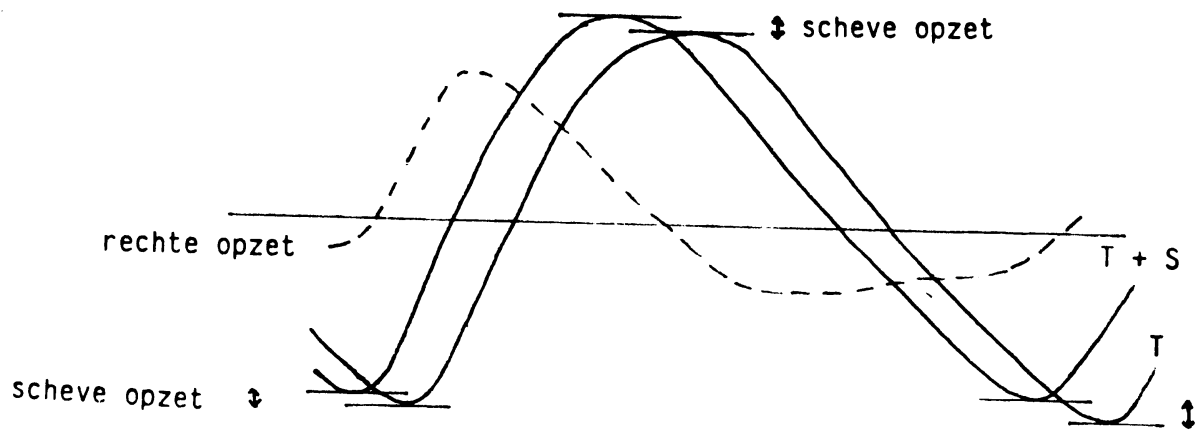


Fig. III.1 Definitie scheve en rechte opzet

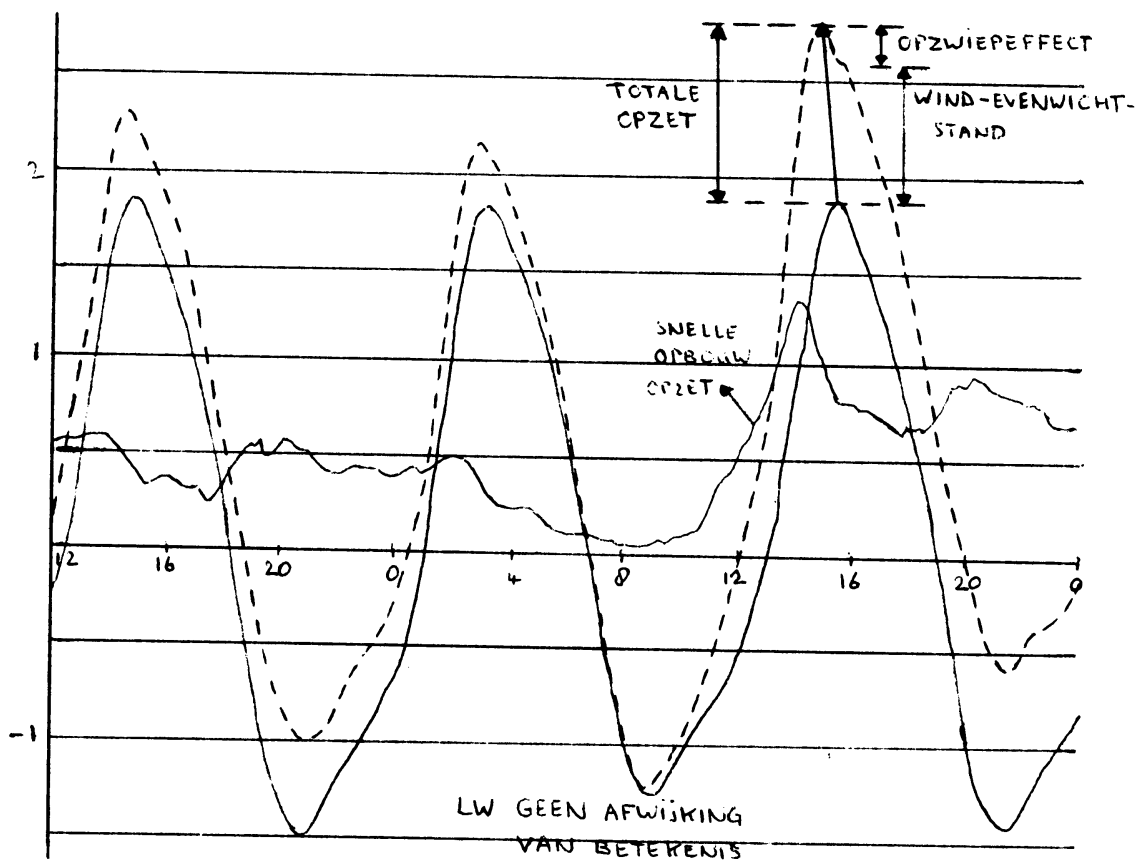


Fig. III.2 Getijplot Oosterscheldemond 20-10-'86

van het astronomisch getij te simuleren (zie hoofdstuk IV). Daarnaast wordt apart een "getij + surge (of meteo)" (T+S) run gedaan waarin behalve astronomische krachten ook de meteorologische worden meegenomen. Dit levert de kromme  $\zeta_{T+S}$ . De rechte modelopzet is dan

$$\zeta(t) = \zeta_{T+S}(t) - \zeta_T(t), \text{ waarbij } t \text{ de tijd is.}$$

De scheve modelopzet wordt verkregen door de maxima (resp. minima) van de T run "scheef" af te trekken van de maxima (resp. minima) van de T+S run (Fig. III.1).

Een lineair model kent daarentegen alleen opzetten ten opzichte van een zee in absolute rust (dus zonder getij):  $\zeta(t) = \zeta_S(t)$  waarbij S staat voor meteo-invloeden.

Een schatting voor de absolute stand rond hoog- en laagwater wordt in een lineair model verkregen door de voorspelde opzet  $\zeta_S$  ten tijde van het verwachte tijdstip van het astronomisch hoog- of laagwater ("recht") op te tellen bij de waarde uit de getijtabellen. In een niet-lineair model gebeurt dit door de scheve modelopzet er bij op te tellen (zie ook hoofdstuk II.2).

Slingeringen in de rechte opzet zoals in Fig. III.1 zijn bij flinke winden meer regel dan uitzondering. Herhaaldelijk komt het dan voor dat enkele uren vóór hoogwater de opzet flink begint toe te nemen. Zonder additionele informatie geeft dit geen enkele aanwijzing voor de te verwachten maximale hoogte van de waterstand. De toenemende opzet kan simpelweg duiden op een vervroeging van het hoogwater. Een niet-lineair model kan in principe deze vervroegingen of verlatingen voorspellen (mits het gesimuleerde getij van voldoende kwaliteit is, zie hoofdstuk IV). Een lineair model is hier uiteraard niet toe in staat. Een niet-lineair model kan de meteoroloog dus helpen een snel oplopende opzet, mits goed voorspeld, op zijn waarde te schatten.

Zonder zo'n model (of met een afwijkende rechte opzet van zo'n model) is de voorspellende waarde van de "historie" van de locale opzet van weinig waarde voor de te bereiken scheve opzet in zo'n station tijdens hoog- of laagwater. Zulke tijdreeksen verschaffen echter wel informatie over de vorm en amplitude van de "locale" getij(inclusief opzet)golf. Omdat deze van zuid naar noord langs de Nederlandse kust loopt kan deze informatie wel gebruikt worden voor verwachtingen in stations die "stroomafwaarts" liggen. Met name door middel van data-assimilatie technieken valt hier maximaal van te profiteren.

Een extreem voorbeeld van zo'n snelle opbouw van de opzet is gegeven door Donker (1987) voor de Oosterscheldmond. Op 20-10-'86 's middags liep in de Oosterscheldmond de opzet binnen enkele uren op van enkele decimeters tot 1.35 m, een uur voor het astronomisch hoogwater (zie Fig. III.2). Hierna zakte hij echter weer. De scheve opzet werd "slechts" 95 cm.

Hoewel de IOS voorspelling juist in deze situatie ver onder de maat was (zie hoofdstuk VIII.2) was er wel een duidelijke indicatie van een getijvervroeging. De rechte opzet vertoonde in de zuidelijke Noordzee een bult vlak voor het modelhoogwater. De amplitude hiervan was echter slechts ongeveer 45 cm.

Een systematische verificatie van rechte modelopzetten met het doel te onderzoeken of de slingeringen hierin realistisch zijn, heeft nog niet plaatsgevonden.

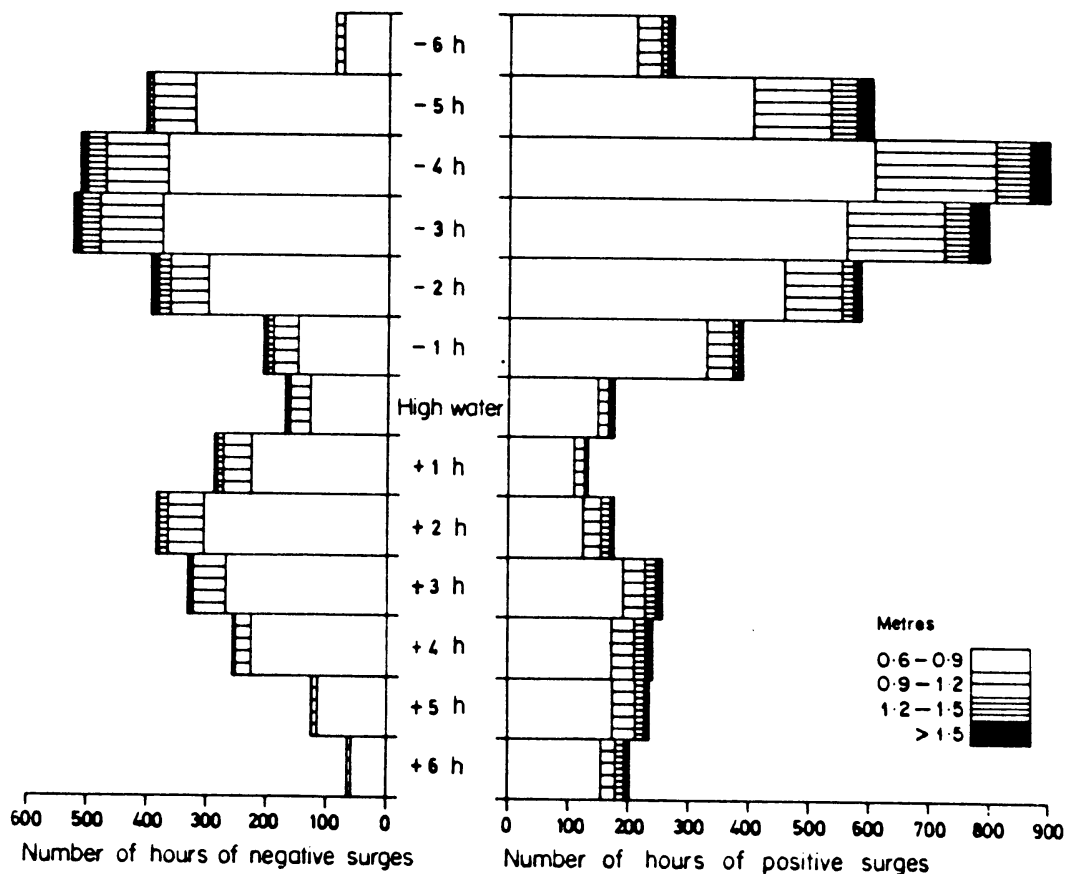


Fig. III.3 Verdeling over de periode 1929-1969 van grote opwaaiingen en grote afwaaiingen te Southend t.o.v. het tijdstip van hoog water (overgenomen uit Pugh, 1987)

Een ander bewijs van het sterke niet-lineaire gedrag van de waterbewegingen in de Noordzee wordt geleverd door Fig. III.3 (overgenomen uit Pugh, 1987). Deze toont de verdeling van grote (rechte) opzetten en afwaaiingen in Southend (Engeland) als functie van de tijd ten opzichte van het hoogwater. Zowel positieve als negatieve opzetten lijken het hoogwater te ontwijken. De eersten komen vooral voor tijdens het oplopen van het getij, de laatsten vertonen een piek aan weerszijden van het hoogwater. Het ontwijken van het hoogwater is vrijwel afwezig in het uiterste noorden van de Noordzee en neemt onder invloed van de interactie met het getij sterk toe naar het zuiden. Deze wisselwerking is het gevolg van de bodemwrijving.

Hetzelfde verschijnsel doet zich ook voor in de Nederlandse kuststations (de Ronde, 1985), het duidelijkst in Vlissingen en Harlingen, het minst duidelijk in Hoek van Holland. Gemiddeld vinden we de grootste rechte opzetten 4 à 5 uur vóór hoogwater en in veel gevallen valt het minimum juist vlak in de buurt van het hoogwater. Grote afwaaiingen lijken ook het hoog- en laagwater te mijden, hoewel dit minder evident is dan bij opwaaiing.

Een tweede aspect van de niet-lineariteit is dat de scheve opzet, onder gelijke meteorologische omstandigheden, duidelijke verschillen vertoont tussen hoog- en laagwater. Dit is uiteraard niet te simuleren in een lineair model. Gelukkigerwijs kan men stellen dat bij dezelfde uitwendige omstandigheden in het algemeen de opzet langs de Nederlandse kust bij hoogwater lager is dan bij laagwater. De grootte van dit verschil hangt af van de vorm van het astronomisch getij en de aard van de verstoringen daarop door meteorologische invloeden.

In de waarnemingen van de winter '86/'87 is dit niet erg terug te vinden. Dit heeft waarschijnlijk deels te maken met de soms slechte voorspelling van het astronomisch getij (zie hoofdstuk VIII.1).

Het IOS model geeft daarentegen wel duidelijk verschillen te zien tussen hoog- en laagwaters. In Tabel III.1 zijn de gemiddelde modelopzetten, zonder correcties, voor de hoog- en laagwaters van de winter '86/'87 gegeven voor de 5 Nederlandse hoofdstations. Doordat het model zowel in de T als in de T+S run met dezelfde getijkrachten werkt, kunnen de verschillen niet veroorzaakt zijn door verschillen in het getij, in tegenstelling tot bij de waarnemingen. De verschillen zijn evenredig met de getijamplitude.

Of deze verschillen realistisch zijn hangt in belangrijke mate af van de juistheid van het modelgetij, niet alleen van de hoog- en laagwaters maar van de hele getijkromme.

	VLIS	HVH	DENH	HARL	DELFF
HW	6	7	12	15	13
LW	10	11	14	16	17

Tabel III.1 Gemiddelde ongecorrigeerde modelopzetten (in cm) voor de winter '86/'87

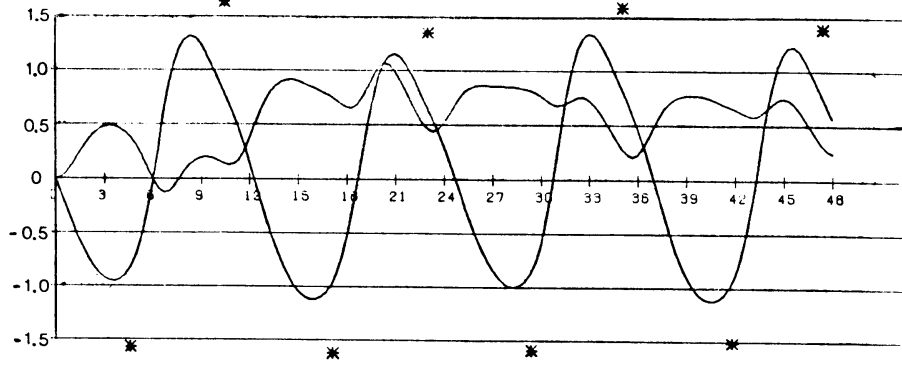
Een derde groot verschil tussen lineaire en niet-lineaire modellen is dat de evenwichtsrespons op een wind- of drukforcering bij gelijke dragcoëfficiënt ontzettend veel verschilt. Allereerst is het bereikte evenwicht bij een niet-lineair model een functie van de fase van het modelgetij en niet constant zoals bij een lineair model. Daarnaast echter is langs de Nederlandse kust de rechte opzet bij opwaaiingen gedurende bijna de hele getijcyclus groter, bij afwaaiingen kleiner.

Om dit te illustreren is een experiment uitgevoerd waarbij we de niet-lineaire respons van het IOS-model vergeleken hebben met die van de gelineariseerde versie van het model, die overigens identiek is. In de niet-lineaire (operationele) mode hebben we eerst het getij ingeslingerd. Dit is gebeurd vanaf begindatum 1-11-1987 0 uur met vier getijcomponenten ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ). Vanaf 5 november 0 uur werd over het hele integratiegebied een Noordenwind "aangezet" van 20 m/s (windkracht 8). De simulatie vanaf dit tijdstip van het getij,  $T$ , en de rechte opzet,  $(T+S)-T$ , is weergegeven in Fig. III.4. De kruisjes en sterretjes geven de waarden uit de getijtabellen aan. De evenwichtsofzet vertoont duidelijke fluctuaties in de orde van een halve meter terwijl de maximale opzet rond de 1 meter ligt. De vorm van de fluctuaties hangt nauw samen met de vorm van het getij en verschilt per station (roosterpunt). Na ongeveer driekwart dag is de opzet maximaal. Dit is een combinatie van het "vollopen" van de Noordzee en het opzwiepeffect.

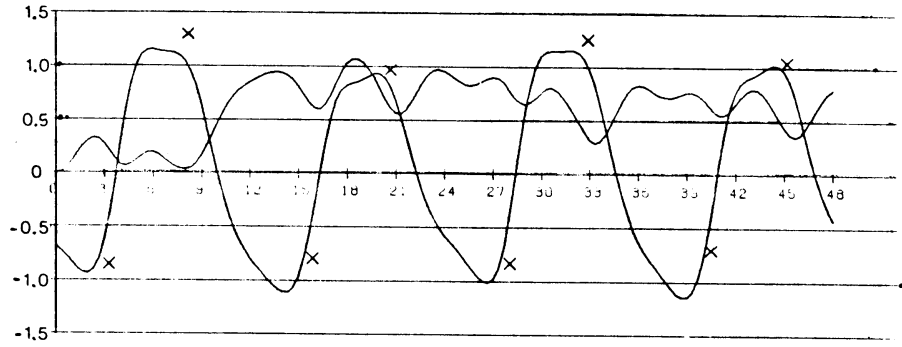
Fig. III.4 (Volgende pagina) Rechte modelopzet  $(T+S)-T$  als respons op een N-wind van 20 m/s over het hele modelgebied "aangezet" op 5-11-'87 0 uur, voor roosterpunten in de buurt van de kust. Tevens is het modelgetij  $T$  weergegeven. De sterretjes en kruisjes zijn de astronomische getijwaarden in de kuststations.

87110500

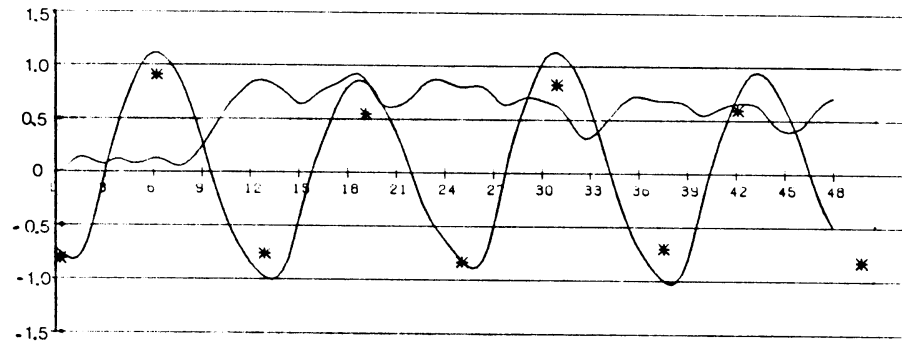
DELF



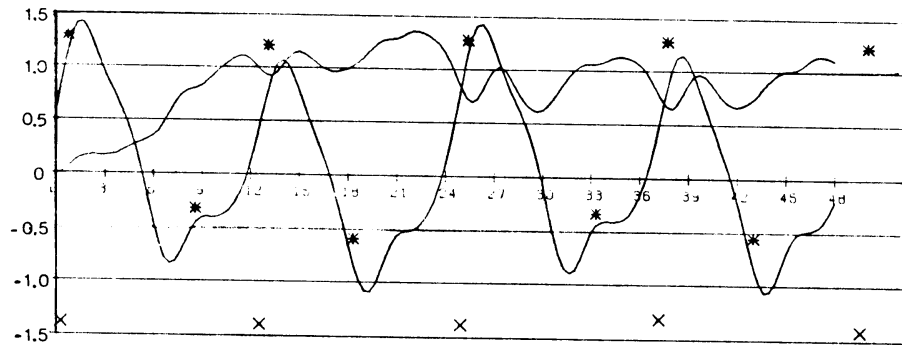
HARL



DENH



HOEK



VLIS

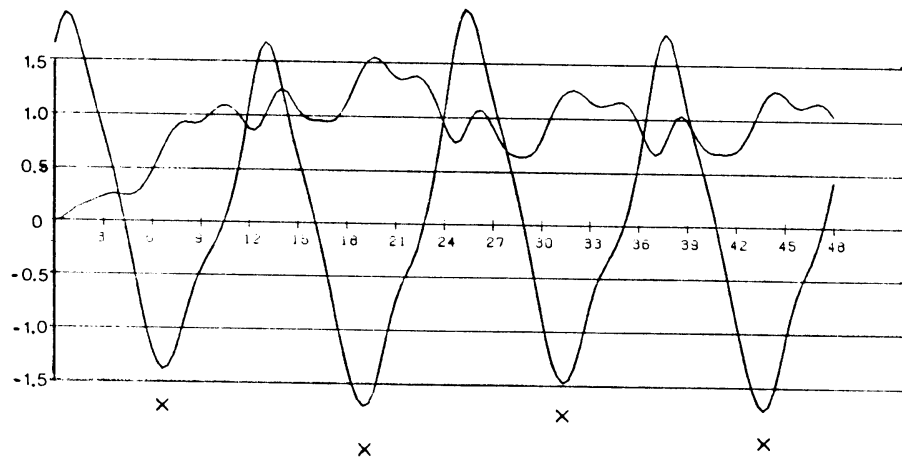
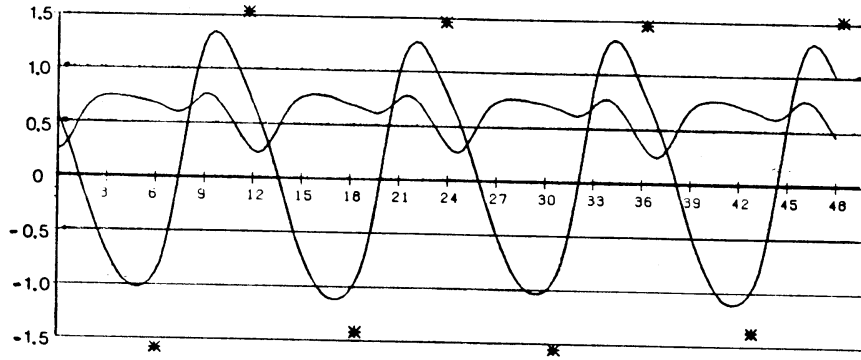


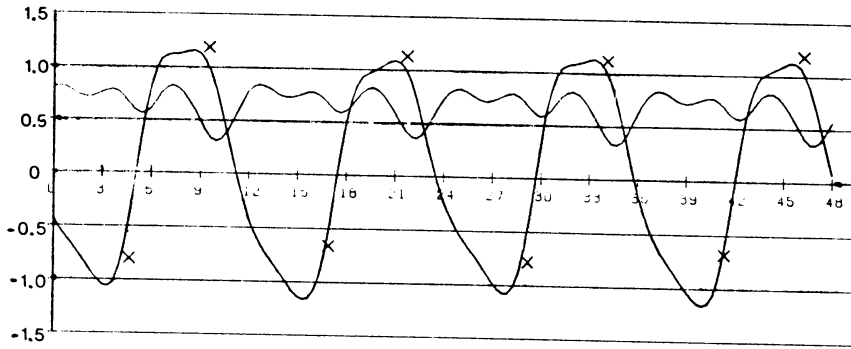
Fig. III.4  
Zie vorige pag.

87110700

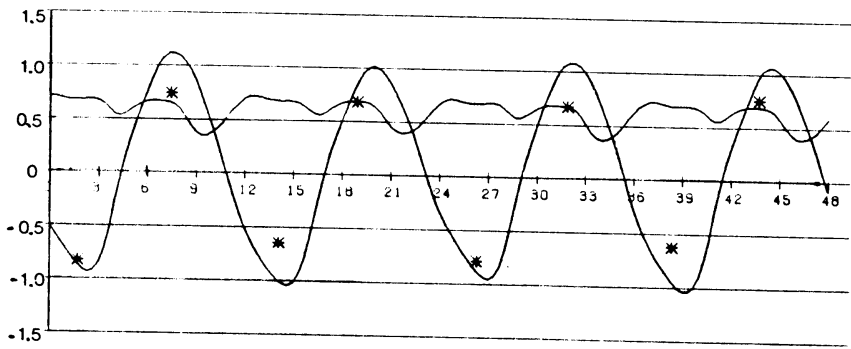
DELF



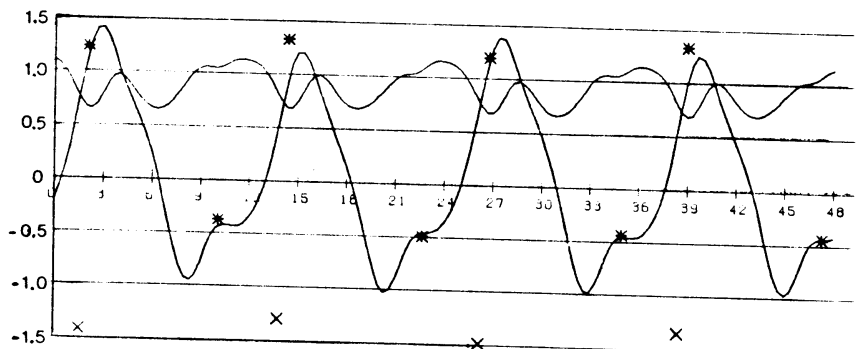
HARL



DENH



HOEK



VLIS

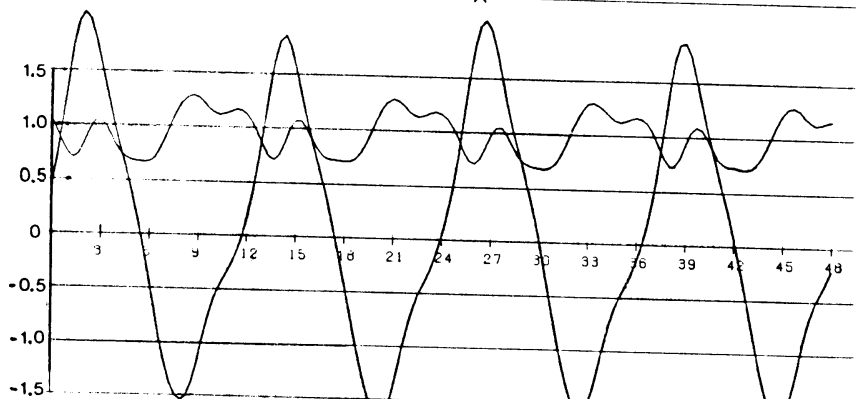


Fig. III.4

vervolg



In het "lineaire" experiment is op hetzelfde tijdstip 5-11-'87 begonnen vanuit de rusttoestand, i.e. een volkomen gladde Noordzee en Kanaal. De opzet voor de eerste vier dagen is weergegeven in Fig. III.5. In deze figuur staat nogmaals de rechte opzet ten opzichte van het modelgetij uit Fig. III.4.

De eerste uren is er vrijwel geen verschil. Maar na ongeveer een dag is de "lineaire" opzet volledig weggezaakt en bereikt langzaam een constante evenwichtstoestand. In deze toestand is de helling van het water zodanig dat de gradiëntkrachten gelijk zijn aan de kracht die de wind op het water uitoefent. Het stromingspatroon dat hier bij hoort is eveneens constant. Zo'n evenwicht van constante helling en stroming is een volstrekt onrealistische situatie. Zie hiervoor Gill (1982).

Uit Fig. III.4 kunnen we ook afleiden dat bij hoogwater er in de stations Vlissingen en Hoek van Holland een kleine verlating van het getij optreedt als gevolg van het windeffect terwijl in de andere stations juist een vervroeging optreedt. In Harlingen, waar in de getoonde periode de curve van het modelgetij rond hoogwater tamelijk vlak is, is de vervroeging zelfs ongeveer twee uur. Bij laagwater treedt vervroeging van het getij op in Vlissingen, Hoek van Holland en Harlingen, terwijl Delfzijl juist een verlating te zien geeft. In Den Helder vindt geen noemenswaardige verschuiving plaats. In andere perioden vinden we ongeveer dezelfde resultaten. Faseverschuivingen in realistische situaties worden besproken in hoofdstuk VIII.3.

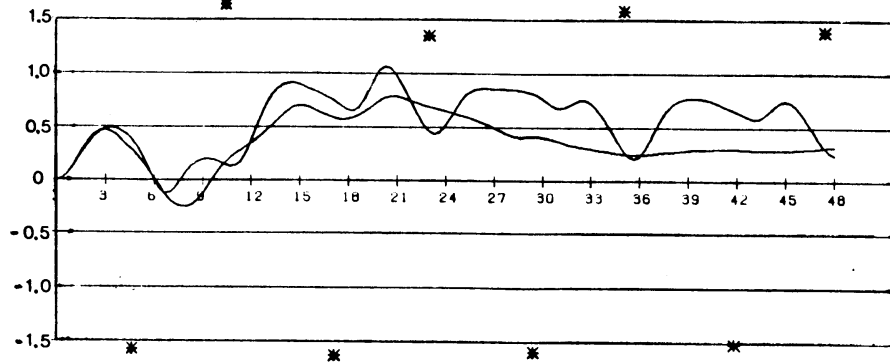
In Fig. III.6 staan de rechte opzetten van de niet-lineaire en lineaire versie als gevolg van het "aanzetten" van een zuidenwind van 20 m/s op 5 november 1987 0 uur. De verschillen zijn analoog aan de respons bij noordenwind. De vorm van de niet-lineaire rechte opzet verschilt duidelijk van die bij noordenwind.

De slingeringen in de rechte opzet hebben zelfs in de evenwichtssituatie niet steeds dezelfde vorm omdat de getijcyclus continu verandert. De scheve opzet die hiermee correspondeert zal daarom ook variëren in de loop van de maanmaand. Deze variaties van 6 t/m 8 november '87 in bovenstaand experiment staan aangegeven in Tabel III.2. Allereerst valt op dat de verschillen tussen hoog- en laagwater aanzienlijk zijn, soms bijna een halve meter, alsmede die

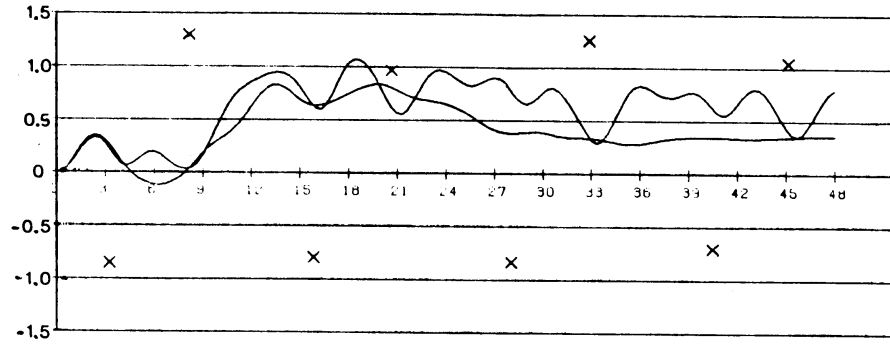
Fig. III.5 (Volgende pagina) De lineaire modelrespons S op een N-wind van 20 m/s "aangezet" op 5-11-'87. Tevens is de niet-lineaire respons (T+S)-T uit Fig. III.4 nogmaals weergegeven. Deze ligt bijna overal boven de lineaire. De sterretjes en kruisjes zijn de astronomische getijwaarden.

87110500

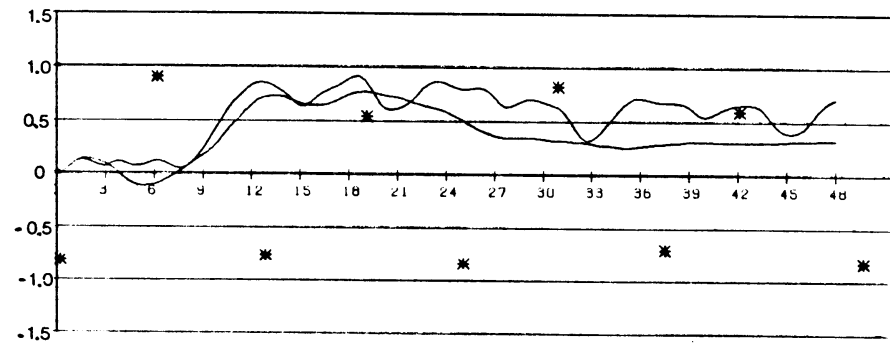
DELFL



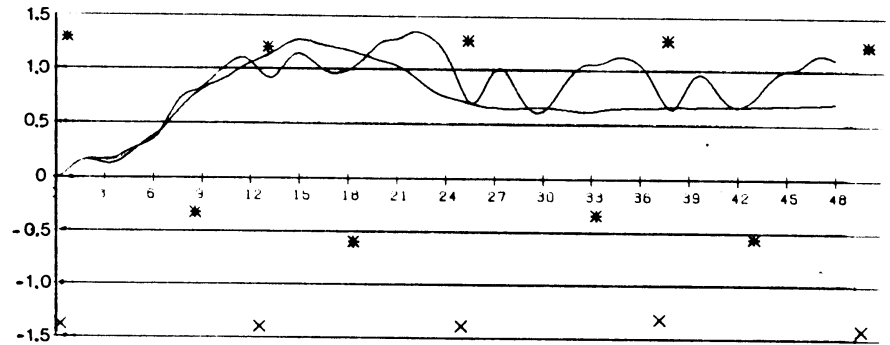
HARL



DENH



HOEK



VLIS

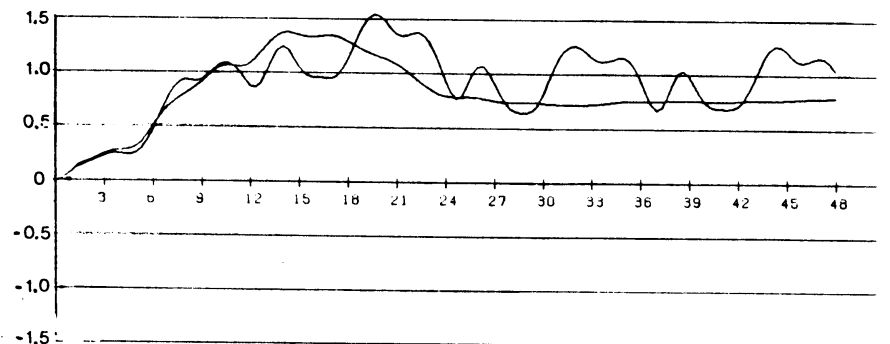
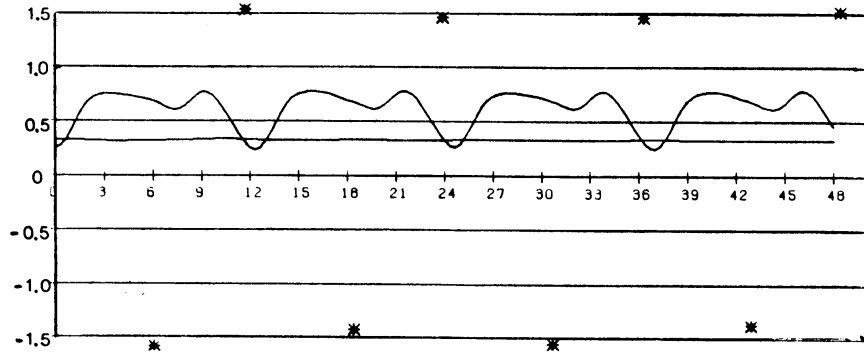


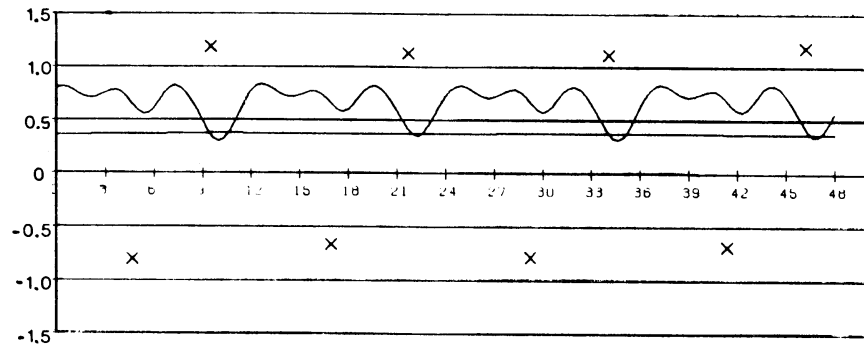
Fig. III.5  
Zie vorige pagina

87110700

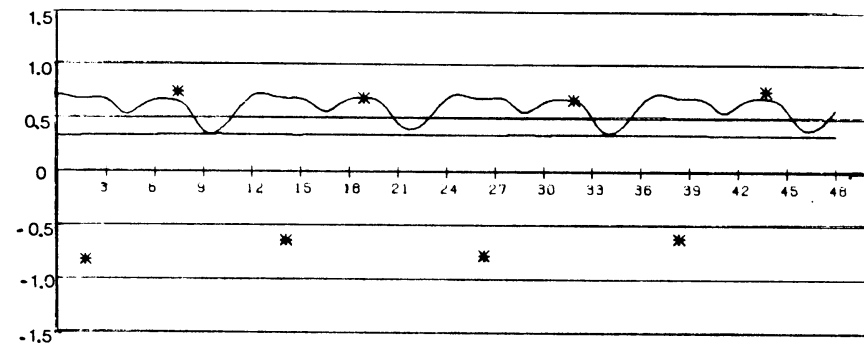
DELF



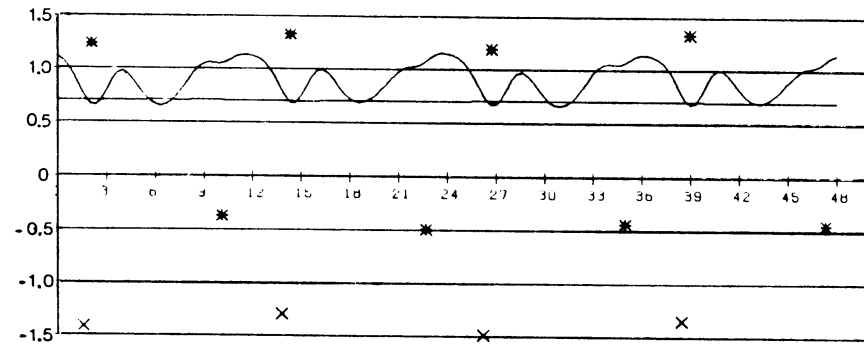
HARL



DENH



HOEK



VLIS

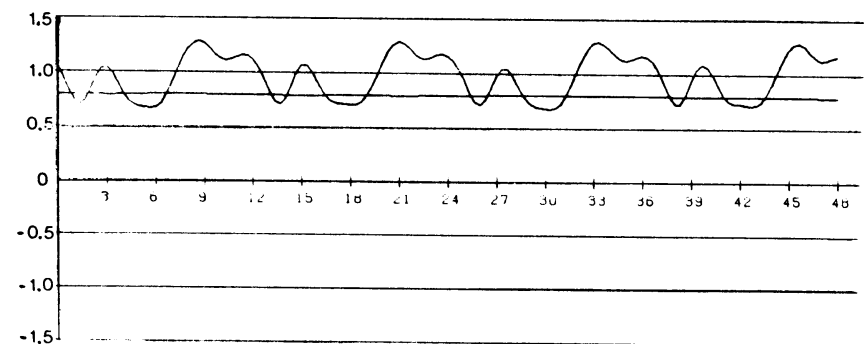


Fig. III.5

vervolg

x

x

x

x

tussen noorden- en zuidenwind. In alle gevallen heeft het stationaire windveld tot gevolg dat de getijamplitude langs de Nederlandse kust afneemt: bij noordenwind is de opzet lager bij hoogwater, bij zuidenwind is juist de afwaaiing groter bij hoogwater. Hoe dit gemiddeld uitpakt in het niet-stationaire geval bij reële winden is te zien in Tabel III.1 voor de winter '86/'87.

Een lineair model kent uiteraard geen verschillen tussen opzet bij hoog- en laagwater. Bij zuidenwind is de opzet vrijwel tegengesteld aan die bij noordenwind en heeft een onrealistisch lage evenwichtswaarde.

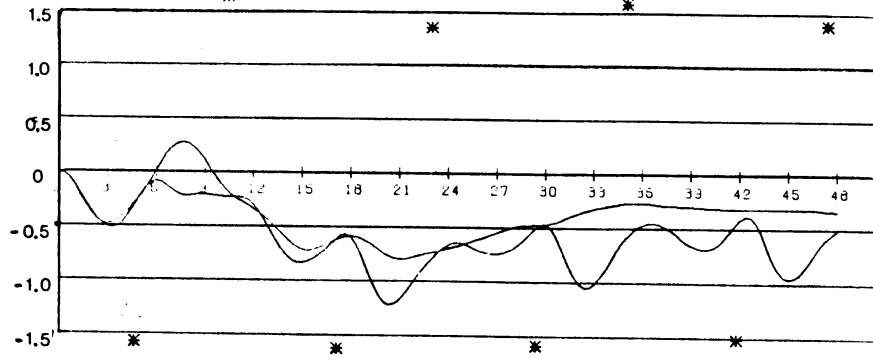
roosterpunt		VLIS	HVH	DENH	HARL	DELFL
<b>evenwichtsrespons op N-wind van 20 m/s</b>						
niet-	HW	87/94	79/86	64/68	73/79	72/76
lin.	LW	111/117	85/92	68/70	74/77	72/75
lin.	HW,LW	79	70	34	37	32
<b>evenwichtsrespons op Z-wind van 20 m/s</b>						
niet-	HW	-131/-122	-115/-107	-74/-71	-73/-70	-92/-89
lin.	LW	-86/-81	-72/-68	-66/-61	-67/-63	-66/-62
lin.	HW,LW	-79	-70	-33	-36	-31

Tabel III.2 Evenwichtsofzet (in cm) a.g.v. N resp. Z wind van 20 m/s voor de niet-lineaire versie (scheve ofzet) en lineaire versie (rechte ofzet) van het IOS model.

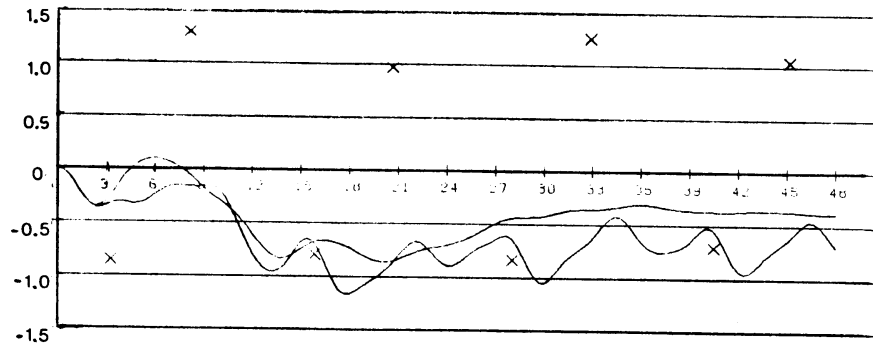
Fig. III.6 (Volgende pagina) Als in Fig. III.5 maar nu de lineaire en niet-lineaire respons op een Z-wind van 20 m/s. De (slingerende) laagste curve is de niet-lineaire respons.

87110500

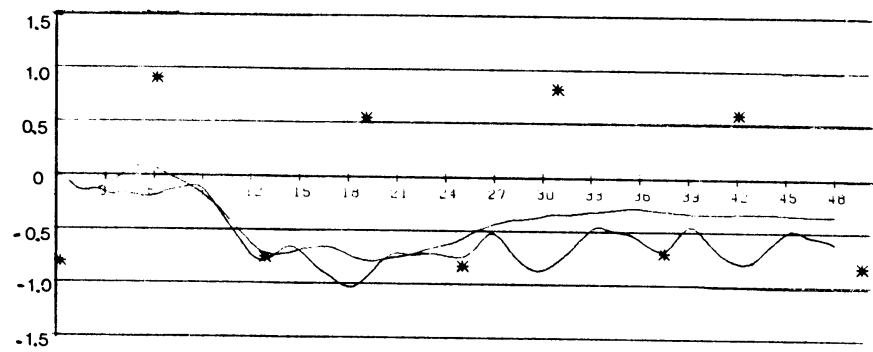
DELF



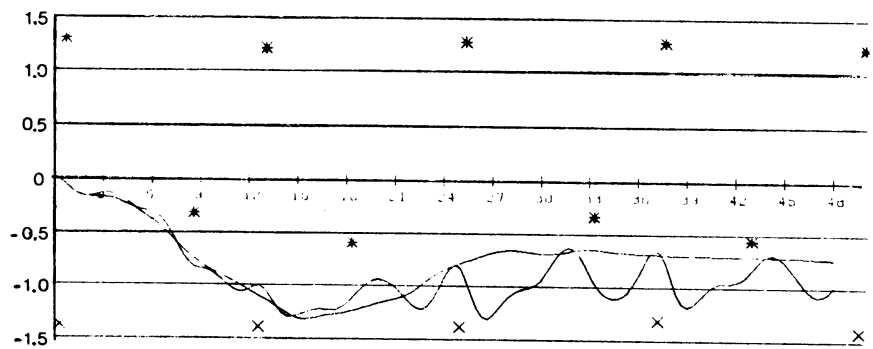
HARL



DENH



HOEK



VLIS

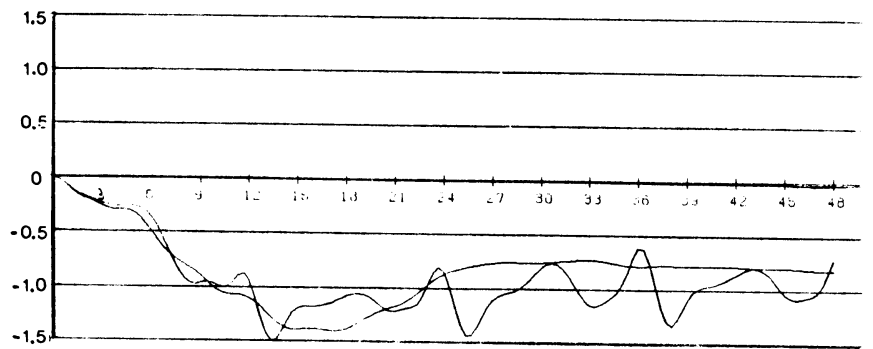
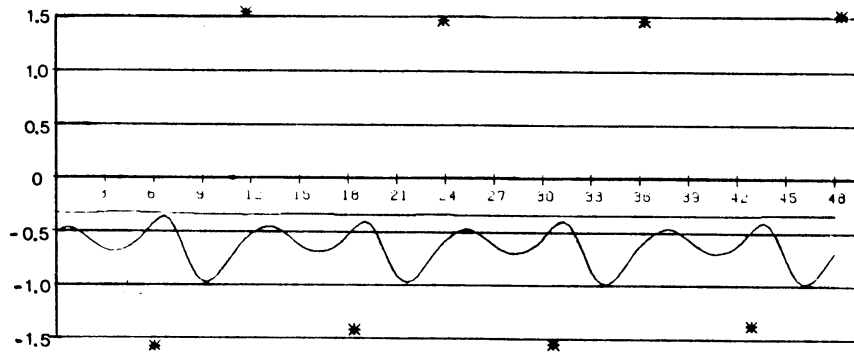


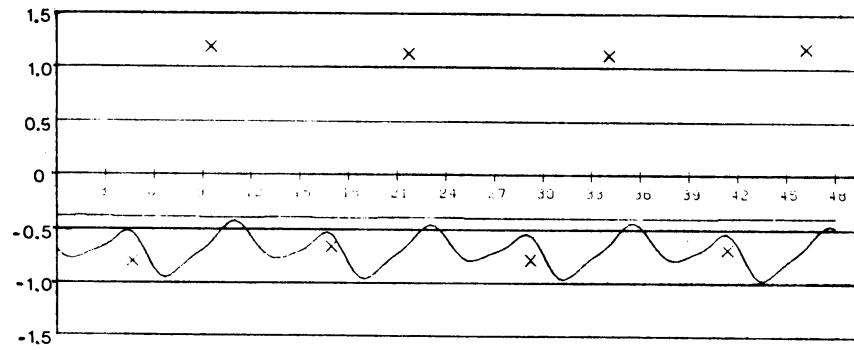
Fig. III.6  
Zie vorige pagina

87110700

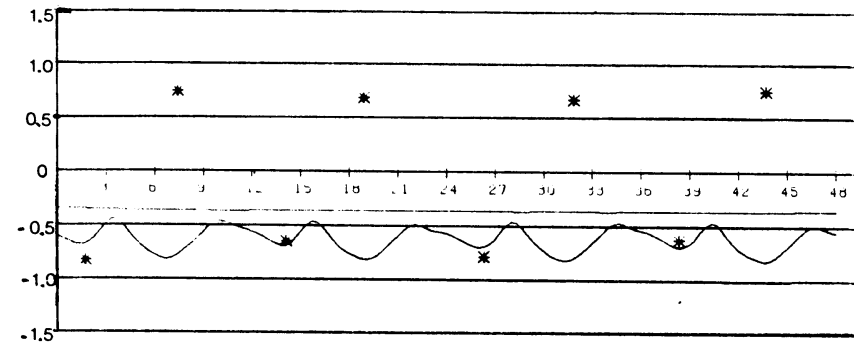
DELF



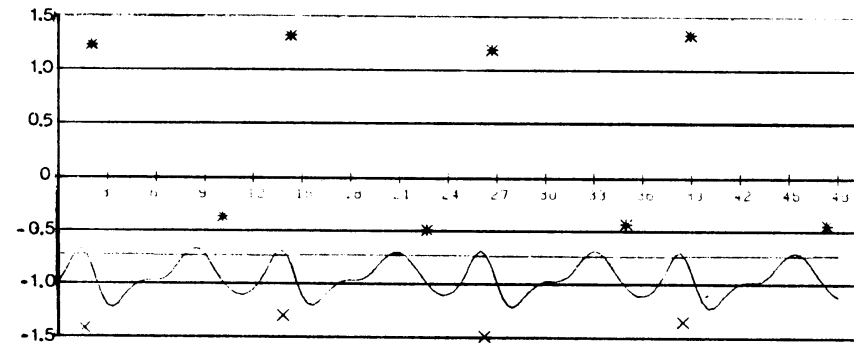
HARL



DENH



HOEK



VLIS

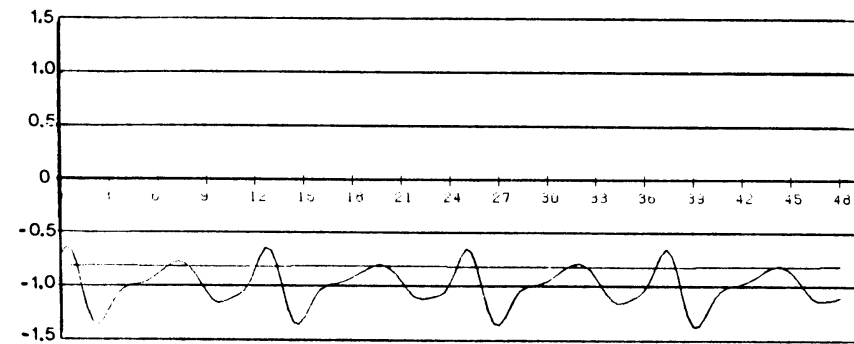


Fig. III.6

vervolg

x x x x

### III.2 Grafische opzetpresentatie

De vervanging van een lineair door een niet-lineair wateropzetmodel houdt ook een verandering in de interpretatie van de modeloutput in. Zoals beschreven in de vorige paragraaf kent een lineair model geen scheve opzetten, geeft geen informatie over vervroegingen of verlatingen van hoog- en laagwaters en levert over de hele getijcyclus rechte opzetten waarin geen getijinteractie meegenomen is. (De "lineaire" opzet waarmee de scheve opzet verwacht wordt kan daarentegen best redelijk van kwaliteit zijn door allerlei parametrisaties of tuning; het WBN model is hier een duidelijk voorbeeld van).

Het IOS model levert allereerst de scheve opzet in de telex. Daarnaast wordt in een plot (zoals Fig. III.7) voor de 6 hoofdstations de rechte opzet gepresenteerd en ook symbolisch de verwachte scheve opzet voor hoog- ( $\Delta$ ) en laagwater ( $\nabla$ ). De rechte opzet is bepaald op het modelroosterpunt dat het dichtst bij het links vermelde station ligt. De scheve opzet is hieruit berekend. Hieraan is echter een correctie toegevoegd in de noordelijke stations (en Vlissingen) die een "vertaalslag" geeft van modelroosterpunt naar peilstation. Deze wordt beschreven in hoofdstuk VII. In deze vertaalslag wordt niet gecorrigeerd voor het tijdsverschil tussen getijextremen in het roosterpunt en peilstation. Daarom zullen in het algemeen de model hoog- en laagwaters in Harlingen en Delfzijl ongeveer 2 uur eerder vallen dan in werkelijkheid. Dit geldt tevens voor de verwachte scheve opzetten. Bij zeer snel veranderende weersituaties dient de meteoroloog hier rekening mee te houden.

De scheve opzetsymbolen in Fig. III.7 liggen soms ver verwijderd van de rechte opzetkromme. Dit komt met name voor in Harlingen en Delfzijl, maar ook in de andere stations kunnen grote verschillen optreden tussen rechte en scheve opzetten.

Ook zijn de modelgetijvervroegingen en verlatingen aangegeven in de operationele plot. Dit gebeurt door middel van dunne horizontale lijntjes die lopen vanaf het tijdstip van hoog (laag)water van de getijrun tot het tijdstip van hoog (laag)water van de getij + surge run, waar ook het scheve opzetsymbool staat. De lengte van dit lijnstuk (afgerond op 20 minuten) geeft een indicatie over in hoeverre slingeringen in de rechte opzet het gevolg zijn van vervroegingen of verlatingen in het modelgetij door meteo-effecten. Zelfs als deze niet realistisch zijn - hoofdstuk IV gaat hier nader op in - geven ze een indicatie hoe de rechte opzetten te interpreteren.

METEOROLOGICAL EFFECT IN METERS FROM 88013112 GMT TO 88020200 GMT

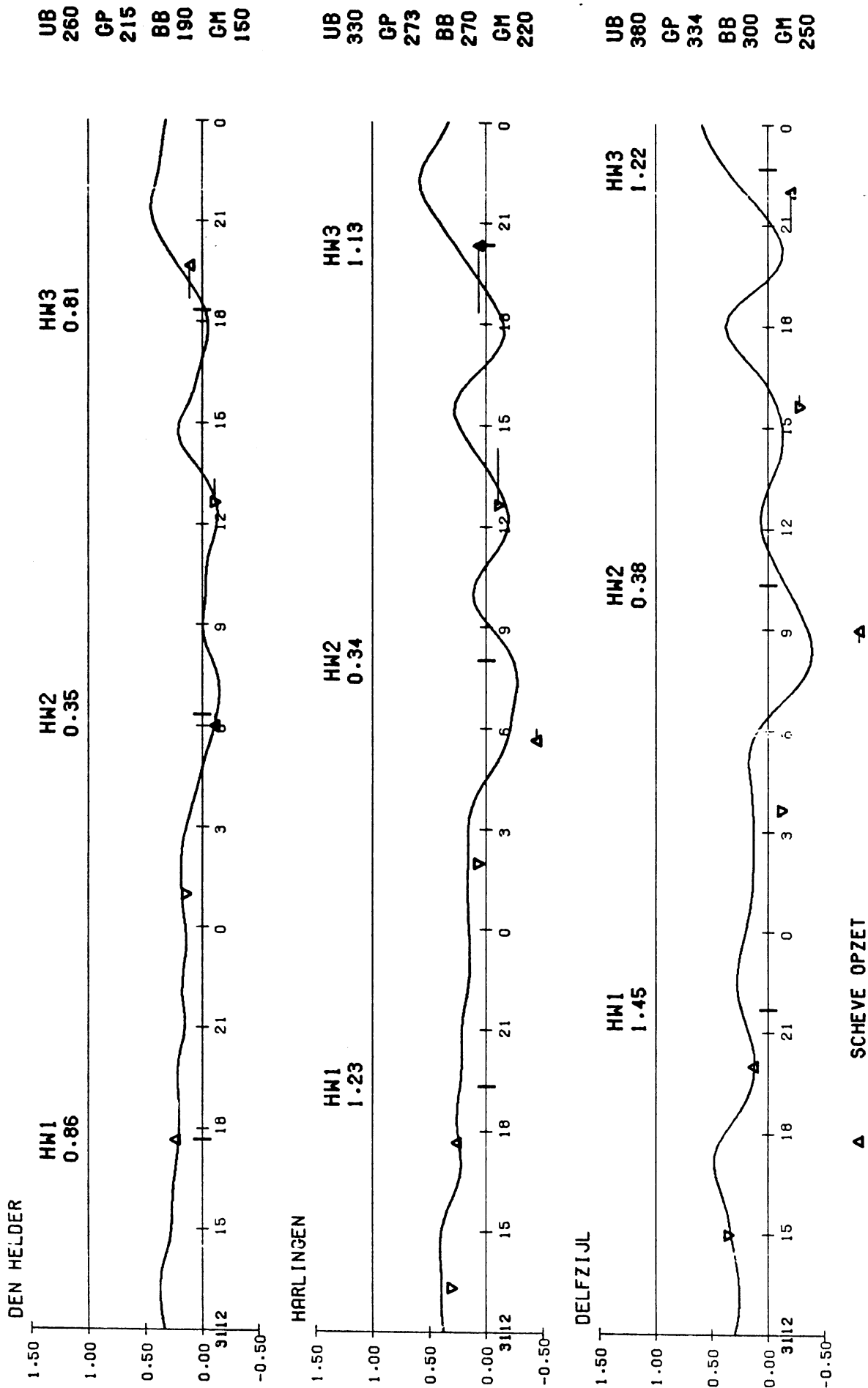


Fig. III.7

Voorbeeld van grafische presentatie in de weerdienst van de rechte en scheve opzetverwachting van het IOS model.



## IV. MODELGETIJ

### IV.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de kwaliteit van het door het IOS model gegenereerde getij langs de Nederlandse kust. Het modelgetij in een vijftal roosterpunten voor de kust wordt vergeleken met het zogenaamde astronomisch getij voor nabijgelegen kuststations dat geleverd is door Rijkswaterstaat. Deze RWS getijkrommen zijn gebaseerd op analyse van metingen van de afgelopen jaren. Bij deze analyse zijn meer dan 100 componenten gebruikt. De resultaten zijn specifiek voor de positie waar de waterstandsmeter staat opgesteld. Is dit bijvoorbeeld binnenin een haven dan is het duidelijk dat de waterstand beïnvloed wordt door de vorm van de haven. Voorspellingen van het astronomisch getij houden uiteraard geen rekening met veranderingen in of in de buurt van een haven (uitbaggeren etc.).

Dit is een van de oorzaken van fouten in de astronomische getijcurves zoals het KNMI die binnenkrijgt. Daarnaast spelen nog vele andere factoren een rol (verlegging van geulen, onder- of overschatting van de invloed van bepaalde componenten, doordringen van meteo-effecten in getijcomponenten). De fout in het getij kan in sommige gevallen in de orde van 2 à 3 decimeter liggen. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in hoofdstuk VIII.1. Desondanks refereren we naar het door RWS gesimuleerde getij als zijnde het astronomisch getij.

De waarden van het modelgetij geven per definitie gemiddelden over  $1/2^\circ \times 1/3^\circ$  vakken. Desondanks zullen deze waarden in dit hoofdstuk vergeleken worden met de puntvoorspellingen van het astronomisch getij.

Nogmaals moet benadrukt worden dat het modelgetij geen perfecte simulatie van het astronomisch getij hoeft te zijn. Voldoende is het dat een eerste redelijke benadering gegeven wordt, opdat de belangrijkste componenten van de getij-surge interactie meegenomen worden. Op het eind van de volgende paragraaf wordt hierop nader ingegaan.

## IV.2 Gebruikte getijcomponenten en hun effect

Het getij wordt opgewekt door de aantrekkende kracht van zon en maan, waarbij die van de maan ongeveer twee keer zo groot is. De invloed van de planeten is verwaarloosbaar. Deze krachten wekken boven de oceanen zeer lange golven op die een amplitude hebben van ongeveer een halve meter. Bij het binnendringen in de Noordzee treden allerlei veranderingen op als gevolg van de veranderende diepte en de geometrie. Resonantie speelt ook een rol.

De getijgolf loopt langs de Engelse oostkust naar het zuiden en wordt grotendeels gereflecteerd bij het Kanaal waarna hij zich langs de Nederlandse kust naar het noorden beweegt. (De looptijd van Wick tot Vlissingen bedraagt ongeveer 10 uur). In de zuidelijke Noordzee bevinden zich dus twee tegengestelde golfbewegingen. Dit heeft het ontstaan van een zogenaamd amfidromisch punt tot gevolg. Dit is een punt waaromheen de getijgolf zich beweegt en waar de waterstand vrijwel niet verandert. Ten noorden van de Wadden ligt een tweede amfidroom. De afstand tot zo'n punt is mede bepalend voor de amplitude van het getij. De getijamplitude is maximaal in de zuidelijke Noordzee, neemt naar het noorden toe af, is minimaal in de buurt van Den Helder en neemt richting Delfzijl weer toe. Voor meer informatie over de getijbewegingen in de Noordzee wordt verwezen naar Proudman & Doodson (1924).

De invloeden van zon en maan kunnen verdeeld worden in componenten. De fasesnelheid in  $^{\circ}$ /uur van de 6 componenten die in het IOS model worden gebruikt is gegeven in Tabel IV.1 (Door deze componenten worden ook hun bovenharmonischen aangeslagen). De componenten met index 2 hebben een fasesnelheid van ongeveer 30 graden per uur en worden daarom dubbeldaags genoemd, componenten met index 1 hebben een fasesnelheid die twee keer zo langzaam is en zijn enkeldaags.

$M_2$	28.984104
$S_2$	30.0
$K_1$	15.041069
$O_1$	13.943036
$N_2$	28.439730
$K_2$	30.082137

Tabel IV.1 Gebruikte getijcomponenten en hun fasesnelheid (in  $^{\circ}$ /uur)

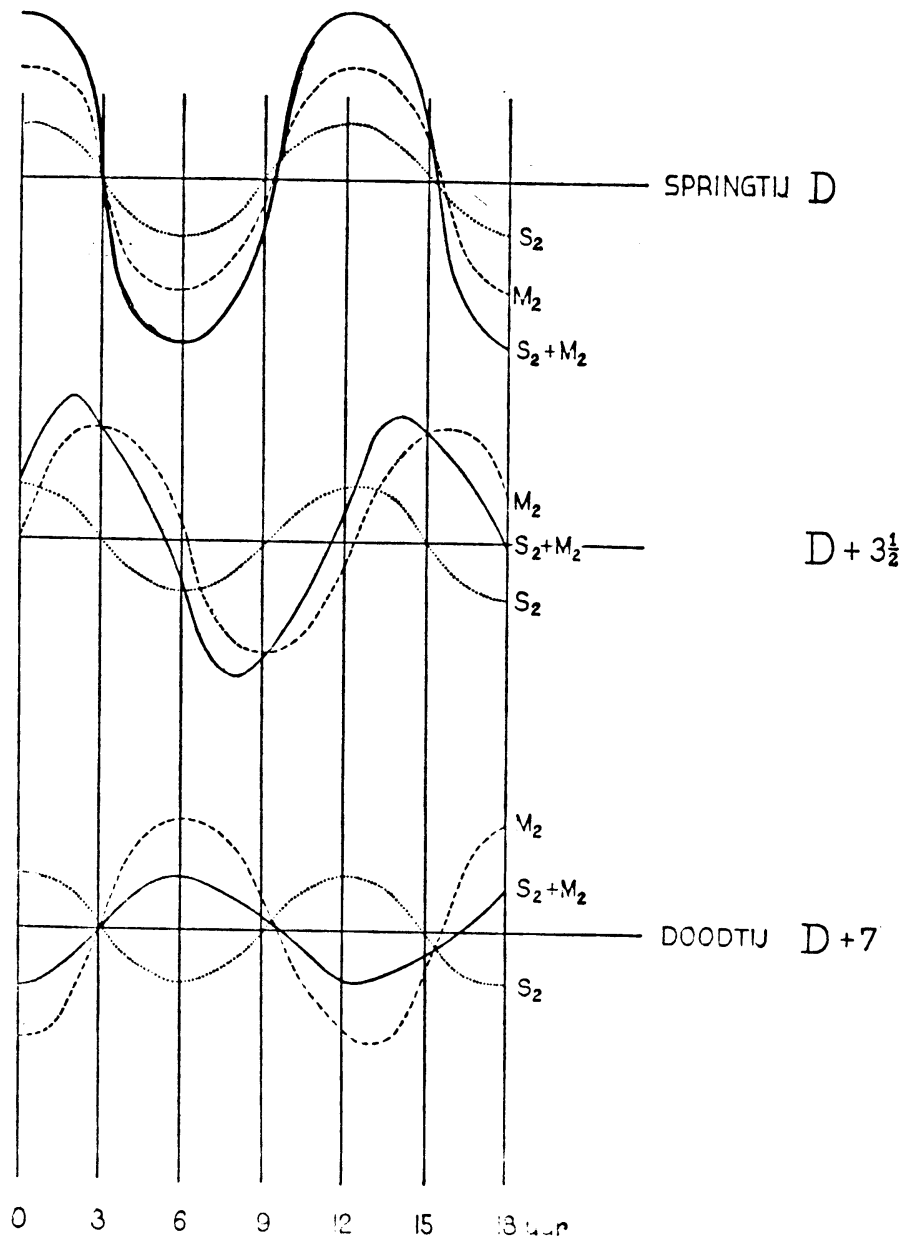


Fig. IV.1 Springtij-doodtij cyclus

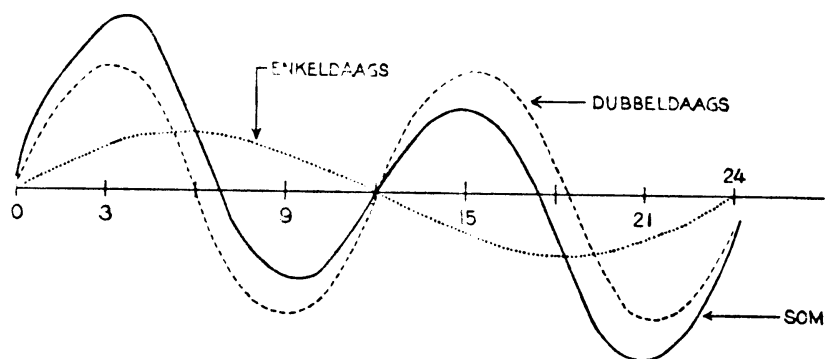


Fig. IV.2 Combinatie van een enkeldaagse met een dubbeldaagse component.

De dubbeldaagse componenten  $M_2$  en  $S_2$  (resp. opgewekt door maan en zon) zijn verreweg de belangrijkste. Zij bepalen in grote mate de amplitude van het getij langs de Nederlandse kust.

De  $M_2$  en  $S_2$  zijn voor een belangrijk deel de oorzaak van de springtij-doodtij cyclus (zie Fig. IV.1). Als gevolg van de verschillende fasesnelheden van deze componenten (de zon genereert een 24-uurs cyclus, de maan een cyclus die ongeveer 50 minuten langer duurt) is hun onderlinge positie cyclisch met een periode van 14 dagen. Als ze in fase zijn, en ze elkaar dus versterken, spreken we van springtij (enkele dagen na nieuwe en na volle maan). Zeven dagen later zijn ze in tegenfase: doodtij. In Fig. IV.1 zijn de effecten van  $M_2$  en  $S_2$  ter illustratie rechtstreeks opgeteld tot  $M_2 + S_2$  (de getrokken curve), zonder rekening te houden met hun interactie. Hierover later meer.

De springtij-doodtij cyclus wordt goed gesimuleerd door het IOS model.

Een andere veel voorkomende karakteristiek in de getijcurves langs de Nederlandse kust is de periodieke afwisseling van een hoog hoogwater en hoog laagwater gevolgd door een laag hoogwater en laag laagwater, zoals staat aangegeven in Fig. IV.2. De oorzaak hiervan is de combinatie van een zwakke enkeldaagse met de sterke dubbeldaagse  $M_2$  en/of  $S_2$  component. Dit verschijnsel is ook goed terug te vinden in het IOS model.

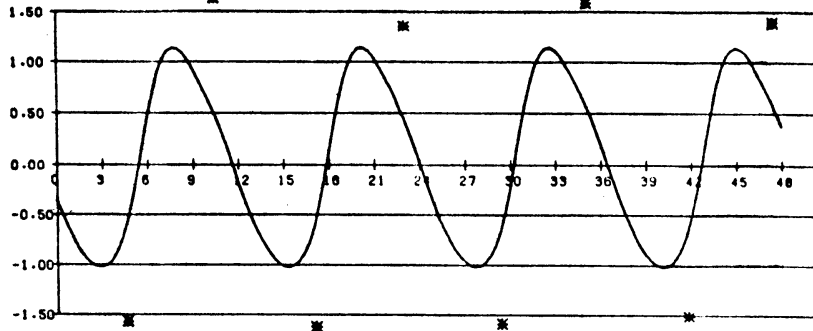
De responsen van de 6 afzonderlijke getijcomponenten voor roosterpunten vlakbij de Nederlandse peilstations zijn weergegeven in Fig. IV.3a t/m f voor 5 en 6 november 1987. Ze zijn geordend in volgorde van belangrijkheid. Ter vergelijking zijn ook de astronomische hoog- en laagwaters toegevoegd (d.m.v. sterretjes en kruisjes). De laatste 2 componenten ( $N_2$  en  $K_2$ ) zijn onlangs toegevoegd in de operationele versie: per 1 oktober '87.

De totale invloed van deze 6 componenten staat weergegeven in Fig. IV.4 (getrokken lijn). Vergelijken we deze met de som van de afzonderlijke invloeden van de 6 componenten uit Fig. IV.3a t/m f (stippellijn), dan zien we zeer grote verschillen. Deze gigantische verschillen zijn een nieuwe manifestatie van de effecten van de niet-lineariteit van de waterbewegingen. De som van twee (of meer) golfbewegingen, ieder veroorzaakt door een bepaalde getijkracht, is dus niet gelijk aan de golfbeweging veroorzaakt door de som

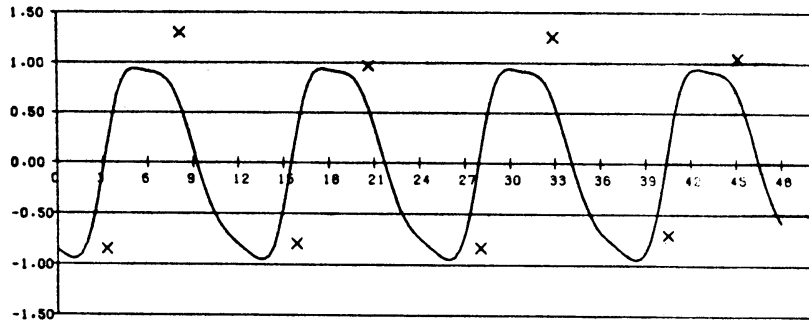
Fig. IV.3 (Volgende pagina's) Modelrespons van 6 afzonderlijke getijcomponenten in roosterpunten vlakbij de kuststations. De sterretjes en kruisjes geven de astronomische getijwaarden in deze stations.

87110500

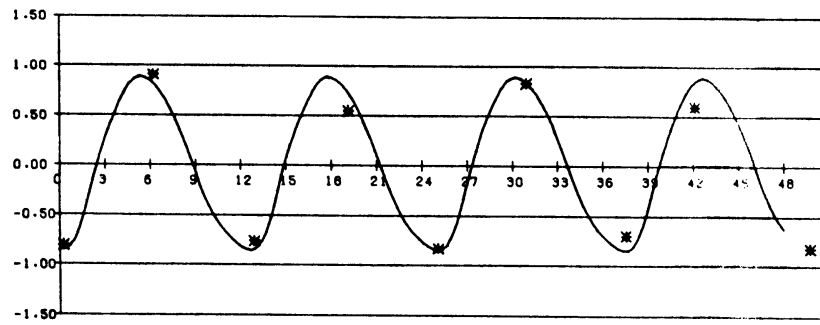
DELF



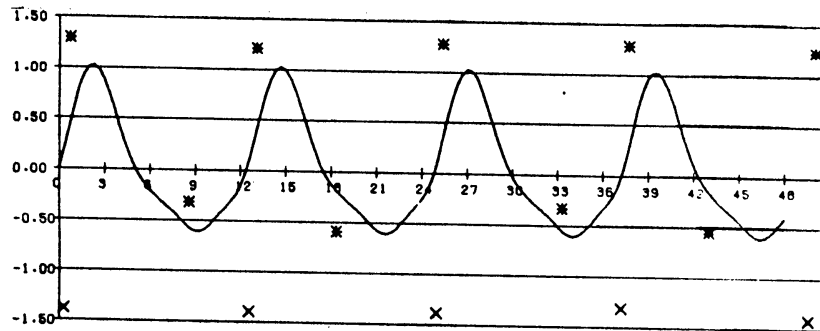
HARL



DENH



HOEK



VLIS

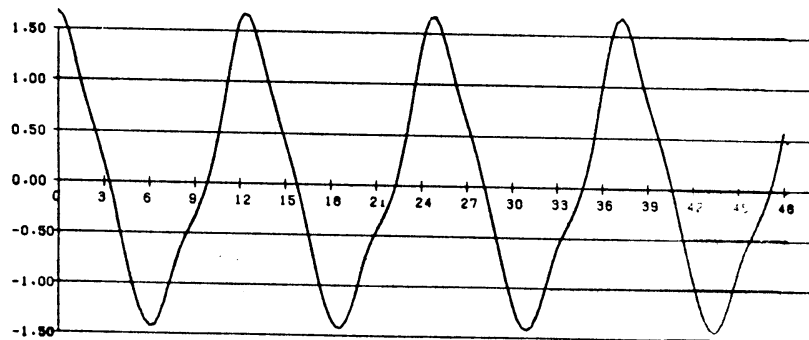
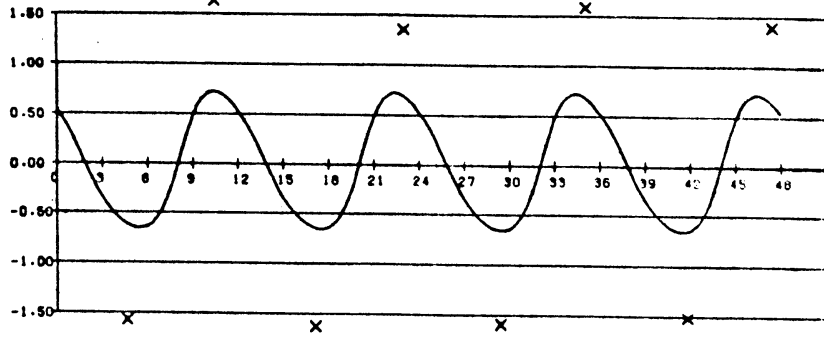


Fig. IV.3a

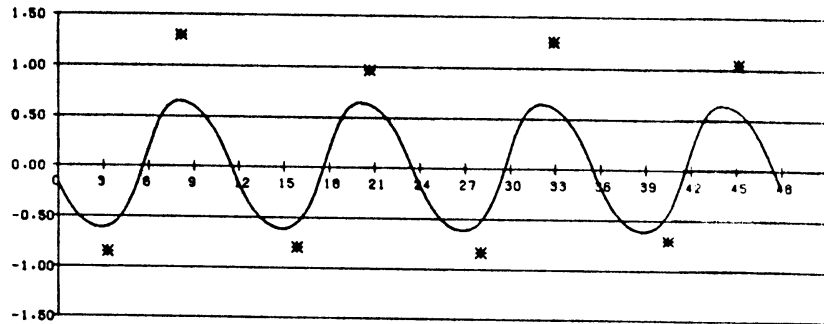
$M_2$

87110500

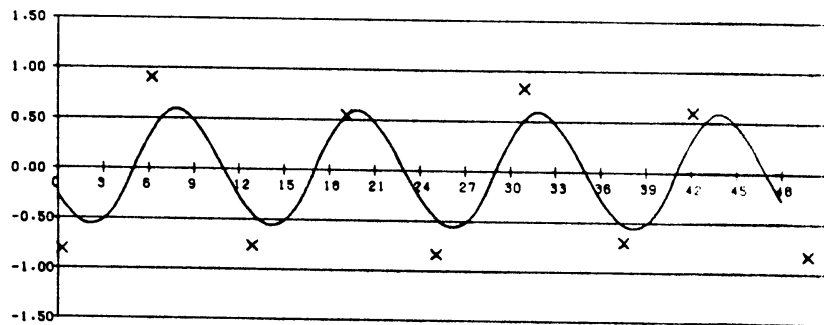
DELF



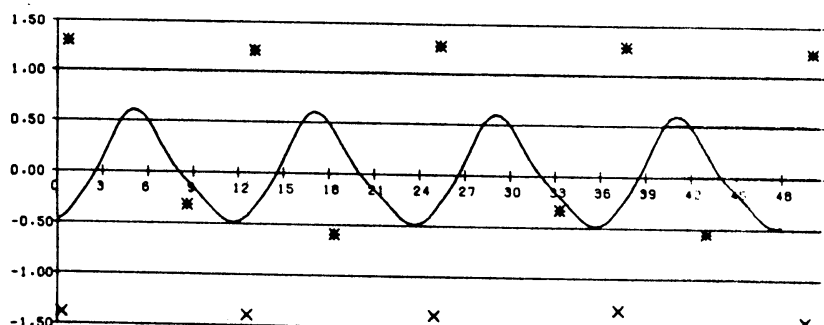
HARL



DENH



HOEK



VLIS

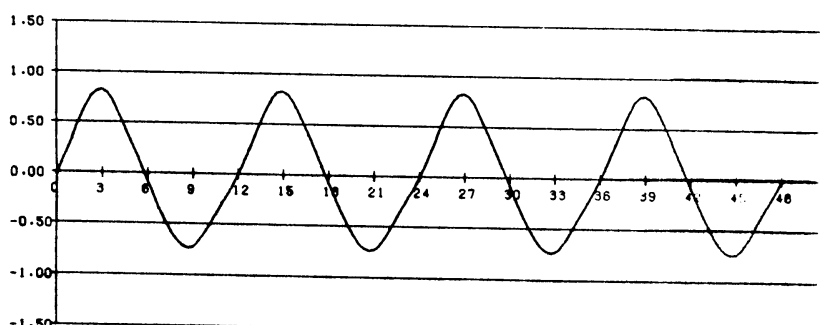


Fig. IV.3b

S<sub>2</sub>

87110500

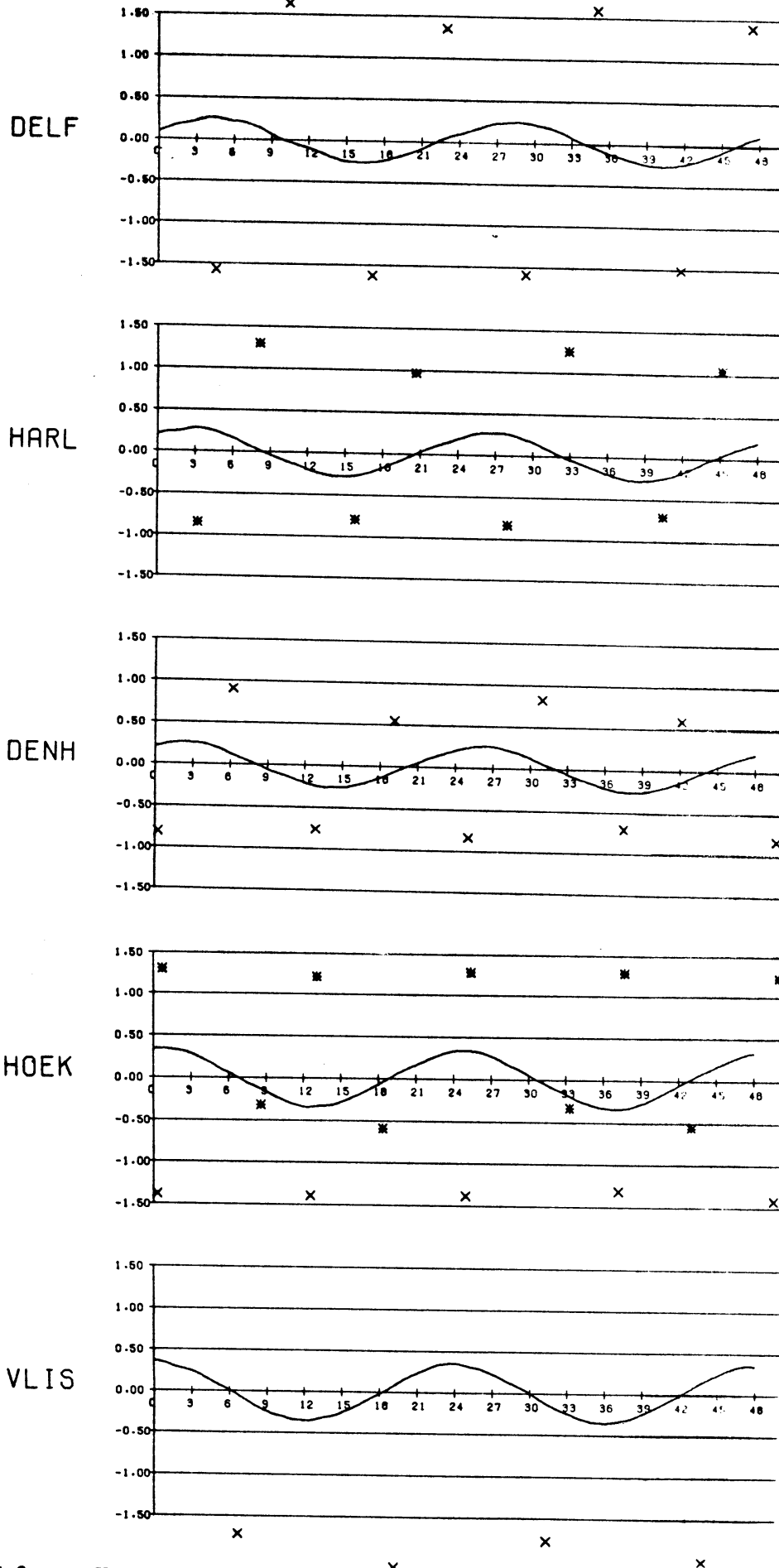


Fig. IV.3c

$K_1$

87110500

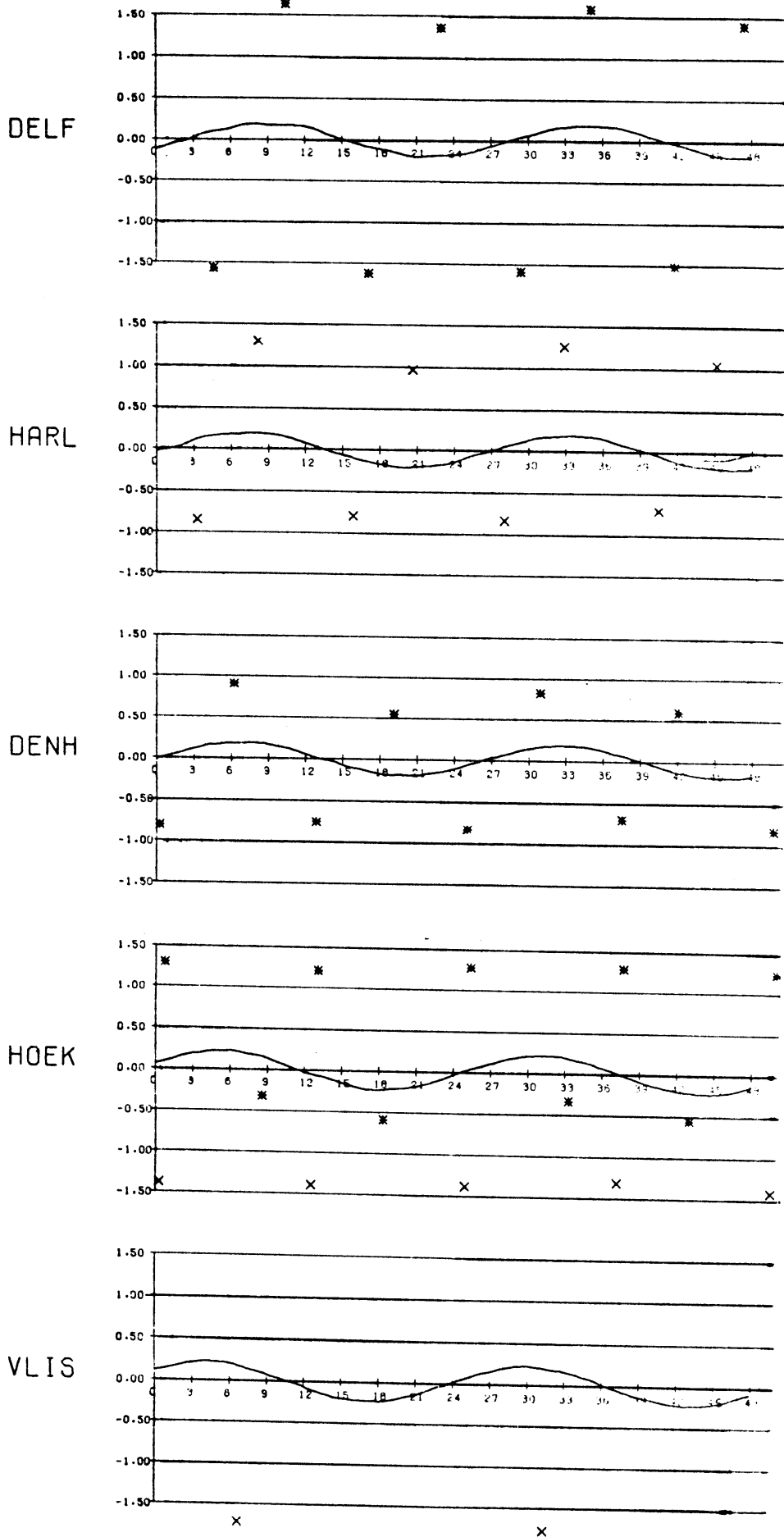


Fig. IV.3d

O<sub>1</sub>



87110500

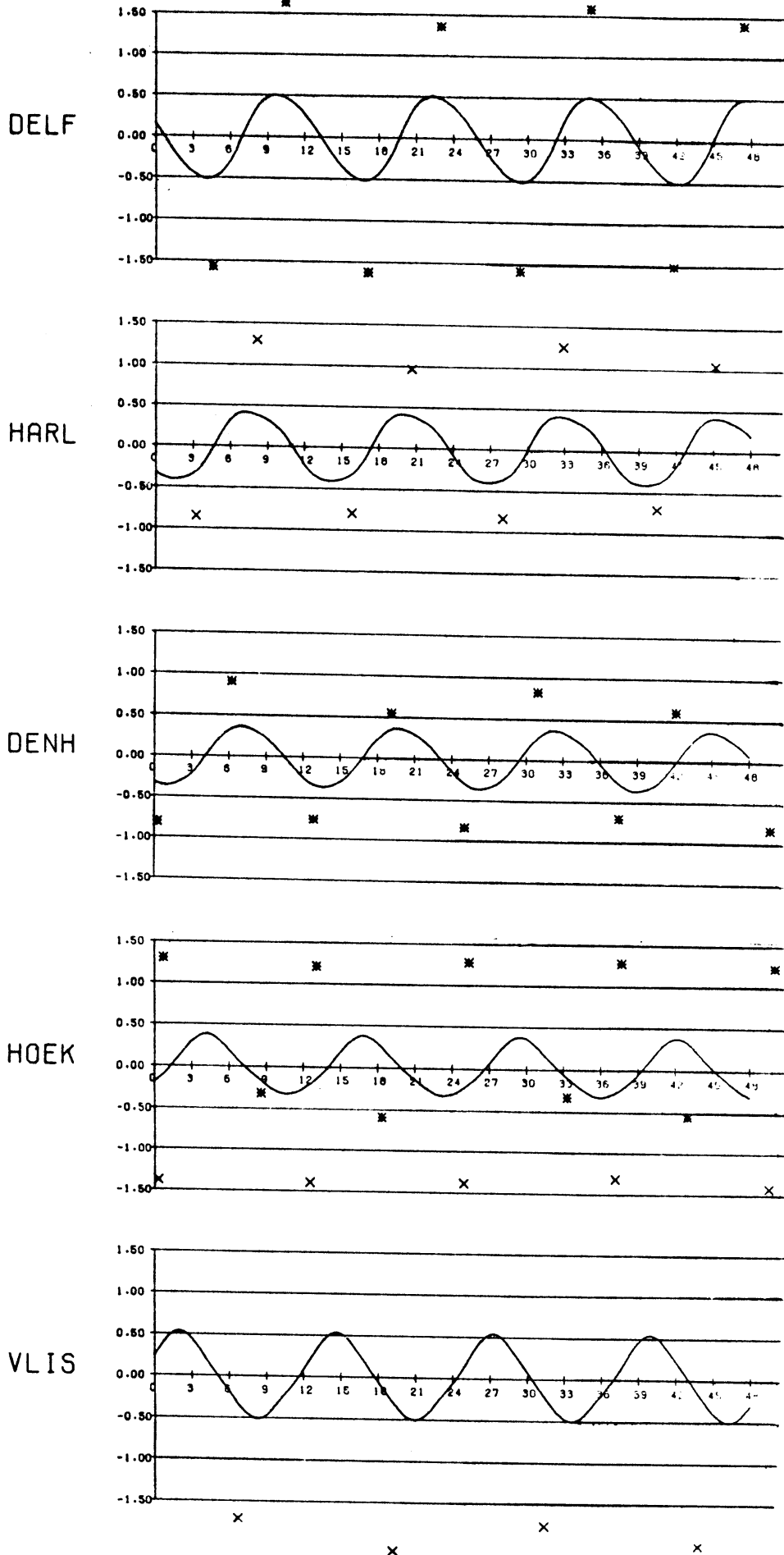


Fig. IV.3e

N<sub>2</sub>

87110500

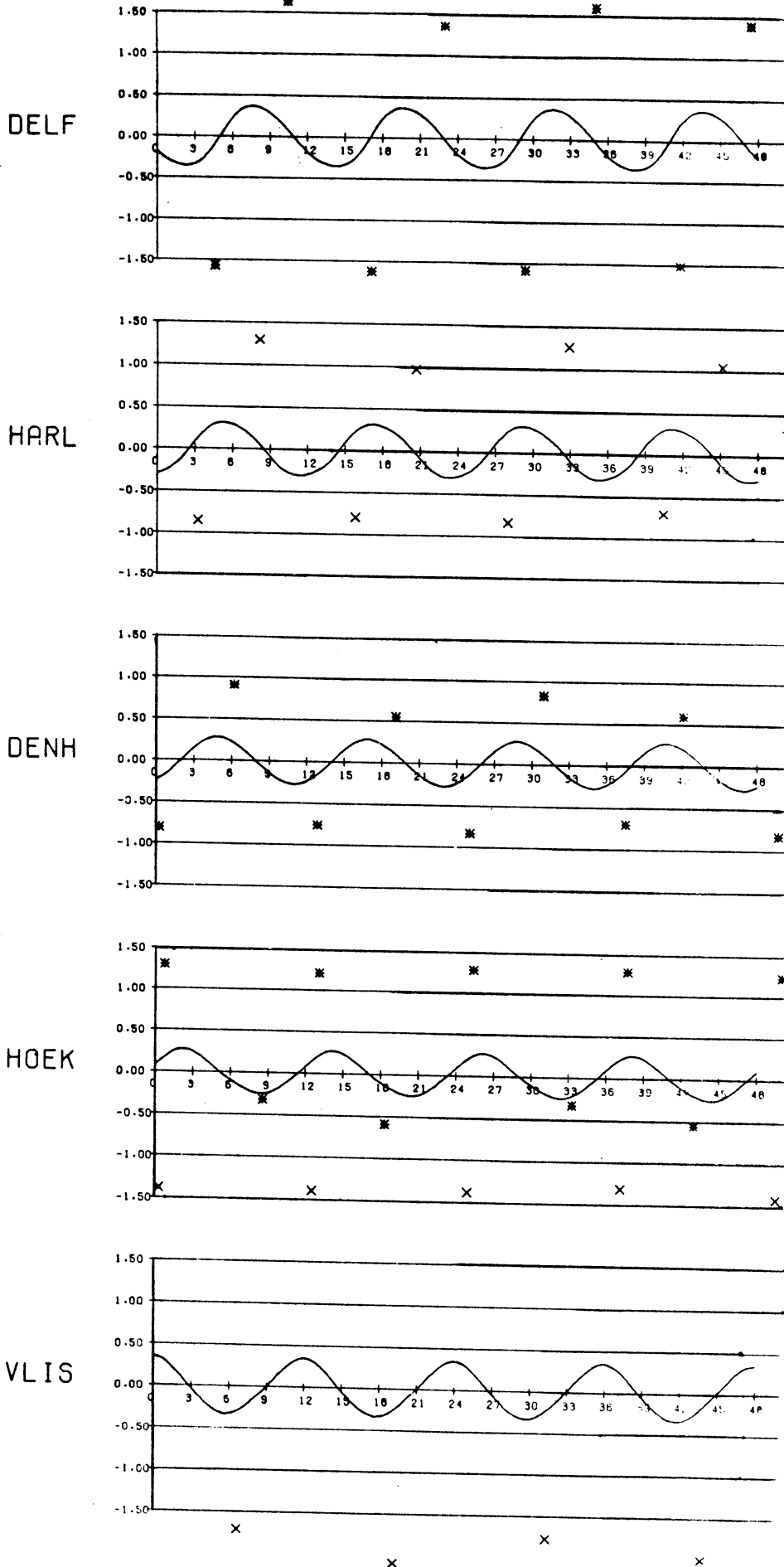


Fig. IV.3f  $K_2$

van die krachten. Hetzelfde geldt dan natuurlijk ook voor de combinatie van getij- met meteokrachten; het effect van beide krachten is niet gelijk aan de som van de effecten van de afzonderlijke krachten. Figuur IV.4 kan daarom dan ook gezien worden als aanvullende argumentatie voor het gebruik van een niet-lineair model.

### IV.3 Modelgetijverificatie

Allereerst geven we een voorbeeld van de simulatie door het IOS model van het astronomisch getij zoals het berekend is door Rijkswaterstaat. In Fig. IV.5 staat voor 5 en 6 november '87 de modelsimulatie van dit getij (getrokken lijn, ook al weergegeven in Fig. IV.4) voor roosterpunten vlak bij de vijf Nederlandse hoofdstations Vlissingen (VLIS), Hoek van Holland (HOEK), Den Helder (DENH), Harlingen (HARL) en Delfzijl (DELFI). Ze zijn geordend van onder naar boven in de richting van de getijgolf. Het model is uiteraard eerst enkele dagen ingeslingerd. De getijsimulatie van RWS is gegeven door een stippellijn.

Dit voorbeeld is min of meer representatief voor de kwaliteit van de getijsimulatie; in andere delen van de maanmaand zien we analoge verschillen.

De simulatie voor Vlissingen is uitstekend te noemen. Zowel amplitude, fase als vorm komen goed overeen. De getijkromme voor Cadzand dat nog dichterbij het roosterpunt Vlissingen ligt, vertoont zelfs nog meer overeenkomst.

Voor Hoek van Holland is de simulatie voor onze doeleinden ook goed te noemen: fase en amplitude van de top zijn uitstekend, het brede dal met vaak twee minima (aggr) is ook aanwezig. Alleen het eerste minimum van de aggr wordt veel te laag geschat. Hierdoor zullen vervroegingen of verlatingen die in dit deel van de maanmaand voor het laagwater in Hoek van Holland gemakkelijk enkele uren kunnen bedragen, door het model niet voorspeld worden. Deze piek bij het laagwater is een roosterpunt noordelijker geheel verdwenen. Blijkbaar is de roosterpuntsafstand van het model te groot om over zulke korte afstanden de getijcurve te doen veranderen van de geobserveerde curve van Vlissingen tot die van Hoek van Holland. Het roosterpunt Hoek van Holland is het eerste roosterpunt ten noordoosten van het roosterpunt Vlissingen.

Het hoogwater van Den Helder is onder de maat. De dubbele top die vaak aanwezig is bestaat in het modelgetij in het geheel niet. Hierdoor is de top te smal (en te hoog) en het dal te breed.

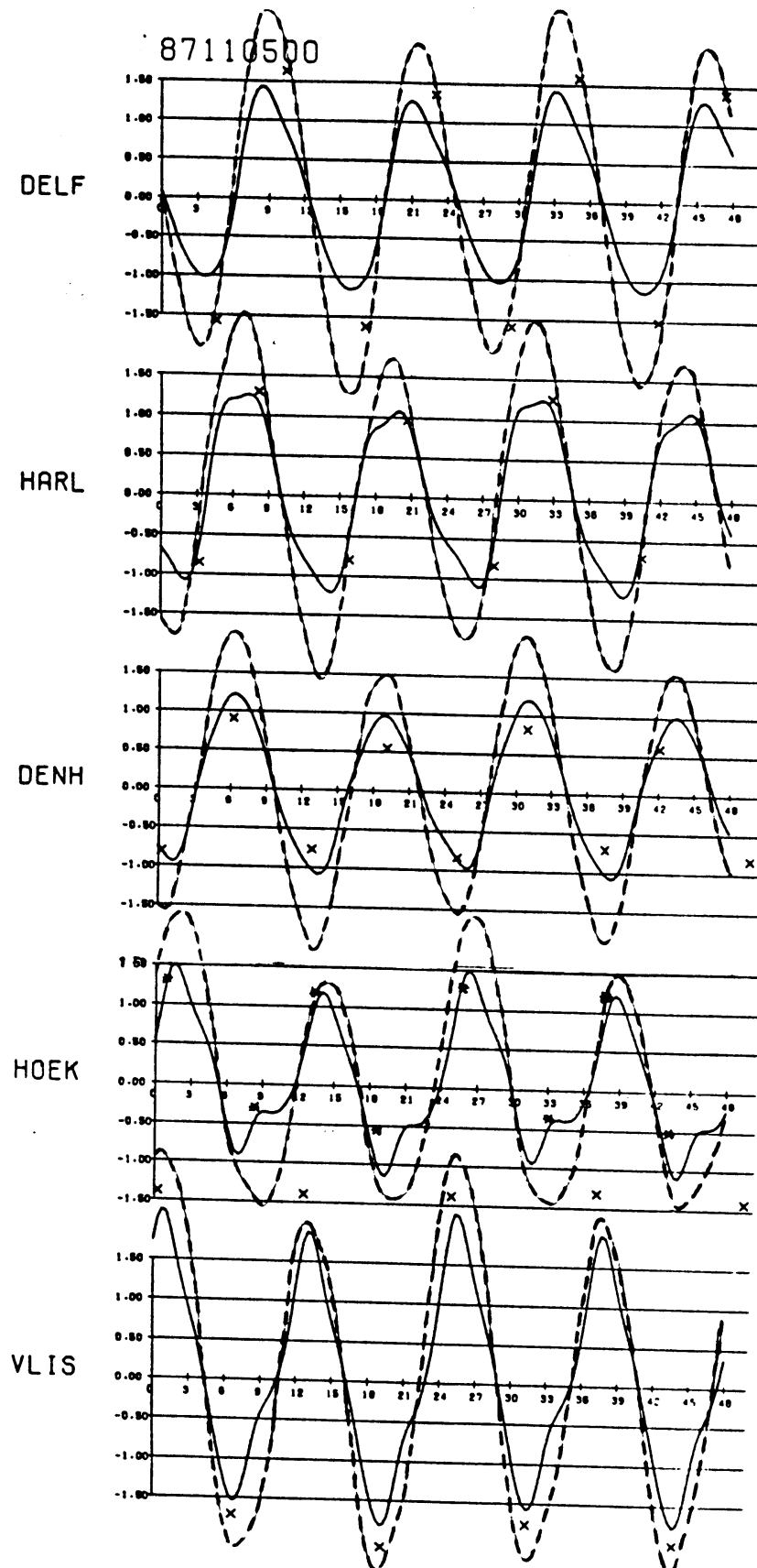


Fig. IV.4

De totale invloed van de 6 getijcomponenten uit Fig. IV.3 tesamen (getrokken lijn) en de som van de afzonderlijke componenten (stippellijn).

Het Institute of Oceanographic Sciences (IOS) te Bidston heeft bij de ontwikkeling van het model deze problemen gesignaleerd maar niet kunnen oplossen. Het roosterpunt Den Helder bleek een van de slechtste getijcurves op te leveren, bij vergelijking met een naburig peilstation. Een mogelijke verbetering zou echter mijns inziens te bewerkstelligen zijn door het roosterpunt Den Helder naar het zuiden te verleggen. Hiervoor moet dan een landpunt vervangen worden door een zeepunt. De afstand van het roosterpunt tot het peilstation Den Helder blijft hierbij ongeveer gelijk. Een allereerste voordeel van een verschuiving naar het zuiden is dat de gesimuleerde getijgolf eerder in "Den Helder" aankomt. Zoals in Fig. IV.5 te zien is loopt de simulatie nu in fase achter.

Een belangrijker voordeel is misschien wel een te verwachten betere simulatie van de vorm van de getijcurve tijdens vloed. Deze verwachting is gebaseerd op een analyse van de getijkrommen van stations ten zuiden van Den Helder. Fig. IV.6 laat voor een willekeurige dag de astronomische getijkromme zien (in willekeurige amplitude) van een viertal stations. Van zuid naar noord zijn dit Hoek van Holland, Scheveningen, IJmuiden en Den Helder. Duidelijk is te zien dat het locale maximum dat in Hoek van Holland midden in het brede dal ligt, naar het noorden toe vroeger komt te liggen en daardoor steeds dichterbij het tijdstip van de vloed terechtkomt. Bij Den Helder is daarom al sprake van een dubbele top. De vloedberg is breed en laag en eb duurt slechts kort. Nog verder naar het noorden zullen de toppen samenvallen. Dit is precies wat er in het IOS model gebeurt voor het huidige roosterpunt Den Helder. Verwacht mag daarom worden dat verlegging van dit punt naar het zuiden een verbreding en verlaging (alsmede een vervroeging) van het hoogwater te zien zal geven. Dit zou een belangrijke verbetering voor de getij-surge interactie inhouden.

De getijsimulatie voor Harlingen en Delfzijl voldoet redelijk, hoewel de neiging tot het voorkomen van een agger in het modelgetij voor het roosterpunt in de buurt van Harlingen in werkelijkheid (volgens RWS) niet optreedt. De onderschatting van de extrema alsmede de vervroeging ten opzichte van het astronomisch getij hebben uiteraard alles te maken met het ontbreken van de Waddenzee en de Eemsmond in het IOS model. Deze wateren en de Waddeneilanden zijn te klein om te kunnen worden gerepresenteerd in vakken van ongeveer 30 bij 30 km. Om het (zeer belangrijke) windeffect in dit gebied te beschrijven wordt een aparte berekening uitgevoerd om een vertaling te verkrijgen van het "buitengaats" roosterpunt naar Harlingen en Delfzijl (zie hoofdstuk VII). Omdat het ons niet gaat om een perfecte simulatie van het getij maar slechts

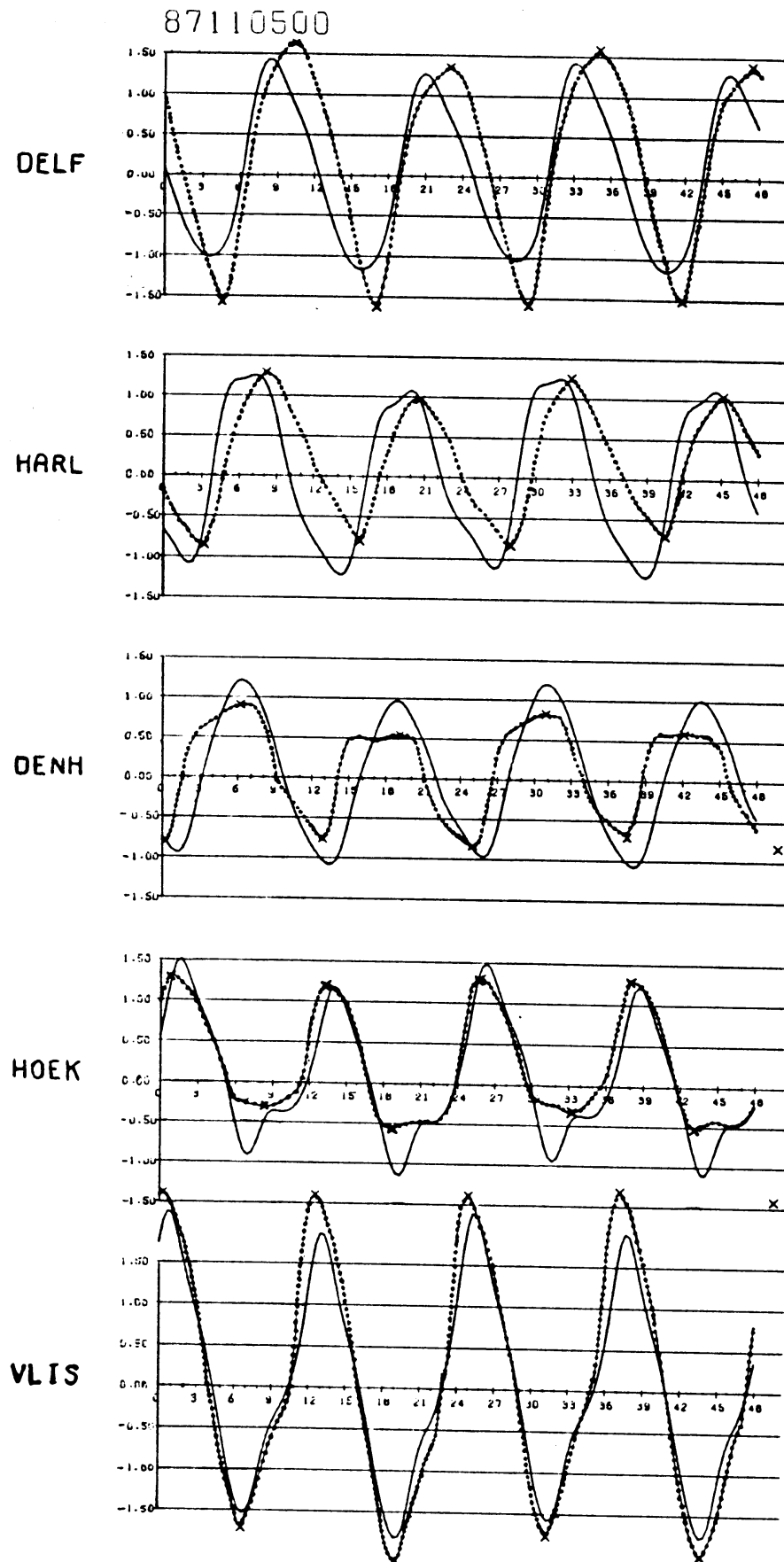


Fig. IV.5 Modelgetij in 5 roosterpunten voor de Nederlandse kust (getrokken lijn) vergeleken met het astronomisch getij in de bijbehorende kuststations (stippellijn).

om een ruwe benadering, is dit niet gedaan voor het getij. Bovendien is dit niet gemakkelijk.

Het gemiddelde effect van de Wadden en Eemsmond op alleen het hoog- en laagwater wordt daarentegen wel verdisconteerd. Dit geldt echter alleen voor de hoogte van de getijextremen en niet voor getijverschuivingen. Men moet zich er daarom van bewust zijn dat de gepresenteerde scheve opzetten van het model (per definitie) gelden voor de tijdstippen van het model hoog- en laagwater en niet voor de tijdstippen van de astronomische extremen. Correctie voor het windeffect over dit tijdsverschil is daarom bij snel veranderende winden soms nodig. Voor Harlingen en Delfzijl is het verschil tussen model en astronomisch getij gemiddeld enkele uren; voor andere stations in het algemeen veel minder maar in bepaalde gevallen kan dit ook 3 à 4 uur bedragen. Dit laatste kan zich voordoen bij dubbele toppen of dubbele dalen in het model- en/of het astronomisch getij.

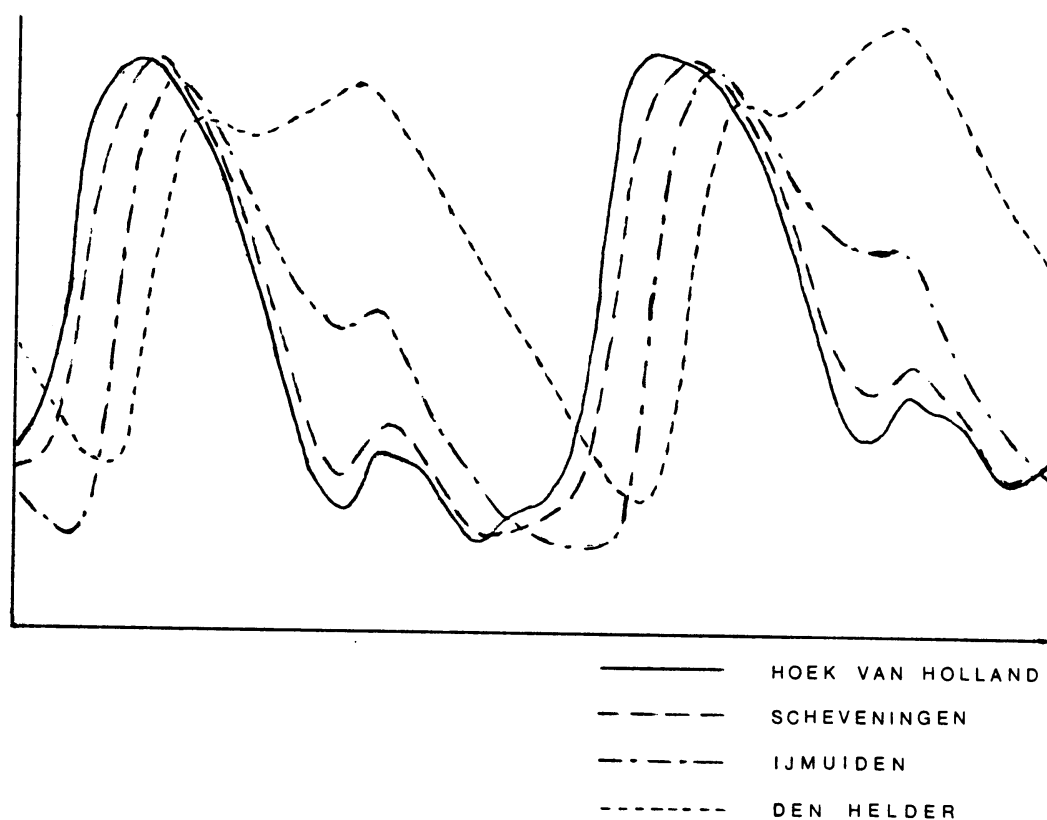


Fig. IV.6 Astronomische getijcurve van de stations Hoek van Holland, Scheveningen, IJmuiden en Den Helder.

Een kwantitatieve analyse van de getijsimulatie over de winter '86/'87 is gegeven in Tabel IV.2. De periode loopt van 7 oktober '86 t/m 28 februari '87. Er zijn zes getijcomponenten gebruikt (zie vorige paragraaf). De getijextremen van RWS voor de Nederlandse hoofdstations zijn vergeleken met waarden in IOS roosterpunten vlakbij deze stations. Tevens is het tijdsverschil geanalyseerd.

De getallen geven een bevestiging van hetgeen al bleek uit de getijsimulatie van 5 en 6 november '87. De standaardfout ligt zowel bij hoog- als laagwater rond de 1 à 2 decimeter. Uitzonderingen zijn Hoek van Holland met 39 cm overschatting van het laagwater (zie ook Fig. IV.5) en het roosterpunt Delfzijl dat een onderschatting van het laagwater van een halve meter ten opzichte van het peilstation te zien geeft. De gemiddelde tijdfout bedraagt in het algemeen veel minder dan een uur. Uitzonderingen zijn uiteraard weer Harlingen en Delfzijl, speciaal bij hoogwater.

Opvallend is daarnaast de grote spreiding in de tijdfout voor de stations Den Helder en Harlingen tijdens hoogwater en voor Hoek van Holland tijdens laagwater. Dit is het gevolg van de dubbele toppen en aggers in deze stations, die niet altijd goed door het model beschreven worden. Een andere reden hiervoor is dat de extremen van de dubbele toppen en dalen een zeer grote spreiding in de tijd vertonen.

Concluderend kunnen we zeggen dat het getij van het IOS model in redelijke mate het astronomisch getij in naburige kuststations beschrijft. Voldoende in ieder geval om voor een belangrijk deel de invloed op de scheve opzetten van de interactie tussen getij en surge te verdisconteren. Hiervoor is het bijvoorbeeld nodig dat de zee inderdaad dieper is bij hoogwater dan bij laagwater. Verder is het nodig dat er inderdaad een verhang is in de gemiddelde waterstand in alle richtingen. Deze bepaalt namelijk mede of een meteo-opzet zich als het ware anders kan verdelen boven op het getijvlak, waardoor de grootste opzet bijvoorbeeld juist vóór in plaats van tijdens het astronomisch hoogwater optreedt. Niet alleen een redelijke locale simulatie van het getij is daarom nodig maar tevens een ruwe benadering van het getij over het hele integratiegebied. Deze beïnvloedt namelijk de loopsnelheid en de vorm van de waterberg die opgewekt is door meteo-effecten, vanaf zijn ontstaan tot het moment dat hij de Nederlandse kust bereikt. Een precieze beschrijving van het getij is voor de scheve opzetberekening dus niet nodig. De bodemwrijving, sterk afhankelijk van de stroomsnelheid en de diepte, speelt een essentiële rol bij de getij-surge interactie (zie Prandle and Wolf, 1978; en Pugh, 1987).



VLIS      HOEK      DENH      HARL      DELF

**statistics of simulation of high tides (HT) and low tides (LT)**

number of cases		560	560	560	560	560
average error	(cm)	26	15	-8	8	-15
standard dev	(cm)	31	27	25	13	35
RMS error	(cm)	31	31	26	15	38
av error in time	(hr)	-0.27	-0.08	-0.82	1.33	1.32
standard dev	(hr)	0.24	1.07	0.66	0.47	0.60
RMS error	(hr)	0.36	1.07	1.06	1.42	1.45

**statistics of simulation of high tides (HT) only**

number of cases		280	280	280	280	280
average error	(cm)	30	-10	-30	-1	18
standard dev	(cm)	16	11	10	8	6
RMS error	(cm)	34	15	32	8	19
av error in time	(hr)	-0.41	-0.71	-0.65	1.37	1.87
standard dev	(hr)	0.17	0.19	0.82	0.56	0.28
RMS error	(hr)	0.44	0.73	1.05	1.48	1.86

**statistics of simulation of low tides (LT) only**

number of cases		280	280	280	280	280
average error	(cm)	-25	39	14	16	-48
standard dev	(cm)	13	13	11	12	17
RMS error	(cm)	28	41	18	20	51
av error in time	(hr)	-0.13	0.56	-1.00	1.30	0.81
standard dev	(hr)	0.22	1.21	0.37	0.36	0.33
RMS error	(hr)	0.26	1.33	1.06	1.35	0.87

Tabel IV.2 Getijsimulatie (astronomisch minus model) winter '86/'87 voor de Nederlandse hoofdstations.

Voor de (minder belangrijke) rechte opzetberekening luistert dit alles wat nauwer. Hiervoor is het vooral nodig een goede simulatie van de vorm van het astronomisch getij te bewerkstelligen. Een kleine fasefout daarentegen kan gemakkelijk gecorrigeerd worden. Op dit moment lijkt alleen een goede rechte opzetsimulatie (dus inclusief fluctuaties als gevolg van de interactie tussen getij en surge) mogelijk voor Vlissingen en rond het hoogwater van Hoek van Holland. Het huidige roosterpunt Den Helder zal valse fluctuaties in de rechte opzet rond het hoogwater te zien geven in situaties waarin meteo-effecten een grote rol spelen. De scheve opzet heeft hier veel minder last van.

De fluctuaties in de rechte opzet in de roosterpunten Harlingen en Delfzijl leveren niet meer (maar ook niet minder) dan een kwalitatieve indicatie voor die in de rechte opzet in de bijbehorende stations. Het ontbreken van de Waddenzee en de Eemsmond is daarvoor verantwoordelijk.

Dezelfde voorzichtigheid moet betracht worden bij de voorspelling van vervroegingen of verlatingen van eb of vloed als gevolg van meteo invloeden. Zoals te zien is aan het hoogwater in Den Helder kan een kleine verandering ten opzichte van de astronomische curve in sommige gevallen gemakkelijk een vervroeging of verlating van 3 à 4 uur opleveren. Dit kan zelfs het gevolg zijn van een fout in de astronomische voorspelling van RWS (enkele centimeters is al voldoende). Het model zal in Den Helder zulke verschuivingen nooit geven. Voor andere stations is het model potentieel veel beter in staat om, in ieder geval kwalitatief, faseverschuivingen te voorspellen. Verificatie hiervan over de winter '86/'87 volgt in hoofdstuk VIII.3.

Uit bovenstaande kunnen we afleiden dat het IOS model weliswaar een redelijke eerste benadering geeft van het astronomisch getij maar ook dat er nog veel ruimte voor verbetering is. In de nabije toekomst zal het KNMI overgaan op het gebruik van het WAQUA wateropzetmodel met een veel kleinere roosterpuntsafstand. Door een goede afregeling moet dit model in staat zijn een veel betere benadering van het astronomisch getij te leveren. Hierdoor zal ook de interactie tussen surge en getij beter beschreven worden.

## V. KWALITEIT UK6-WINDEN

### V.1 Historie

Het IOS wateropzetmodel wordt aangedreven met voorspelde winden en drukken afkomstig van het fine mesh atmosfeermodel van het Britse Met. Office in Bracknell. Dit model is een 15-lagen model in sigma-coördinaten op een kleinschalig rooster met roosterpuntsafstand in de x-richting van  $0.75^\circ$  en  $0.9375^\circ$  in de y-richting (zie Fig. V.1). Slechts enkele roosterpunten bedekken de zuidelijke Noordzee. Het onderste sigma-niveau ligt op ongeveer 24 m. Een uitvoerige beschrijving van het model is gegeven in The Meteorological Magazine, vol. 114 (1985), p. 222-226. Een samenvatting is gegeven in Floor et al. (1987).

Deze winden komen in knopen binnen op het KNMI op een bepaald "uitvoerrooster" (zie later). Alvorens ze gearchiveerd worden in zogenaamde ARCHIEFUK6-files worden ze omgezet in m/s. Dit gebeurt echter door ze te vermenigvuldigen met een factor 2 in plaats van met 1.944 (Godschalk, pers. comm.). Hetzelfde gebeurt bij de aanmaak van ARCHIEFUK3, -UK4 en -UK5 files. Bij windverificatie dient er dus rekening mee gehouden te worden dat de op het KNMI gearchiveerde winden afkomstig uit Bracknell met enkele procenten overschat worden.

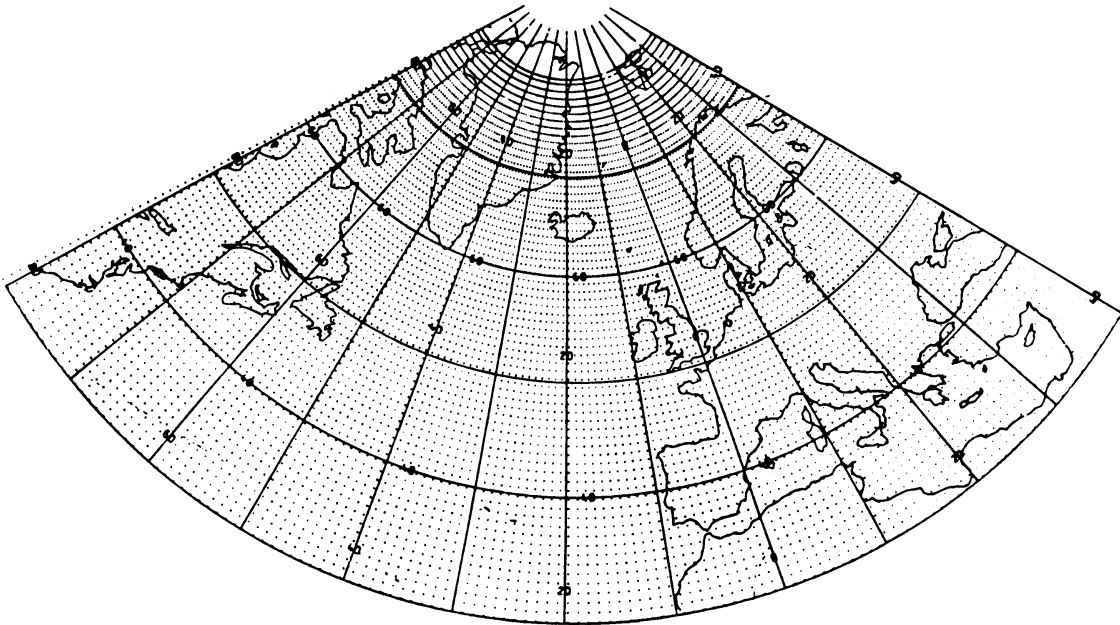


Fig. V.1 Rooster van het Engelse Fine mesh model

In de in de weerdienst gebruikte winden afgeleid uit de fine mesh winden traden in het najaar van 1986 ernstige tekortkomingen aan het licht. In de zuidelijke Noordzee bleken de windsnelheden in het algemeen te laag te zijn. Hierover is uitvoerig gerapporteerd door Floor (1986a, 1987). Het isotachenpatroon op de zuidelijke Noordzee vertoont dikwijls een driehoekige vorm die goed past in de driehoeksvorm gevormd door de Zuid-Engelse en de Hollandse kustlijnen. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Fig. V.2, overgenomen van Floor (1986a). De uit het luchtdrukveld van het fine mesh model berekende winden (GONO-winden), onder afgebeeld, zijn veel sterker boven de zuidelijke Noordzee.

De te zwakke UK6-winden blijken het gevolg te zijn van het doordringen van de boven land gebruikte wrijving tot ver over zee. De voornaamste oorzaak hiervan ligt in de in Engeland uitgevoerde transformatie van het modelrooster naar een zogenaamd uitvoerrooster. Wind- en drukgegevens op dit uitvoerrooster staan ter beschikking van het KNMI. Dit rooster heeft een roosterpuntsafstand van  $1.25^\circ$  in beide richtingen. De transformatie vindt (vooralsnog) plaats zonder dat rekening wordt gehouden met het feit dat langs de kusten geïnterpoleerd wordt tussen land- en zeepunten. Dit leidt tot aanzienlijke afzwakking van de wind boven zee. Daarnaast vindt op het KNMI bij transformatie van dit uitvoerrooster naar het IOS rooster (met behulp van gridmaps) een verdere "besmetting" van de wind boven zee door landeffecten plaats.

Tot slot speelde de grofheid van de land- zee verdeling nog een rol. Inmiddels is het Met. Office overgegaan op een fijnere verdeling (Floor, 1987).

Ook uit kwantitatieve analyse van UK6-winden (of afgeleiden daarvan) blijken de bovengenoemde tekortkomingen (Daan, Kok & Riepma, Riepma). Daan (1987, verschenen in Floor, 1987) heeft voor de periode 10 november - 8 december 1986 een verificatie uitgevoerd voor kust- en zeestations. Hieruit blijkt dat de UK6-winden - berekend door interpolatie van het uitvoerrooster naar de betreffende punten - langs de Nederlandse kust gemiddeld 10 à 20% te zwak waren. Bovendien bleken de winden geruimd ten opzichte van de waarnemingen. Dit laatste hangt waarschijnlijk samen met het feit dat de fine mesh winden afkomstig zijn van het onderste sigma-niveau op ca 24 m. (Floor, 1987). Deze windruiming werd niet gevonden voor de zeestations AUK en K13.

Riepma (1987) heeft de kwaliteit van de UK6-winden in een tiental posities verspreid over de Noordzee en het Kanaal onderzocht over de periode 1 oktober

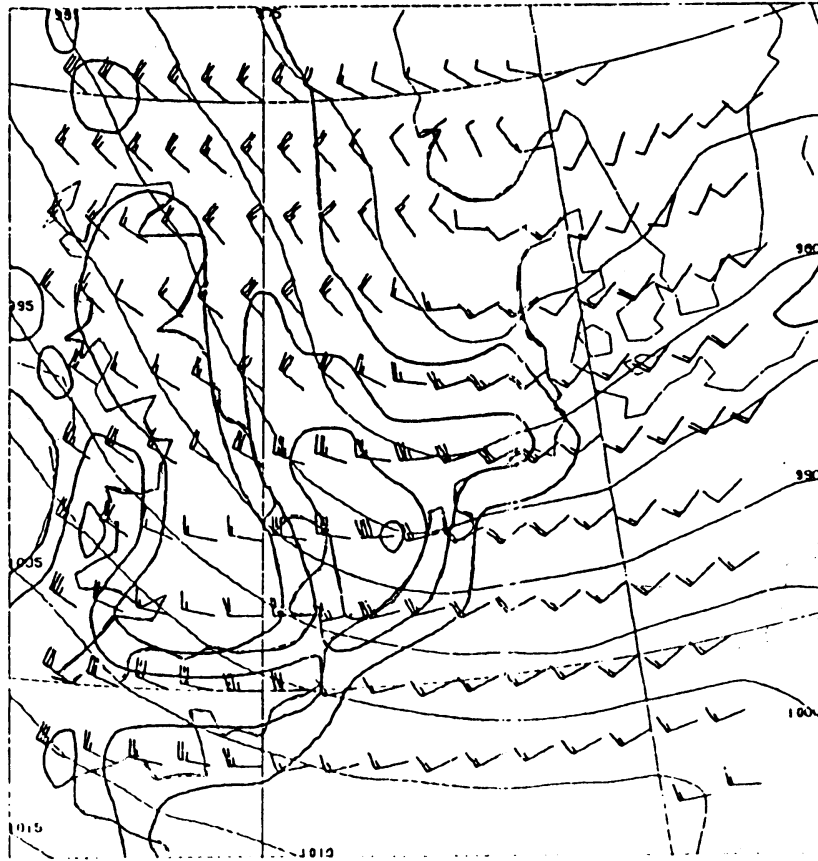
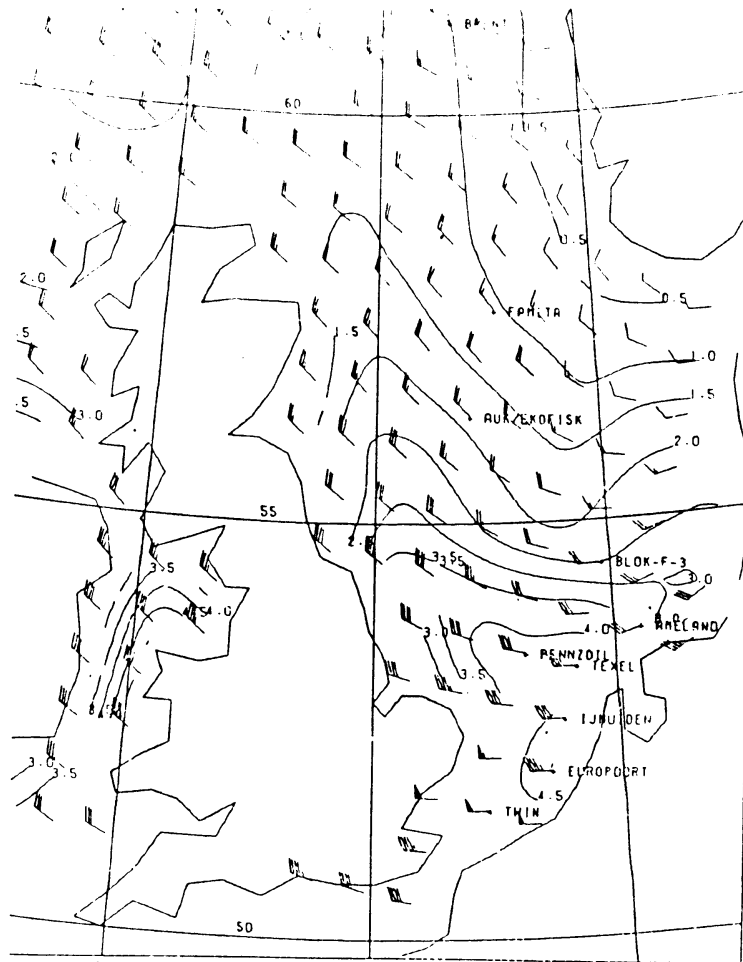


Fig. V.2

UK6 fine mesh winden (boven) en uit UK6 drukken berekende winden (onder) voor dezelfde situatie.



1986 tot 1 mei 1987. De winden werden hiertoe eerst geïnterpoleerd van het uitvoerrooster naar de betreffende posities. De gepresenteerde getallen en grafieken hebben betrekking op het gemiddelde over de analyse, de +3, +6, +9 forecasts tesamen. De onderschatting van de winden aan de kust wordt in deze studie duidelijk aangetoond. Boven open zee komen de windsnelheden goed overeen met de observaties. In het Kanaal daarentegen lijken de winden zwaar te worden onderschat (tot 40%). Dit laatste was een bevestiging van een eerdere case-study waarover gerapporteerd is in Kok & Riepma (1987).

## V.2 Nieuwe windverificatie

In deze paragraaf wordt een nadere verificatie gepresenteerd van de UK6-winden zoals ze op het KNMI binnenkomen. De bekeken periode is dezelfde als in Riepma (1987): okt. '86 t/m april '87. Bovendien is gebruik gemaakt van de voor die studie verzamelde UK6 dataset. Deze gegevens zijn dus afkomstig van het zgn. uitvoerrooster van het fine mesh model. Deze zijn door Riepma lineair geïnterpoleerd naar de 10 geverifieerde posities. Deze staan gegeven in Fig. V.3. Helaas zijn niet de windvectoren geïnterpoleerd maar de snelheden en de richtingen. Vooral dit laatste kan grote konsekwenties hebben bij het "door noord gaan" van de wind. Daarnaast zijn na interpolatie de snelheden afgerond op meters/sec en de richtingen op tientallen graden.

De verschillen tussen de hieronder beschreven studie en die van Riepma zijn de volgende. Allereerst wordt in onze analyse gekeken naar de gemiddelde statistiek over alle maanden tesamen in plaats van naar het gemiddelde over de afzonderlijke maandgemiddelden. Verder wordt hier gekeken naar de afzonderlijke kwaliteit van de analyse ten opzichte van de +3, +6, etc. De bekeken forecasttermijn loopt t/m +33. Tenslotte zijn nog enkele fouten in het statistische gedeelte hersteld. Ook is een tweetal stations weggelaten vanwege de onbetrouwbaarheid van de waarnemingen.

De observaties zijn afkomstig van het GTS en beschikbaar gesteld door Roel van Moerkerken met behulp van zijn "MOERAV" systeem. Hierin is de Noordzee verdeeld in 100 vakken die afgebeeld zijn in Fig. V.3. Per vak worden alle waarnemingen ingezameld. Bij meerdere waarnemingen op een bepaald tijdstip wordt "de beste" genomen. In het algemeen wordt aan data afkomstig van platforms de voorkeur gegeven boven waarnemingen van schepen die zich toevallig in zo'n gebied bevinden. In veel gebieden zijn daarom alle

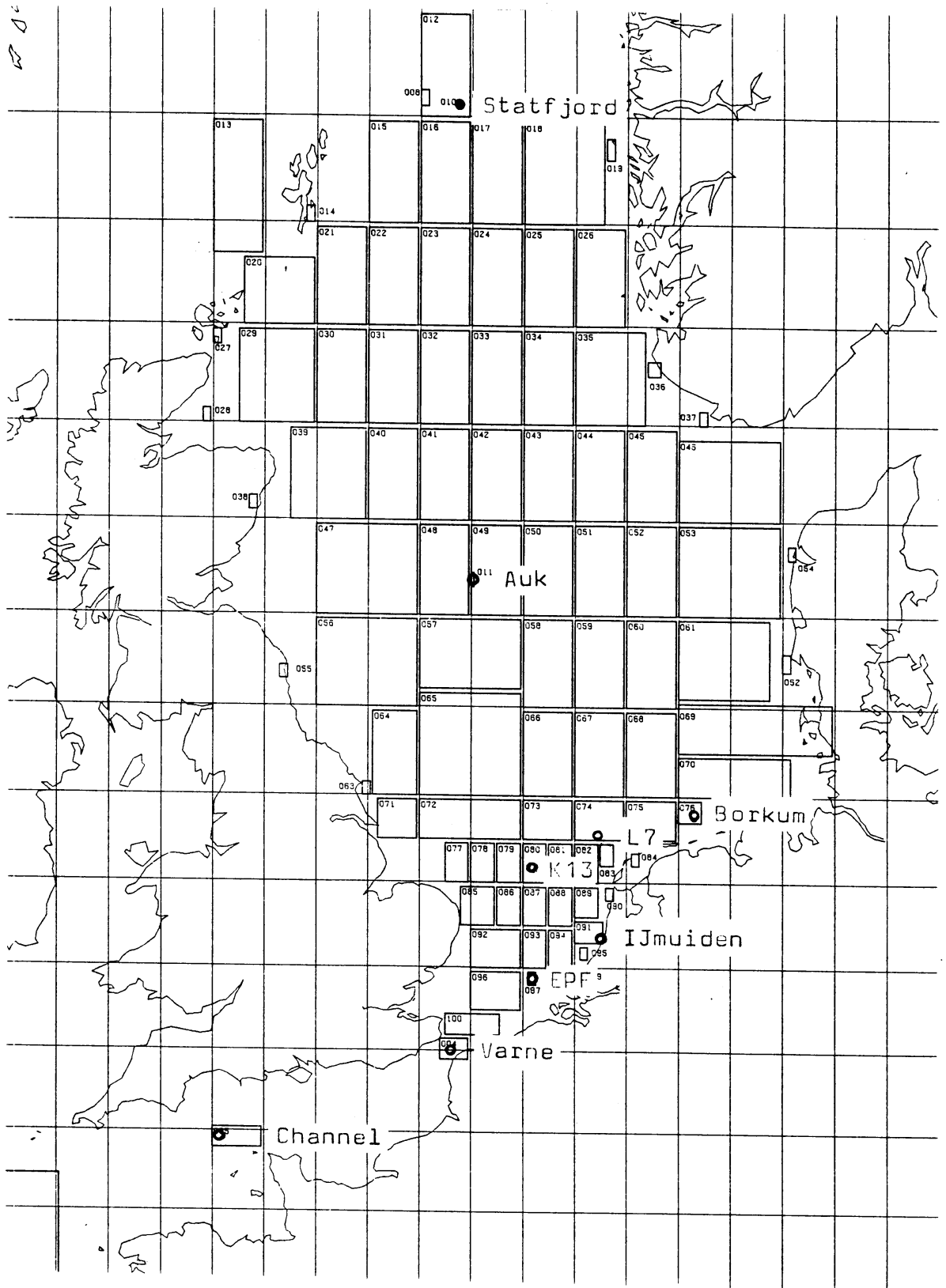


Fig. V.3 De 100 vakken uit het verificatiesysteem van Van Moerkerken. De posities van de gebruikte stations zijn aangegeven, de stationsnamen staan rechts.

windobservaties afkomstig van een vast punt (een platform of lichtschip).

De posities waarnaar de UK6-winden geïnterpoleerd zijn vallen samen met de coördinaten waarvandaan de meeste observaties in een gebied komen. Alle geobserveerde winden zijn omgerekend tot 10-meter winden. Hun snelheden zijn op knopen nauwkeurig, de richtingen op 10°. De omrekening naar 10-meter winden gebeurt echter lang niet altijd nauwkeurig. Zo blijken de waarnemingen uit het gebied Forties van twee vlakbij elkaar gelegen platforms te komen die significant verschillende 10-meter winden leveren. Het ene platform geeft systematisch meer wind die bovendien geruimd is ten opzichte van die van het andere platform. Het gebied Forties is daarom verder buiten beschouwing gelaten.

Allereerst is gekeken naar de kwaliteit van de voorspelde windsnelheden. Deze is uitgedrukt in de gemiddelde fout (simulatie minus observatie) en de standaard deviatie. In Tabel V.1 zijn de analyse, de +3 uur, +6, +9 t/m +33 uur forecast apart weergegeven. Tevens is het aantal beschouwde gevallen  $N$  alsmede het gemiddelde van de observaties over die gevallen (OBS) gegeven. De windsnelheden staan in dm/sec. Alleen situaties met geobserveerde winden van 5 m/s en meer zijn beschouwd.

Het verschil tussen "open zee" stations (Statfjord, Auk en K13) en "kuststations" (Borkum, L7, IJmuiden en Europlatform) wordt nogmaals bevestigd. De UK6-winden boven open zee vertonen slechts een zeer kleine bias. De winden langs de kust worden flink onderschat, tussen de 15 en 20%. Nog slechter is het gesteld in het Kanaal: niet alleen is de bias in Channel en Varne veel groter (onderschatting van zo'n 30 resp. 50%), maar ook de standaard deviatie is groter dan voor andere stations. De waarnemingen in Varne blijken goed overeen te komen met die in Westhinder dat er niet ver vandaan ligt (Van Moerkerken, pers. comm.). Het lijkt daarom aannemelijk dat de grote gemiddelde fout in het Kanaal niet veroorzaakt wordt door overschatting van waargenomen winden, maar dat de oorzaak veeleer gezocht moet worden in gebreken in het Engelse atmosfeermodel. Interpolatie van rekenrooster naar uitvoerrooster kan zo'n grote bias niet verklaren.

Van genoemde stations zijn waargenomen en geanalyseerde UK6-winden tegen elkaar uitgezet in scatterplots (Fig. V.4). Eenheden zijn in m/s. Alleen geobserveerde winden vanaf 5 m/s zijn beschouwd. De gemiddelde observatie en simulatie zijn aangegeven met een vierkantje op de x-as resp. y-as.

Een ander opvallend verschijnsel, niet door eerdere auteurs gesignaleerd, is het systematische verschil tussen de analyses en de forecasts (Tabel V.1).



	an	+3	+6	+9	+12	+15	+18	+21	+24	+27	+30	+33
<u>Statfjord</u>												
x	-2	-1	-2	1	0	0	-2	1	1	1	-2	0
$\sigma$	22	25	28	29	29	29	32	33	33	35	38	41
OBS	113	112	114	113	113	111	115	113	113	112	114	114
N	338	329	333	323	332	329	332	321	329	325	327	318
<u>Auk</u>												
x	0	2	3	3	2	1	1	1	2	2	2	4
$\sigma$	19	21	21	23	21	24	26	30	29	31	33	36
OBS	97	100	98	99	97	100	98	99	97	100	98	99
N	220	213	219	209	219	213	216	206	214	208	215	203
<u>K13</u>												
x	-4	1	2	0	0	-1	1	2	2	1	2	2
$\sigma$	20	22	21	22	24	26	26	28	27	31	32	30
OBS	101	102	101	102	101	102	101	102	101	102	101	102
N	273	269	271	270	271	268	269	269	269	268	269	267
<u>Borkum</u>												
x	-25	-20	-20	-20	-21	-21	-21	-19	-19	-19	-20	-18
$\sigma$	19	20	19	20	20	22	24	24	24	24	27	29
OBS	107	109	108	106	107	109	107	106	108	109	108	107
N	339	334	340	338	337	331	338	334	331	329	335	330
<u>L7</u>												
x	-21		-16		-20		-18		-19		-17	
$\sigma$	26		24		28		29		31		34	
OBS	112		113		111		114		113		114	
N	117		223		116		231		113		232	
<u>IJmuiden</u>												
x	-24	-17	-18	-17	-20	-20	-21	-17	-17	-17	-20	-18
$\sigma$	19	18	19	19	19	20	22	25	23	23	25	26
OBS	100	101	100	99	100	101	100	100	100	101	101	100
N	316	300	303	299	314	297	301	298	313	295	301	296
<u>EPF</u>												
x	-19	-12	-12	-13	-13	-13	-13	-13	-10	-11	-12	-13
$\sigma$	15	15	16	17	18	19	19	22	22	24	25	24
OBS	100	99	100	100	100	99	100	101	100	100	100	101
N	312	316	317	316	310	315	314	312	308	312	313	309
<u>Varne</u>												
x	-54	-47	-48	-51	-50	-47	-48	-52	-48	-47	-49	-51
$\sigma$	30	28	27	28	30	29	29	30	31	31	31	32
OBS	111	109	108	110	112	109	108	110	112	109	109	110
N	312	296	305	311	310	295	303	306	307	291	298	303
<u>Channel</u>												
x	-36	-32	-30	-30	-30	-30	-29	-29	-29	-30	-30	-31
$\sigma$	28	23	25	25	27	25	26	28	30	27	30	29
OBS	114	115	113	113	115	116	114	113	115	116	114	113
N	311	306	315	314	310	303	312	310	303	301	309	307

Tabel V.1

Statistiek UK6-winden als functie van de voorspeltermijn. x is de gemiddelde afwijking (simulatie minus observatie) en  $\sigma$  de standaard deviatie in dm/sec. OBS is de gemiddelde geobserveerde windsnelheid, N het aantal gevallen.

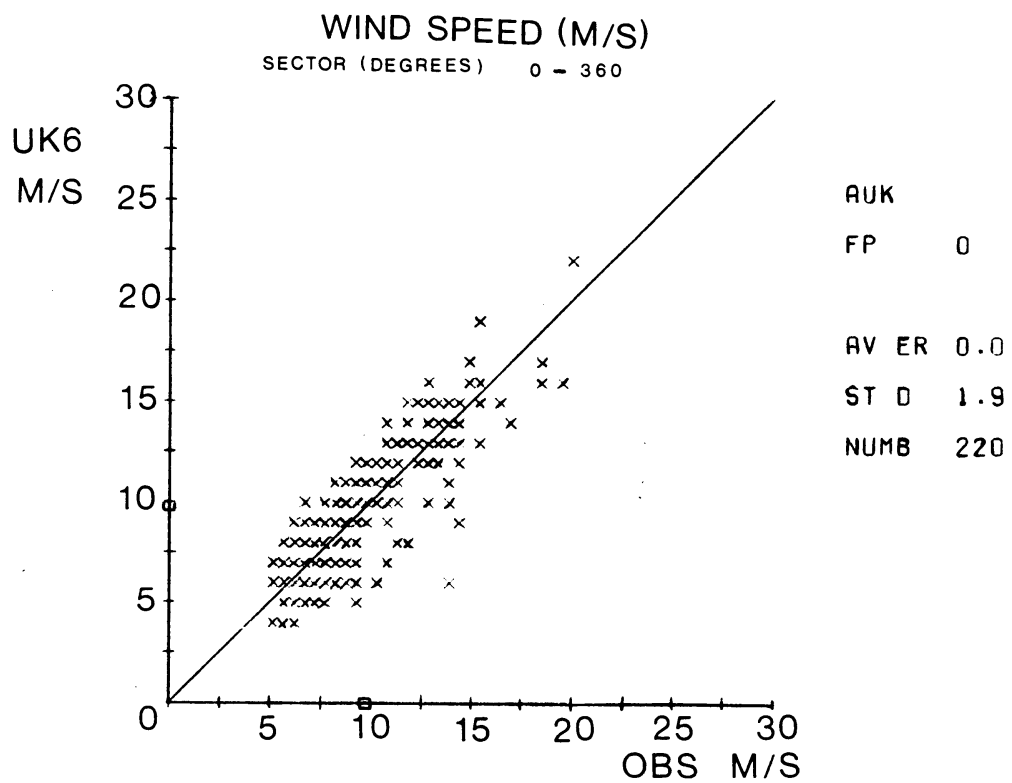
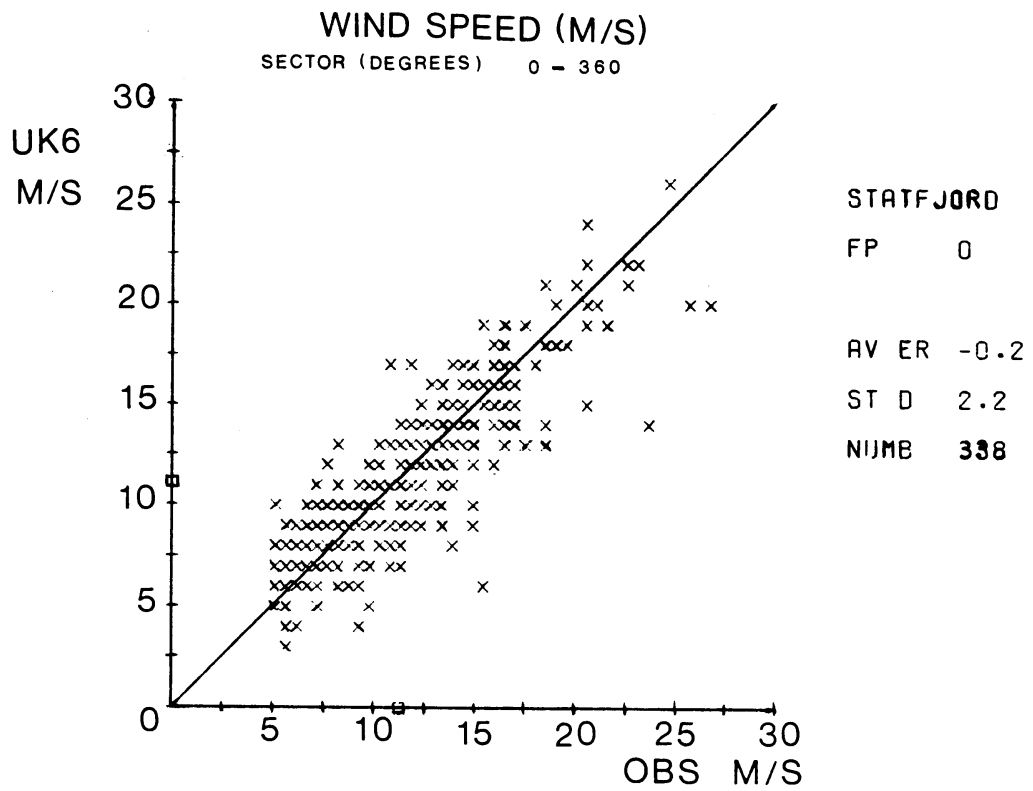


Fig. V.4

Waargenomen (OBS) tegen geanalyseerde (FP=0) UK6 winden over de periode okt '86 t/m april '87. AV ER is de gemiddelde simulatie minus observatie, ST D de standaard deviatie, NUMB het aantal gevallen.

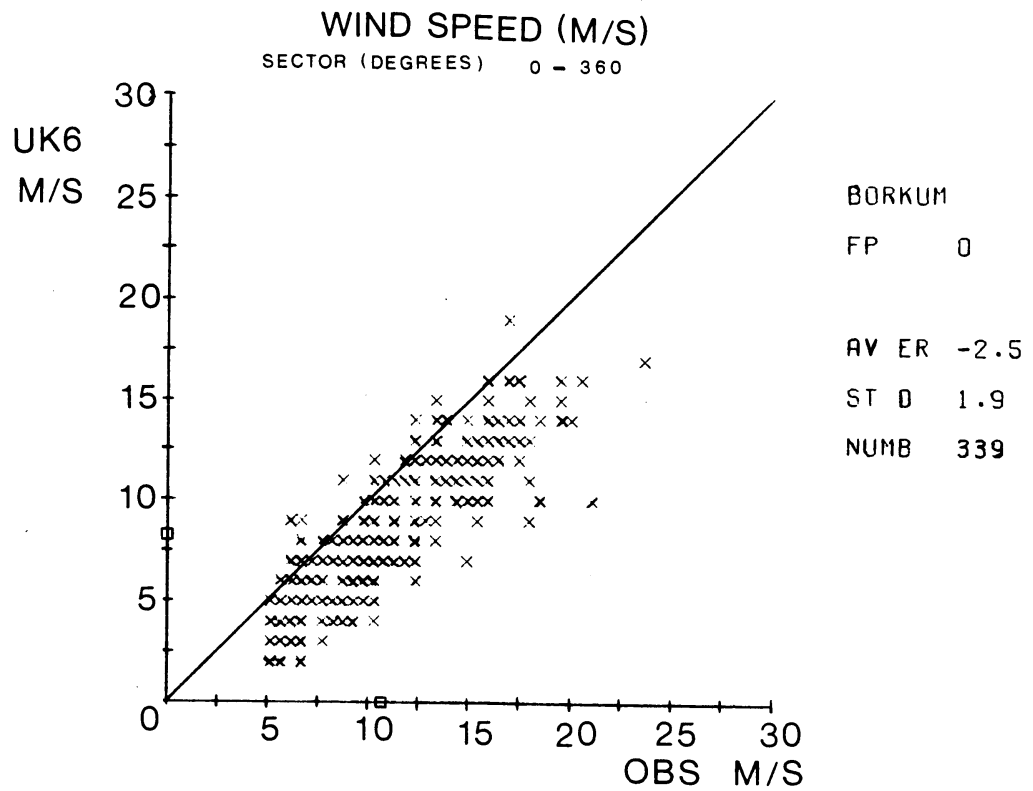
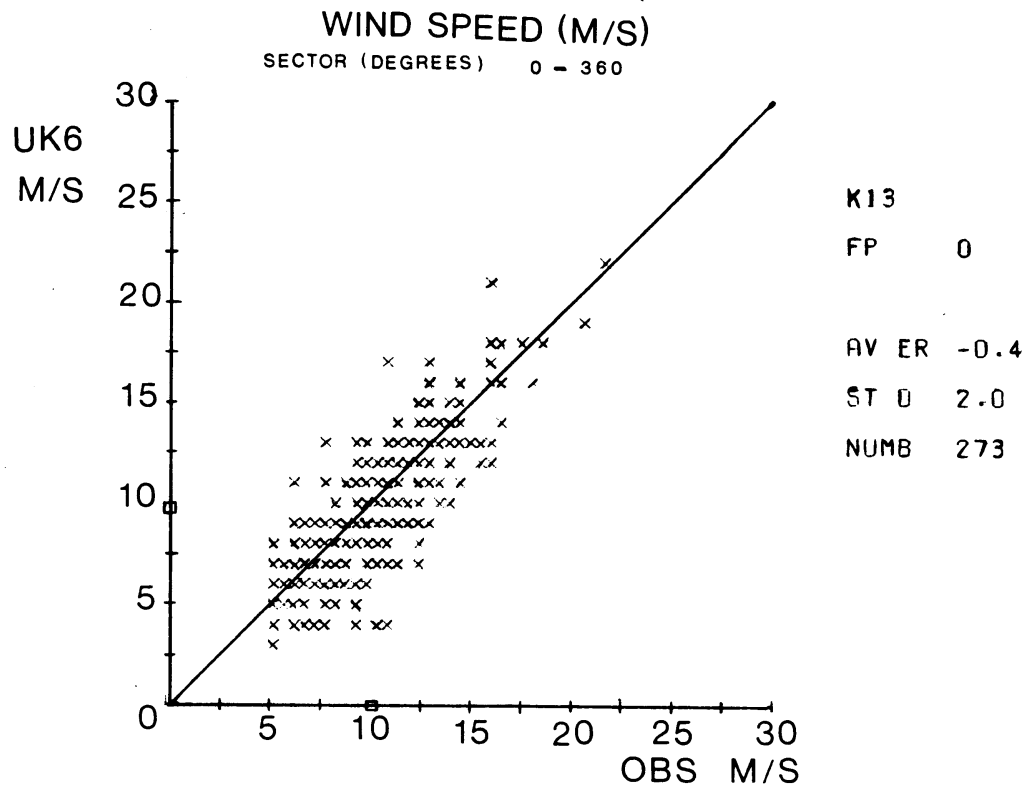


Fig. V.4

vervolg

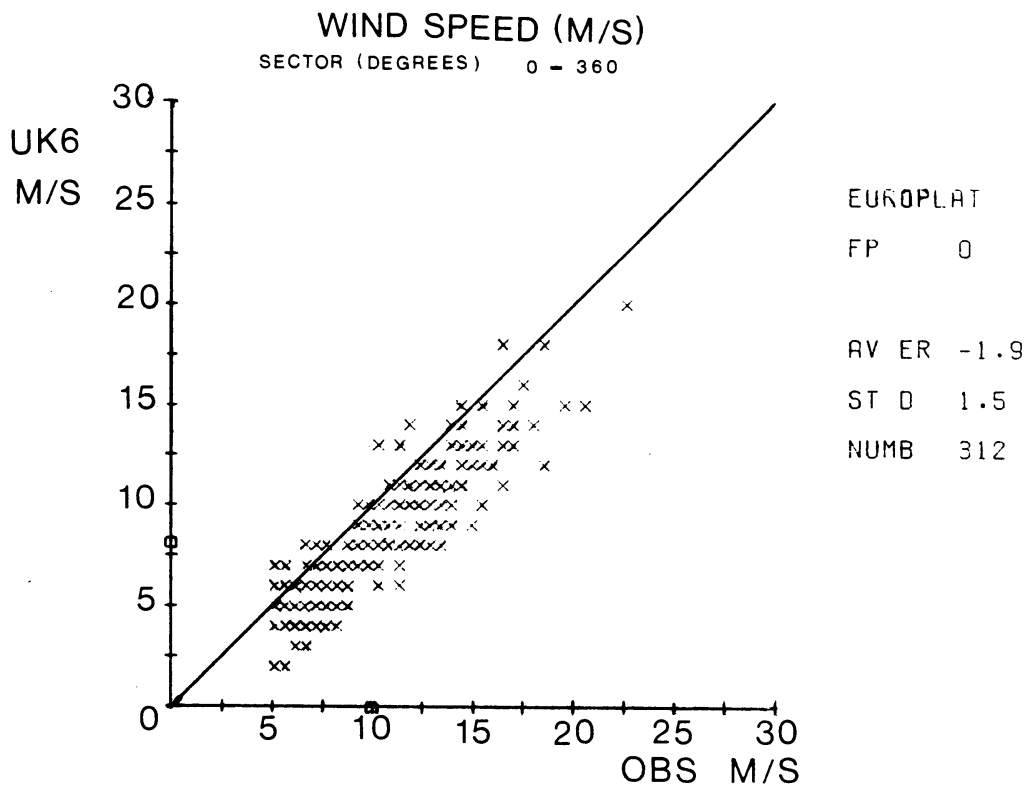
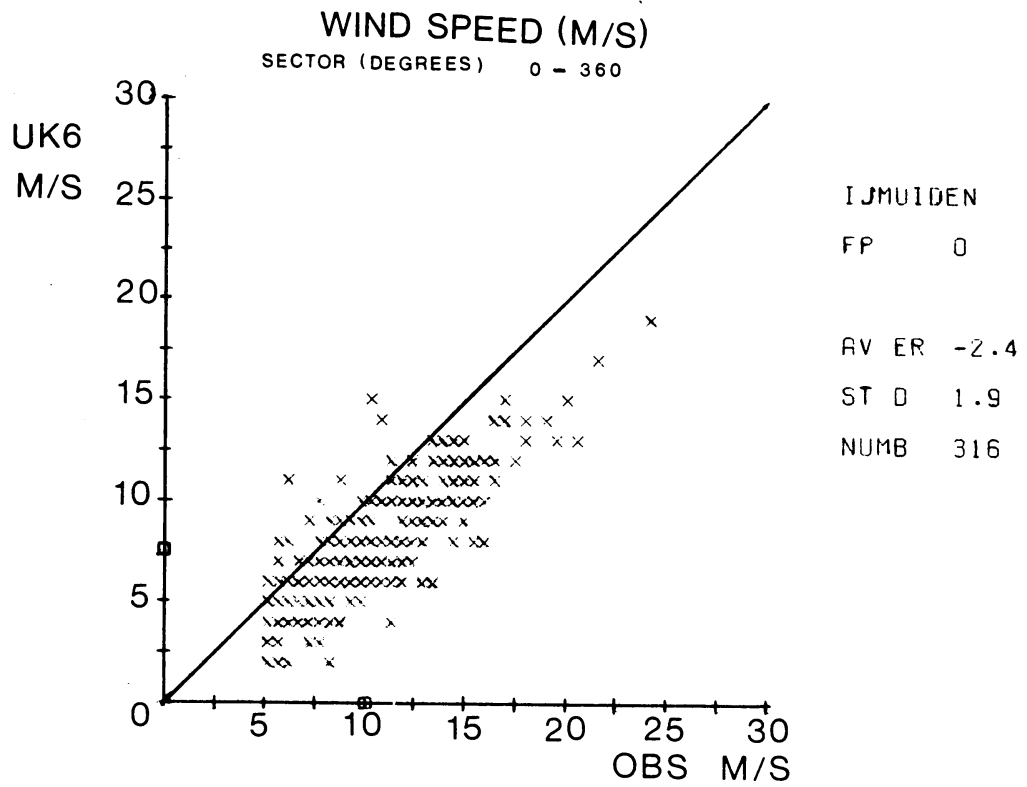


Fig. V.4      **vervolg**

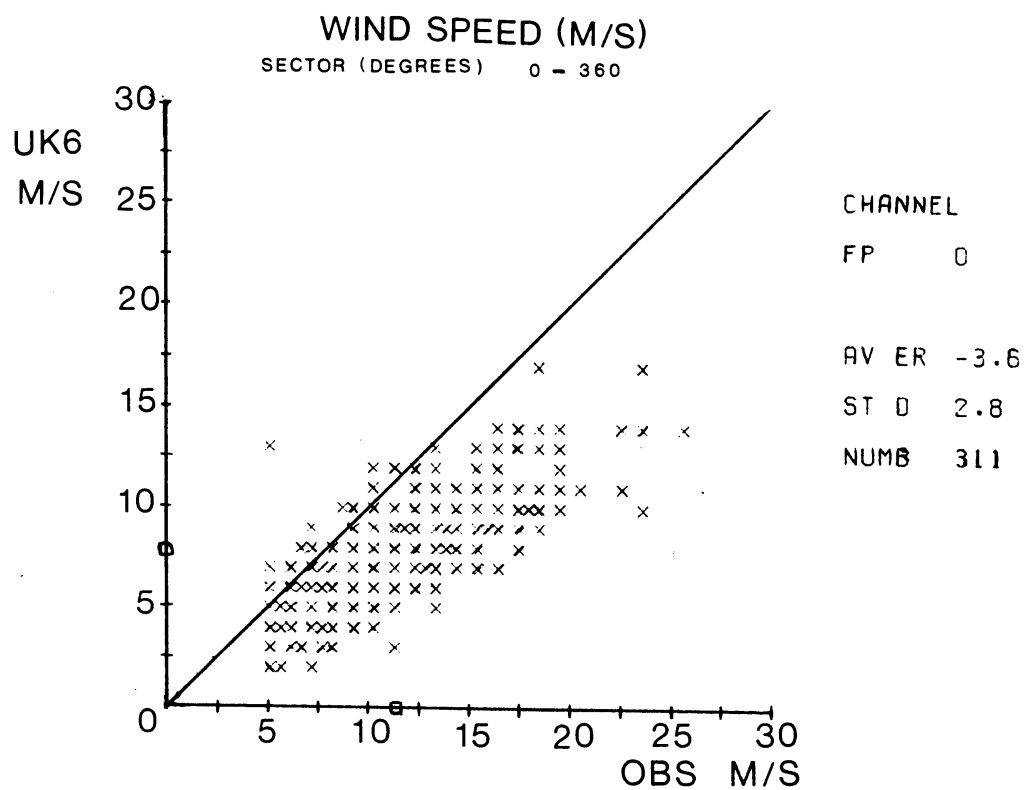
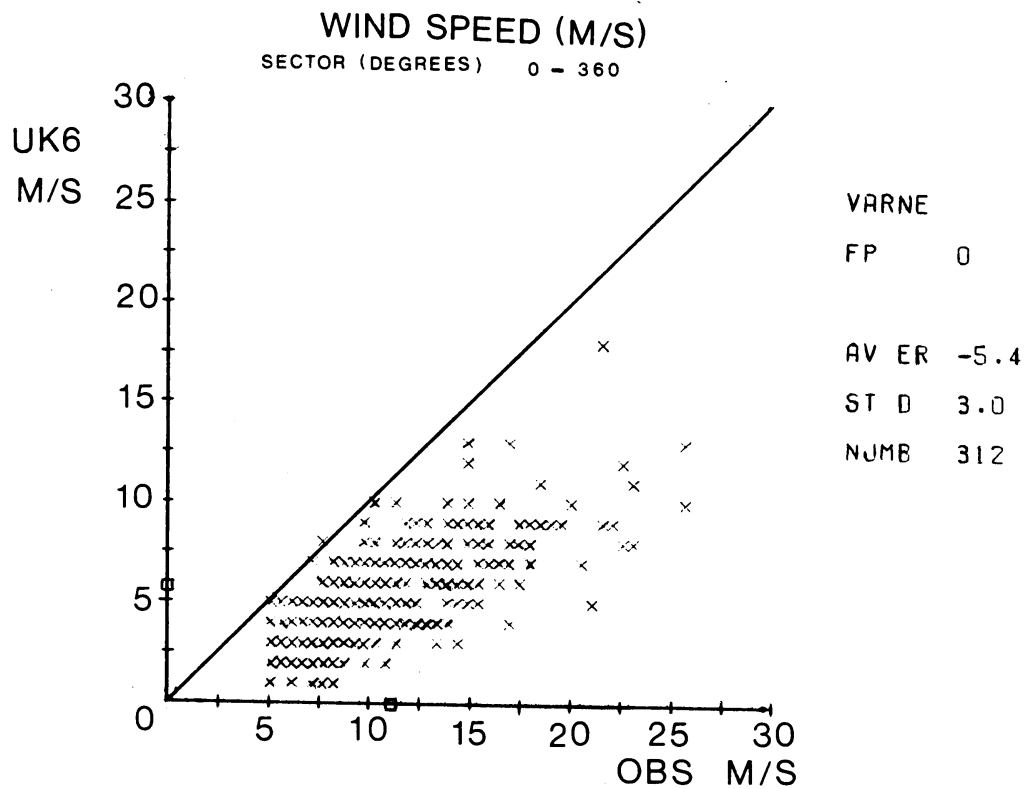


Fig. V.4      **vervolg**

In bijna alle stations is de bias in de analyse 1/2 tot 1 m/s lager dan in de daaropvolgende forecasts. Dit verschil is het grootst in de kuststations en in het Kanaal. Blijkbaar vertoont het analysesysteem van het Engelse fine mesh model enkele serieuze tekortkomingen.

Er deden zich ook al vóór de afgelopen winter problemen voor met de analyses in het fine mesh model. Dit wordt geïllustreerd door plots van de UK6-winden, geïnterpoleerd van het modelrooster rechtstreeks (en dus niet via het uitvoerrooster) naar de stations Hoek van Holland en Scarborough (Fig. V.5) voor de periode 14 t/m 16 januari '84. De figuren zijn geproduceerd door Rijkswaterstaat. De 12 en 24 uur waarden zijn afkomstig van analyses, de tussenliggende waarden zijn daaropvolgende forecasts. Duidelijk is te zien dat de verschillen onrealistisch groot zijn: voor Hoek van Holland blijken de geanalyseerde winden veel te laag, aan de overkant van de Noordzee te hoog.

Het is niet waarschijnlijk dat de afgelopen winter veel van zulke dramatische verschillen te zien heeft gegeven, gezien het feit dat de standaard deviatie niet wezenlijk verschilt tussen analyse en +3 forecast (Tabel V.1). Desondanks kan de grotere bias er wel degelijk de oorzaak van zijn geweest dat gebruik van UK6-analyses op 06 en 18 uur GMT om de begintoestand te updaten (zoals vermeld in hoofdstuk II) geen significante verbetering van de verwachte opzetten opleverde.

De kwaliteit van de forecasts tot 33 uur vooruit is, voor wat betreft de windsnelheden, erg goed. De gemiddelde fout is redelijk constant. De standaard deviatie neemt uiteraard toe, eerst langzaam, tegen het eind van de voorspeltermijn sneller, maar blijft alleszins acceptabel. Voor Channel en Varne geldt echter dat de standaard deviatie van begin tot eind vrijwel constant (hoog) is.

De afwijkingen in de windrichting in de analyses staan in Tabel V.2. De getallen voor de forecasts wijken hier niet veel van af. De UK6-winden langs de Nederlandse kust zijn gemiddeld teveel geruimd terwijl ze in het midden en noorden van de Noordzee gekrompen zijn t.o.v. de observaties. Dit laatste is vooral het gevolg van een onderschatting van de windrichting in de westelijke sectoren. Dit valt af te lezen uit Fig. V.6 waarin voor een aantal stations de richtingsfout in de geanalyseerde winden als functie van de geobserveerde windsector staat uitgezet. Tevens is de bijbehorende standaard deviatie grafisch aangegeven. Wederom zijn alleen de gevallen bekeken waarin de opgetreden winden minstens 5 m/s waren.

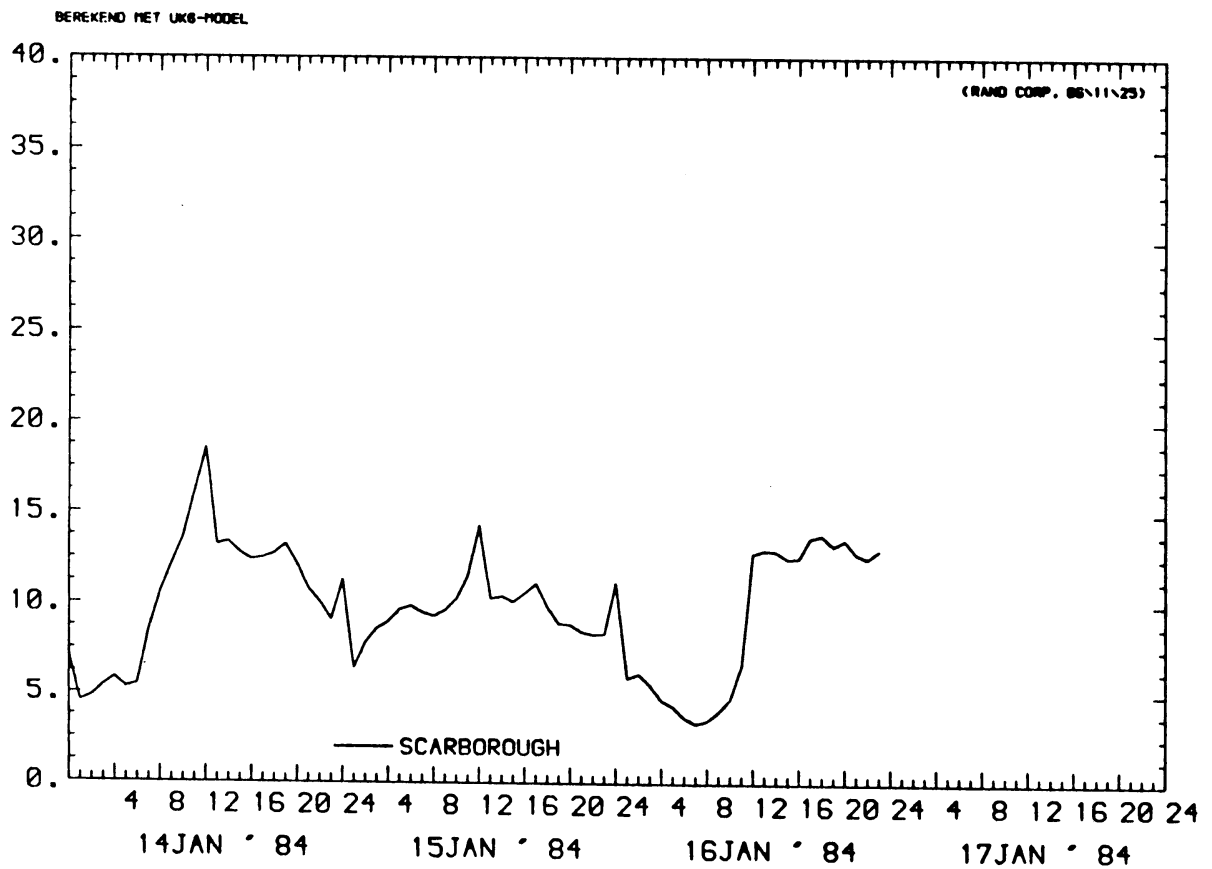
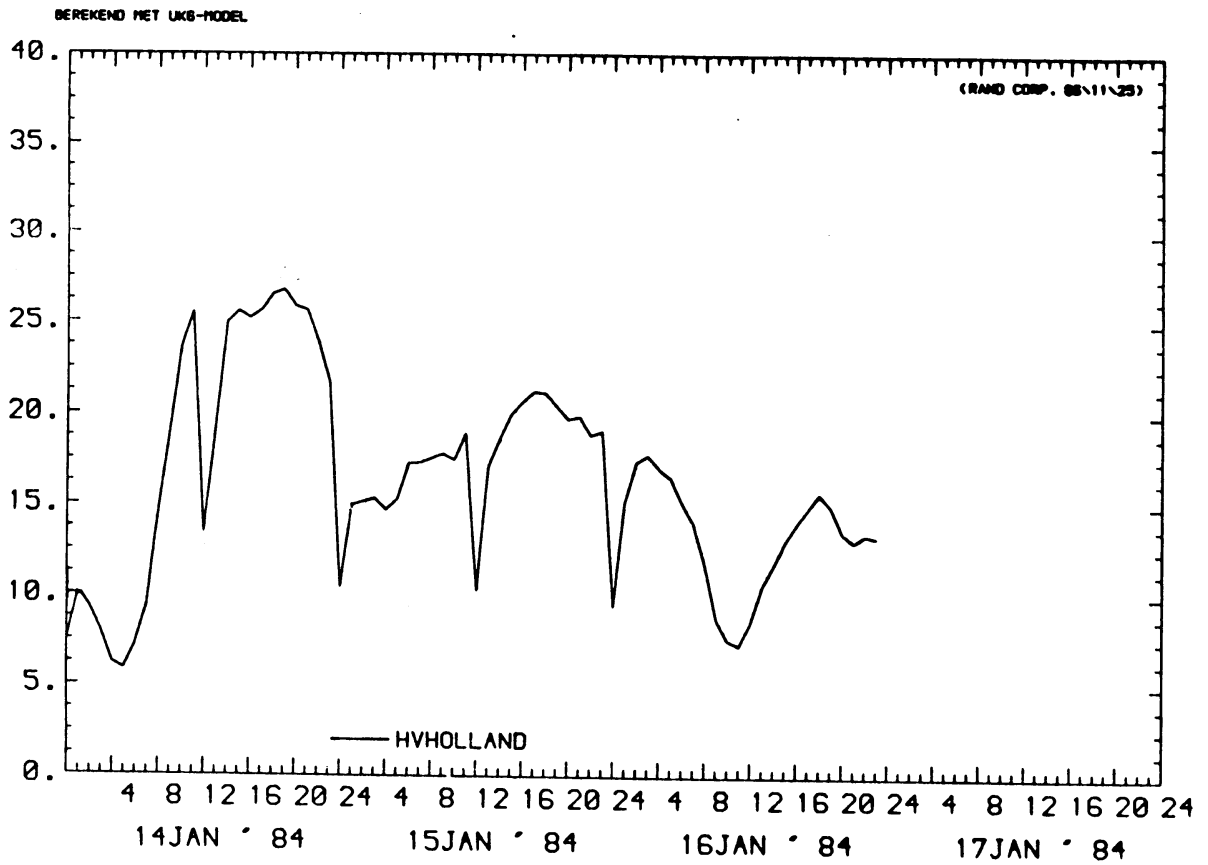


Fig. V.5 Fine mesh winden (op 0 en 12 uur analyses, daar tussenin forecasts) voor 14 t/m 16 januari 1984 voor Hoek van Holland (boven) en Scarborough (onder).

Als we er van uitgaan dat de waarnemingen in orde zijn (wat echter niet altijd zeker is, zie boven) dan kunnen we enkele dingen opmerken. Een positieve richtingsfout zou dan het gevolg kunnen zijn van het feit dat de UK6-winden afkomstig zijn van het onderste sigma niveau van het fine mesh model (ca 24 meter i.p.v. 10 meter). De richtingsfout boven open zee zou dan echter ook positief moeten zijn, zij het wat minder. Daarnaast zou het ook konsekventies moeten hebben voor de windsnelheid. Deze zou boven zee iets te groot moeten zijn. Dat dit zich niet manifesteert in de statistiek (zoals in Tabel V.1) kan veroorzaakt zijn door de verschillende roosterinterpolaties, in Engeland zowel als op het KNMI, die pieken in de windsnelheden afvlakken.

In Fig. V.6 valt verder op dat de kromme die ontstaat als we de punten die de gemiddelde richtingsfout aangeven met elkaar verbinden, een maximum lijkt te vertonen voor geobserveerde winden uit richtingen tussen noordoost en zuid, terwijl bij west tot noordwest het minimum ligt. Dit geldt voor zowel kust- als open zee stations. De richtingsfout in het Kanaal lijkt (alweer) meer random.

Voor wat betreft de Nederlandse kuststations valt dit patroon enigszins te verwachten. Bij oostelijke winden zijn namelijk de winden aan de kust meer beïnvloed door landeffecten dan bij westelijke winden. Oostenwinden zijn daarom meer gekrompen t.o.v. de isobaarrichting. Waarom dit patroon zich ook lijkt voor te doen boven open zee is niet duidelijk. Aan de standaard deviaties is te zien dat hier dit patroon echter veel minder significant is.

De standaard deviatie is het grootst in de sectoren rond noord. Dit zou (deels) het gevolg kunnen zijn van de aan het begin van deze paragraaf genoemde foutieve interpolatie van de model windrichtingen.

	bias(°)	stand dev(°)	aantal
Statfjord	-13	24	338
Auk	-8	21	220
K13	-2	26	273
Borkum	-2	20	339
IJmuiden	+12	21	316
EPF	+9	21	312
Varne	-4	27	312
Channel	-9	25	312

Tabel V.2 Windrichting afwijking in UK6-analyses over periode oktober '86 t/m april '87.



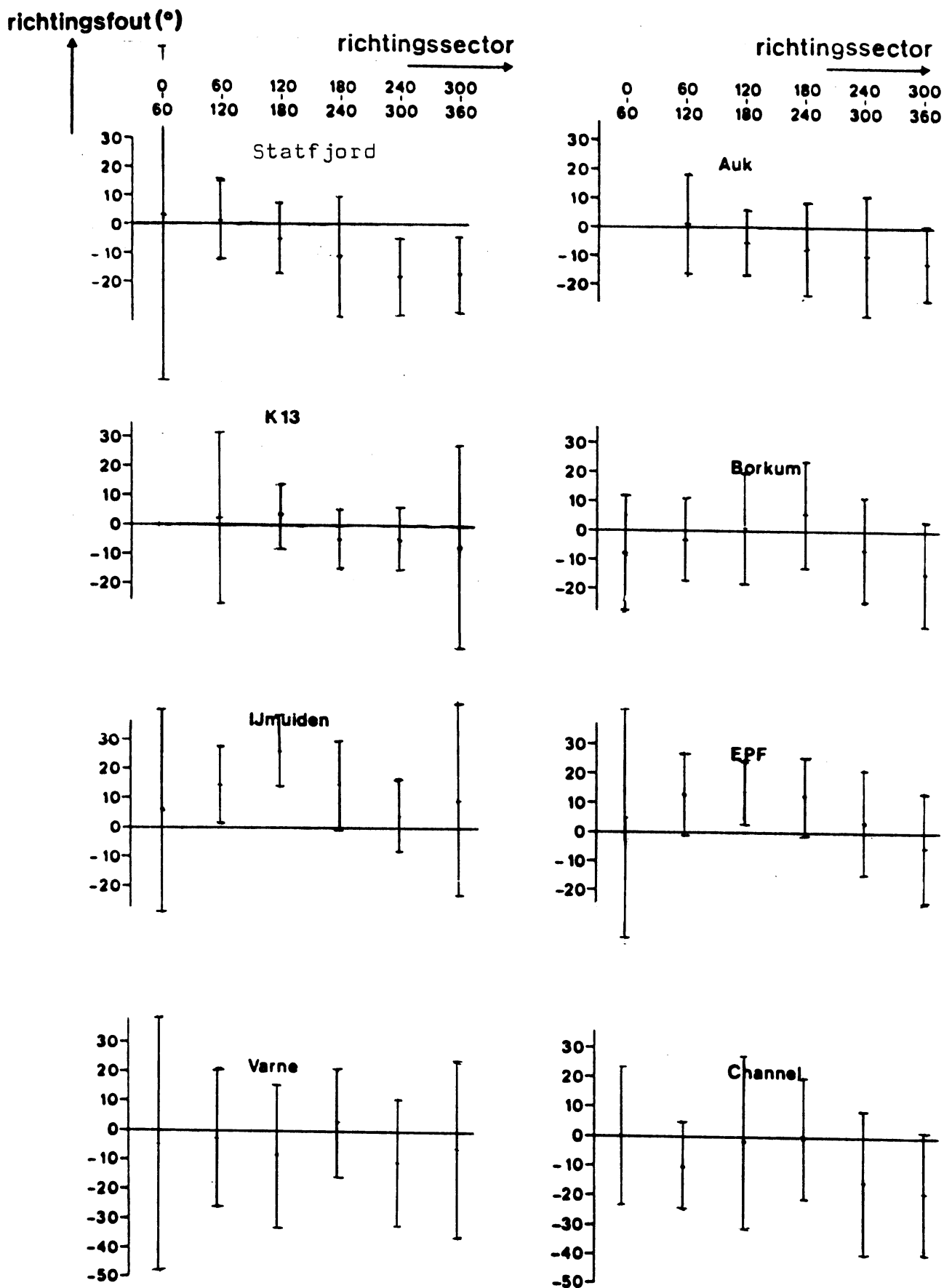


Fig. V.6 Gemiddelde richtingsfout en standaard deviatie (in graden) per richtingssector van de geanalyseerde UK6 winden  $\geq 5$  m/s over de winter '86/'87.

## VI. GECORRIGEERDE UK6-WINDEN

### VI.1 Inleiding

De Engelse fine mesh winden zijn in het algemeen zeer goed van kwaliteit; op dit moment lijkt het fine mesh model het beste model voorhanden voor een voorspeltermijn tot 36 uur (zie vorige hoofdstuk en referenties daarin). Als gevolg van de vertaling van deze winden (in Engeland) van het modelrooster naar het uitvoerrooster krijgt het KNMI echter voor de zuidelijke Noordzee te zwakke winden aangeleverd. Door gebruik van deze winden in de weerdienst en in bijvoorbeeld het waterstandenmodel was er dringend een oplossing nodig. Contact met het Met. Office heeft inmiddels al geresulteerd in een land- zee verdeling met een hogere resolutie, waardoor de kustlijn nu beter gerepresenteerd wordt (Floor, 1987). Hiervan mag slechts een kleine verbetering in de kwaliteit van de winden verwacht worden. Zoals gezegd is de grote bron van fouten gelegen in de interpolatie van model- naar uitvoerrooster. Een structurele oplossing is dan ook bij deze interpolatie ervoor te zorgen dat winden in de uitvoerpunten boven zee inderdaad zeewinden representeren. Ze mogen geen besmetting door landeffecten vertonen. Dit is bijvoorbeeld te verwezenlijken door gebruik te maken van gewichtsfactoren die bepalen in welke mate bepaalde punten van het modelrooster bijdragen bij de interpolatie naar het uitvoerrooster. Aan een dergelijke procedure werd in maart '87 gewerkt door het Met. Office (Floor, 1987). Invoering hiervan is in ieder geval vóór december '87 echter niet verwezenlijkt. Verificatie van de UK6-winden in de eerste maanden van de winter '87/'88 geeft namelijk nog steeds bovengenoemde tekortkomingen te zien (Riepma, pers. comm.).

De meest fundamentele oplossing zou natuurlijk zijn om voor de zuidelijke Noordzee de winden op het fine mesh rooster ( $0.75^\circ \times 0.9^\circ$ ) naar Nederland te halen. Dit blijkt om allerlei redenen echter niet mogelijk. Als tijdelijke uitweg uit bovengenoemde problemen heeft de auteur voorgesteld om langs de kusten de UK6-winden met een bepaalde factor te verhogen en ze boven open zee ongemoeid te laten. Dit biedt een aantal voordelen. Allereerst blijft de uitstekende kwaliteit boven open zee gehandhaafd. Deze is met alternatieve methoden, bijvoorbeeld windberekening uit drukvelden, niet zonder grote inspanningen te evenaren (vergelijk "Daanwinden"). Daarnaast wordt langs de kusten door ophoging van de wind in ieder geval een flinke stap in de goede richting gezet: door geschikte keuze van de factor kunnen de winden gemiddeld van dezelfde orde van grootte als de waargenomen winden gemaakt worden. Als

vermenigvuldigingsfactor is 1.15 genomen. Hierop komen we later terug. Aan de windrichtingen is niet gesleuteld. Zelfs langs de kust is de kwaliteit van de windrichting nog gelijkwaardig aan die van de uit luchtdrukken bepaalde Daanwinden. (Langs de kusten is uiteraard nog ruimte voor verbetering). De aldus behandelde fine mesh winden zijn in de wandelgangen korthedshalve "Kokwinden" genoemd naar analogie met de Daanwinden.

Een tweede voordeel was dat deze methode op zeer korte termijn in te voeren was. Er hoefde niet gewacht te worden op een actie van het Britse Met. Office noch op een verbeterde vertaalmethode van luchtdrukken naar grondwinden. Dit was van groot belang om voor het winterseizoen '87/'88 verzekerd te zijn van betere winden in de zuidelijke Noordzee en in het Kanaal, teneinde een betere wateropzetverwachting te kunnen leveren.

Inmiddels worden dan ook de Kokwinden in de operationele versie van het IOS model gebruikt (per 30-9-'87). De voorbereiding van de windvelden gebeurt buiten het wateropzetmodel in een apart programma dat de winden in exact dezelfde manier inleest als (na bewerking) wegschrijft, zodat in de toekomst zeer gemakkelijk de factor weggelaten (of veranderd) kan worden.

Met nadruk moet vermeld worden dat bovengenoemde procedure dus niets met tuning van het IOS model te maken heeft (slechts de input wordt realistischer). Integendeel zelfs. Met systematisch te lage winden langs de kusten kan een niet-getuned wateropzetmodel geen goede opzetten leveren. Een model dat hiertoe wel in staat is moet zodanig afgeregeld zijn (met alle gevaren van dien) dat de effecten van de onderschatting van de winden teniet gedaan worden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen gebeuren door de dragcoëfficiënt (die de impulsoverdracht van de atmosfeer naar het water bepaalt) bij te stellen. Omdat de problemen echter lokaal van aard zijn zou zo'n aanpassing van de dragcoëfficiënt in het hele gebied misschien goede verwachtingen voor de Nederlandse kust opleveren, maar te hoge opzetten geven boven open zee. Verstandiger is het daarom de meteorinvoer (en de fysica) zo goed mogelijk te beschrijven alvorens eventueel zijn toevlucht te nemen tot tuning.

De lokale ophoging moet dus gezien worden als een snelle, pragmatische methode die het belangrijkste minpunt van de UK6-winden in aanzienlijke mate wegneemt, zonder dat boven open zee de tol betaald wordt. Tenslotte moet gezegd worden dat de Kokwinden als tijdelijke oplossing dienen in afwachting van een structurelere remedie of van invoering van de LAM-winden (windstressen).

## VI.2 Methode en Verificatie

De windcorrectie is uitgevoerd op het uitvoerrooster, het rooster waarop de winden binnenkomen. Zoals eerder gemeld ondervinden de winden in alle uitvoerpunten langs de kust in meer of mindere mate een besmetting met landeffecten als gevolg van de transformatie van modelrooster naar uitvoerrooster. De mate waarin dit gebeurt hangt o.a. af van de afstand van dit punt tot de oorspronkelijke modelroosterpunten. Door de gebruikte transformatiemethode is dit echter niet meer eenduidig te kwantificeren. Daarom is gekozen voor een uniforme schatting voor de besmetting in de uitvoerpunten langs de kusten.

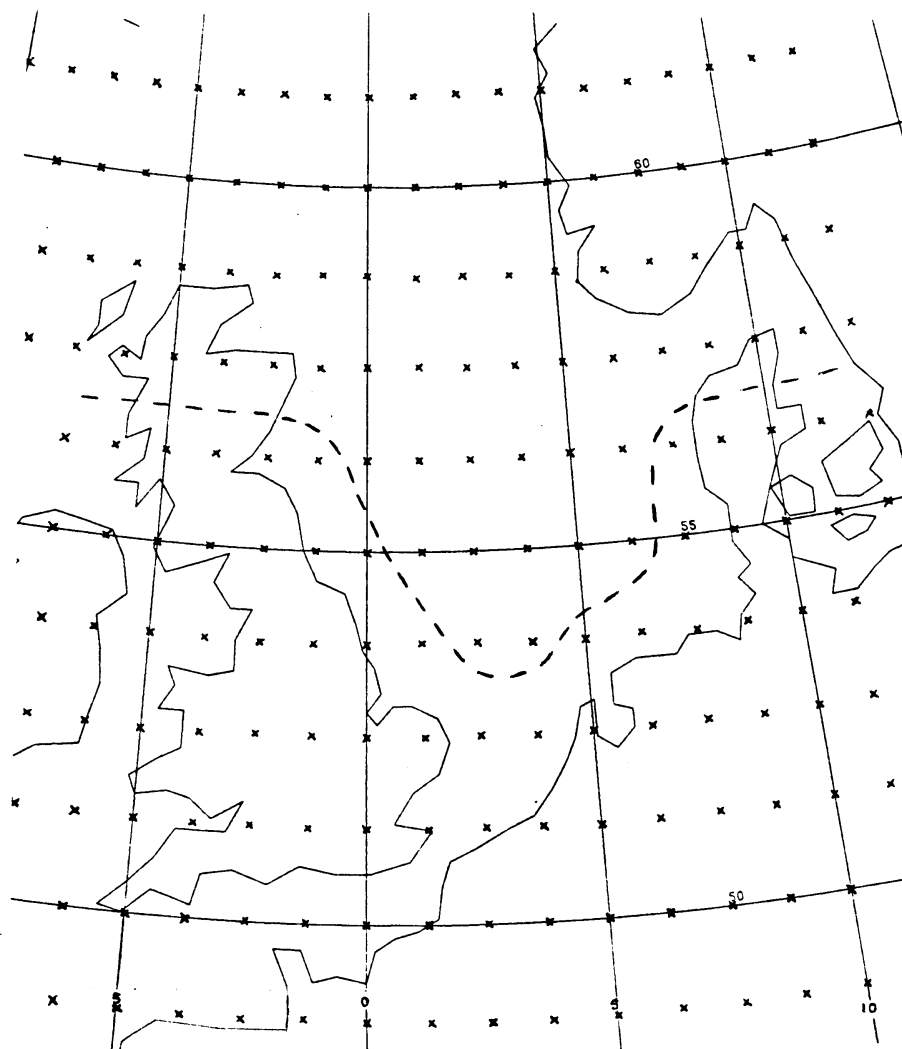


Fig. VI.1 Het "uitvoerrooster" in de zuidelijke Noordzee. Op punten ten Z van de stippellijn is de windsnelheid met 15% verhoogd.

Bij eenzelfde luchtdrukverdeling zijn de 10-meter winden boven land in het algemeen meer dan 20% zwakker dan boven zee (afhankelijk van onder meer stabiliteit). Omdat langs de kusten de punten zowel zee- als landinvloeden hebben is, als benadering, gekozen voor een opwaardering van de winden met 15%. Dit is gedaan in de uitvoerpunten ten zuiden van  $57^\circ$  NB die op minder dan een roosterpuntsafstand ( $1.25^\circ$ ) uit de kust liggen. Boven land is in dit gebied de correctie ook toegepast. De landpunten worden ook in de procedure betrokken omdat deze gebruikt worden bij transformatie van uitvoerrooster naar IOS-rooster. Dus in alle punten ten zuiden van de stippellijn in Fig. VI.1 zijn de winden in de uitvoerpunten met 15% opgehoogd. De windrichting is ongemoeid gelaten. Gezien het geringe effect van windophoging langs de kusten in de noordelijke Noordzee voor de opzetten langs de Nederlandse kust is alleen het gebied ten zuiden van  $57^\circ$  NB in de procedure betrokken.

Als gevolg van de interpolatie van het uitvoerrooster naar het IOS-rooster ( $1/2^\circ$  bij  $1/3^\circ$ ) vindt rond de stippellijn een geleidelijke overgang plaats van gecorrigeerde naar niet-gecorrigeerde winden.

Bovengenoemde Kokwinden zijn geverifieerd over dezelfde zeven maanden als de UK6-winden. De resultaten zijn weergegeven in Fig. VI.2. De Kokwinden staan links en zijn aangegeven met UK6\*, rechts staan de UK6-winden. De gemiddelde fout (simulatie minus observatie) en standaard deviatie staan tevens vermeld in de figuur (als "av er" en "st d" resp.). De gemiddelde observatie en simulatie staan als vierkantje op resp. de x- en y-as. Voor de posities van de stations zie Fig. V.3.

Langs de Nederlandse kust, in Europlat, IJmuiden en Borkum, zijn de winden aanmerkelijk verbeterd door de ophoging. De winden worden nog steeds iets onderschat in de analyse (FP=0). Dit geldt dus in mindere mate voor de forecasts (zie Tabel V.1). Station K13 bevindt zich in het overgangsgebied tussen wel en niet opgehoogde winden. In plaats van een lichte onderschatting treedt nu een lichte overschatting van de windsnelheden op. In het Kanaal (Varne en Channel) zijn de verbeteringen evident maar bij lange na niet toereikend. In alle andere in hoofdstuk V genoemde stations zijn de Kokwinden identiek aan de UK6-winden en zijn ze dus van zeer goede kwaliteit.

Uit de verificatie volgt dus dat de vermenigvuldigingsfactor van 1.15 een aanmerkelijke verbetering geeft langs de kust. Er kan eventueel overwogen worden om in de zuidelijke Noordzee een vermenigvuldigingsfactor te introduceren die afhankelijk is van de afstand tot de kust (nu uniform 15%). Bijvoorbeeld een 20% ophoging boven land en 10% ophoging langs de kusten boven

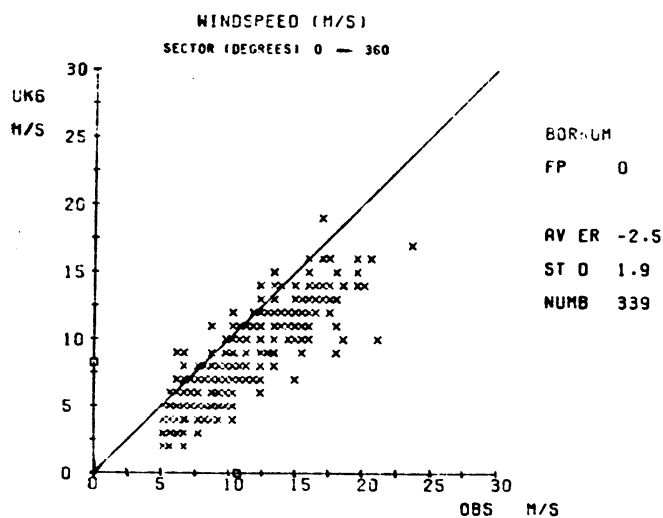
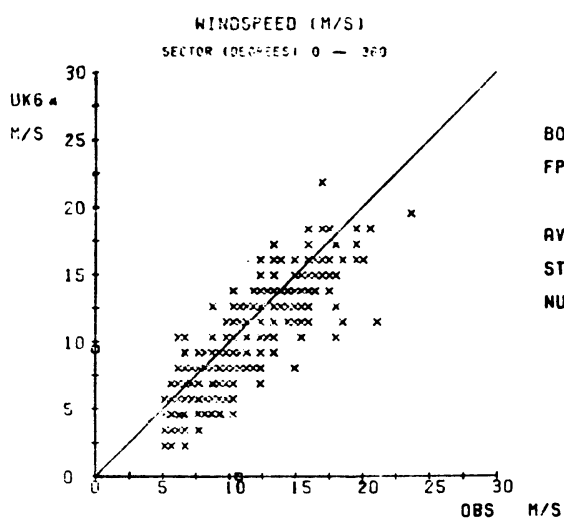
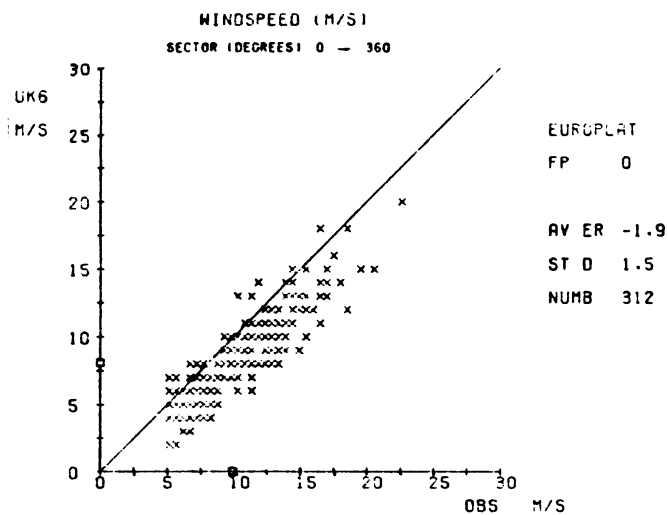
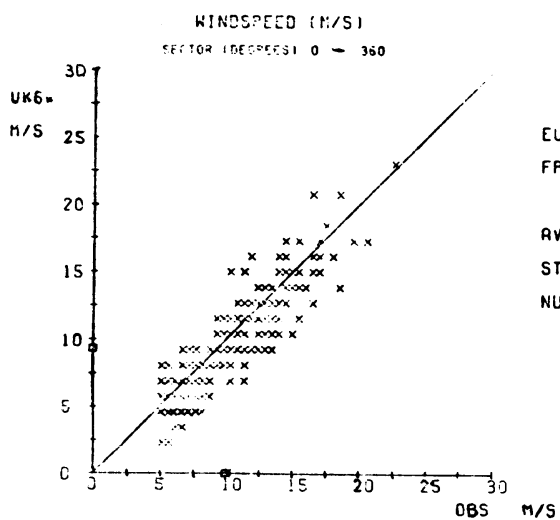
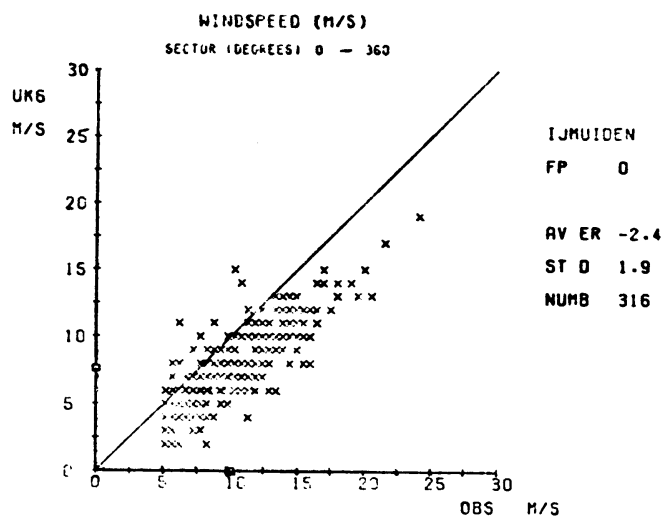
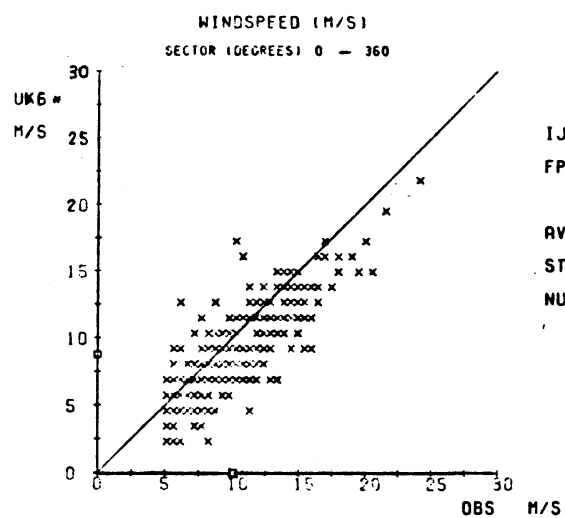


Fig. VI.2 Vergelijking tussen Kokwinden (UK6\*, links) en UK6 winden.

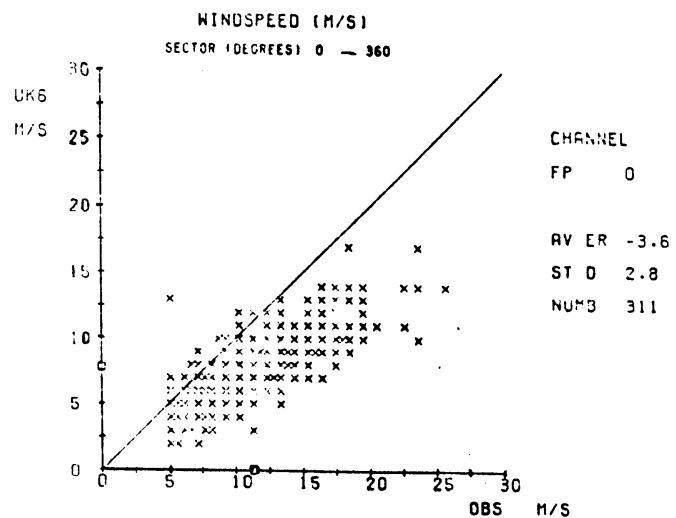
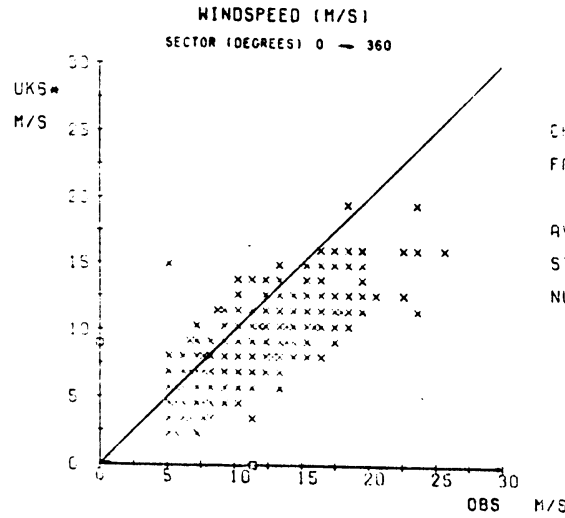
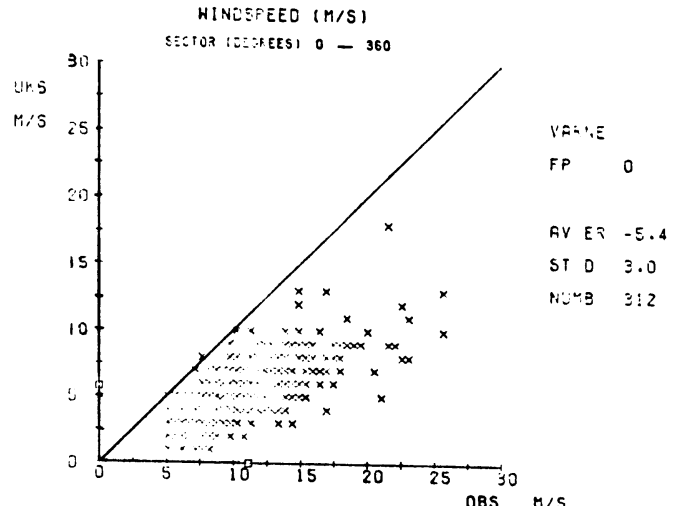
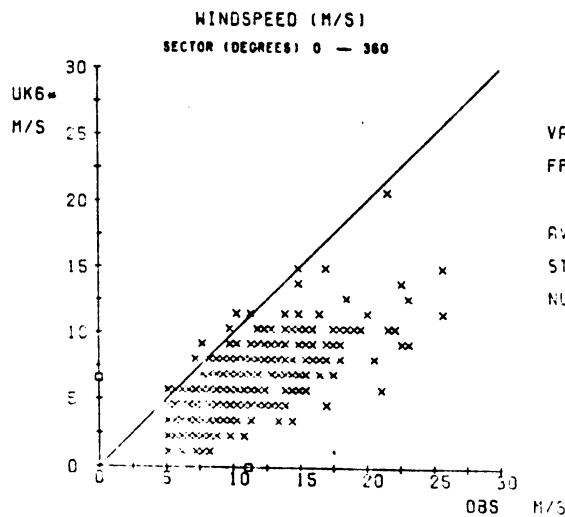
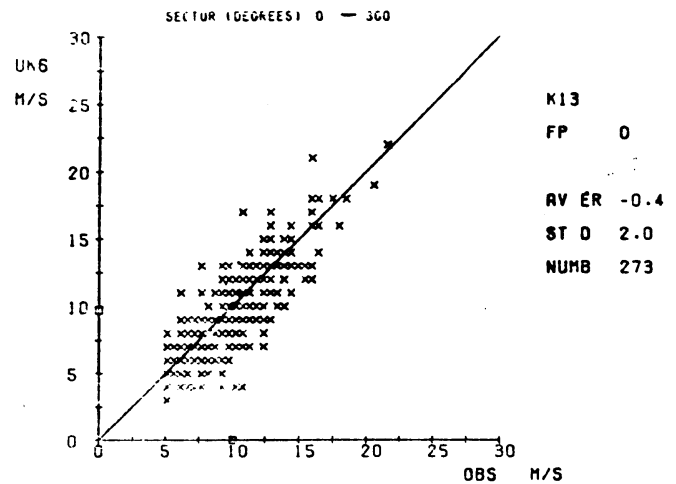
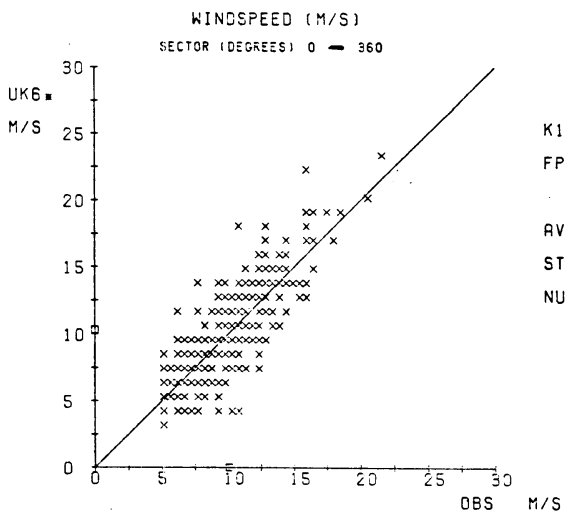


Fig. VI.2 vervolg

zee. De winden boven het Kanaal zouden nog veel meer opgehoogd kunnen worden. Hier is echter vooralsnog van afgezien omdat er geen duidelijke oorzaak voor de problemen is aan te geven en we dus niet zeker weten of in de toekomst de grove onderschatting van de winden blijft bestaan.

Tenslotte zou gedacht kunnen worden over een windrichtingsafhankelijke correctie. Gezien de tijdelijkheid van de gevolgde procedure is hier verder van afgezien.



## VII. WADDEN-/EEMSMOND CORRECTIE

Het is bekend dat vorm en diepte van de Waddenzee en Eemsmond van grote invloed zijn op de waterstand van (bijvoorbeeld) Harlingen en Delfzijl. Een grootschalig wateropzetmodel kan deze invloed niet goed beschrijven. Dit moet daarom gebeuren in de postprocessing via een apart modelletje. In het verleden werden hiervoor met veel succes de "tabellen van Timmerman" gebruikt (Timmerman, 1977). Deze zijn speciaal ontwikkeld voor het lineaire WBN model en hoeven dus niet a priori geschikt te zijn voor gebruik in niet-lineaire modellen. De tabellen geven een correctie op de berekende opzet in nabije roosterpunten van het WBN model als functie van de lokale windsnelheid en wind- of isobarenrichting. Helaas bleek dat toepassing van de tabellen in het IOS model geen bevredigende resultaten opleverde. Een mogelijke oorzaak hiervoor is dat de ligging van de modelroosterpunten ten opzichte van de meetstations anders is dan in het WBN model. Zo wordt in dat model de wateropzet in station Harlingen berekend door de correctie als gevolg van de wind ter plekke op te tellen bij de stand in het roosterpunt Den Helder. Het IOS model heeft evenwel een apart roosterpunt dat dichterbij Harlingen ligt.

Een principieel bezwaar tegen het gebruik van een ver weg gelegen roosterpunt is het volgende. Om een schatting van de scheve opzet op hoog- en laagwater te krijgen wordt in het WBN de berekende (per definitie) rechte opzet in het betreffende roosterpunt op het tijdstip van dit hoog- of laagwater gebruikt. Bij gebruik van een niet-lineair model moet de correctie uitgevoerd worden op de berekende scheve opzet in een naburig roosterpunt. Omdat de scheve opzet in het roosterpunt Den Helder tenminste enkele uren vroeger valt dan in het peilstation, ligt het voor de hand een roosterpunt dichterbij Harlingen te kiezen om een Waddencorrectie op toe te passen.

Een laatste mogelijk bezwaar tegen het gebruik van de Timmerman tabellen is het feit dat ze ontwikkeld zijn voor alleen de hoogwaters.

Voor details over het WBN model en de afleiding van de Timmerman tabellen wordt verwezen naar Timmerman (1977).

Om wat aan bovengenoemde problemen te doen is een begin gemaakt met de ontwikkeling van soortgelijke tabellen om het windeffect boven de Waddenzee en de Eemsmond te beschrijven. Hiertoe is gepoogd een verband af te leiden tussen de opzetten in Harlingen en Wierumergronden (WG) en tussen die in Delfzijl en Huibertgat (HG) als functie van de wind. De positie van de stations staat aangegeven in Fig. VII.1.

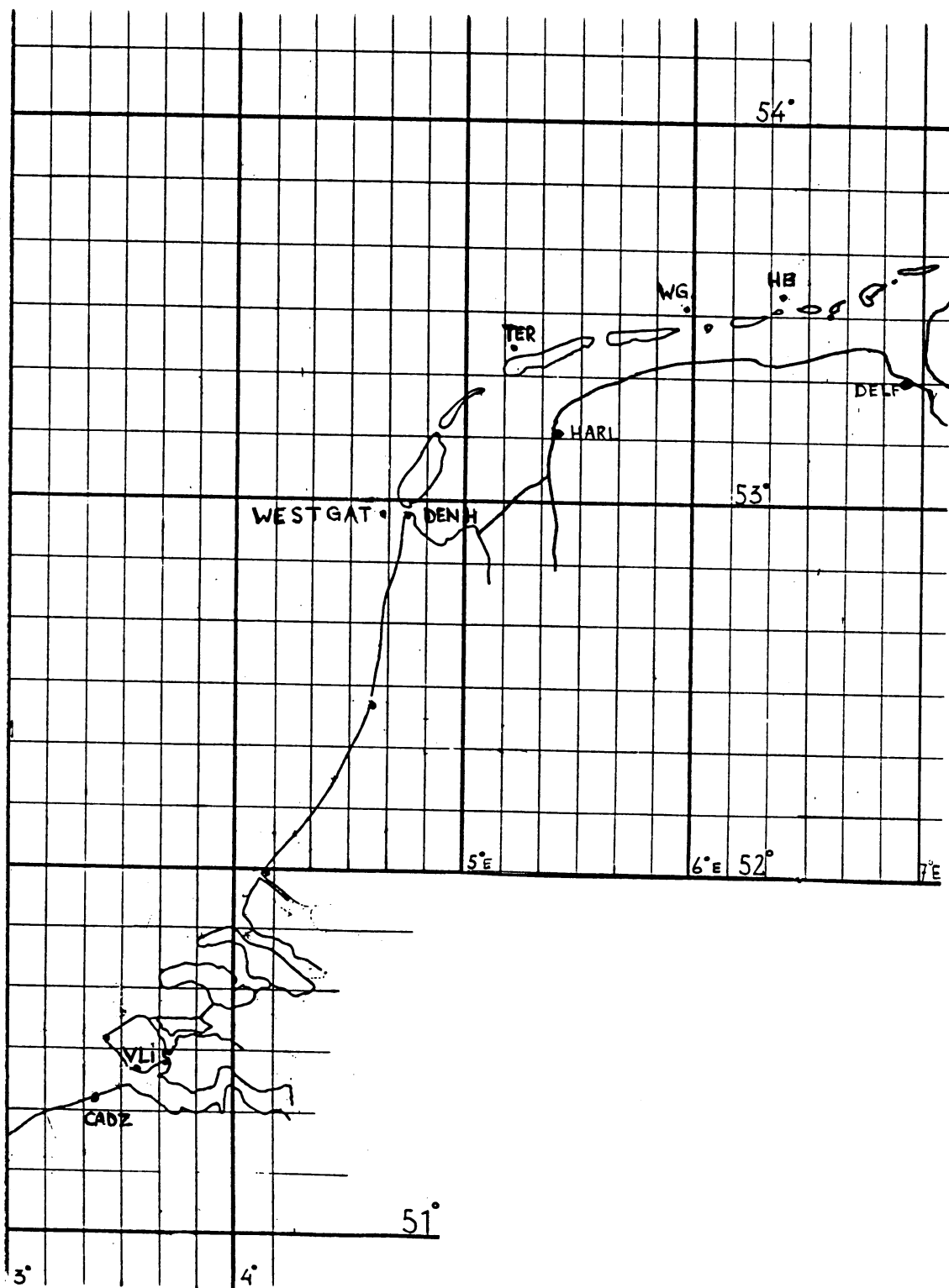


Fig. VII.1      Geografische posities van enkele binnen- en buitengaatse stations. Voor de afkortingen zie tekst.

De filosofie hierachter is de volgende. De "buitengaatse" stations Wierumergronden en Huibertgat ondervinden weinig of geen invloed van de geulen en ondieptes van de Waddenzee en de Eemsmond en hun opzet kan daarom goed vergeleken worden met die in naburige modelroosterpunten. Vergelijking van de opzet in een "binnengaats" station Harlingen of Delfzijl met die in een willekeurig buitengaats station (eventueel meerdere) levert een "vertaalslag" van buiten naar binnen die toegepast moet worden op het modelroosterpunt dat dichtbij het binnengaats station ligt. Deze vertaalslag verdisconteert de invloed van de zandbanken en geulen alsmede van de eilanden, met of zonder wind. Er wordt onderscheid gemaakt tussen eb en vloed.

Bovenstaande procedure is ook gevolgd voor Vlissingen en Cadzand.

De peilstations Wierumergronden en Huibertgat waren helaas de enige twee stations ten noorden van de Waddeneilanden die ons ter beschikking stonden. Met name voor Harlingen is de ligging hiervan niet ideaal; het station Terschelling Noordzee (TER in Fig. VII.1) zou te prefereren zijn geweest. De gebruikte data zijn uurlijkse waargenomen waterstanden alsmede uurlijkse astronomische getijvoorspellingen voor zowel binnen- als buitengaats stations over de periode november '86 t/m januari '87. Met behulp hiervan werd allereerst een schatting van de scheve opzet voor alle stations berekend. Als gevolg van het feit dat de gegevens slechts uurlijks zijn kan de berekende scheve opzet gemakkelijk één à twee decimeter afwijken van de werkelijk gemeten opzet. Hierdoor geven de hieronder beschreven figuren een grote spreiding te zien. Dit is echter van weinig invloed op de resultaten.

In Fig. VII.2 zijn de scheve opzetten te Delfzijl (DLF) en Harlingen (HRL) uitgezet (hor. as) tegen het verschil in opzet tussen deze stations en de buitengaats stations Huibertgat en Wierumergronden respectievelijk. Er is onderscheid gemaakt tussen hoogwaters (HT), en laagwaters (LT). Hetzelfde is gedaan voor Vlissingen (VLS) en Cadzand (CD). In deze figuren staat tevens de kleinste kwadratenlijn aangegeven. Aan de helling van deze lijnen is te zien dat, zoals verwacht, de binnengaats scheve opzetten extremer zijn dan de corresponderende buitengaats. Dit geldt zelfs in geringe mate voor de opzet in Vlissingen ten opzichte van die in Cadzand als gevolg van het locale effect van de Westerschelde.

Bijna alle regressielijnen gaan min of meer door de oorsprong, er op duidend dat bij geen opzet in het hoofdstation er gemiddeld gezien ook geen opzet in het buitengaats station optreedt. Dit geldt echter niet bij laagwater voor Harlingen t.o.v. Wierumergronden. Bij geen opzet te

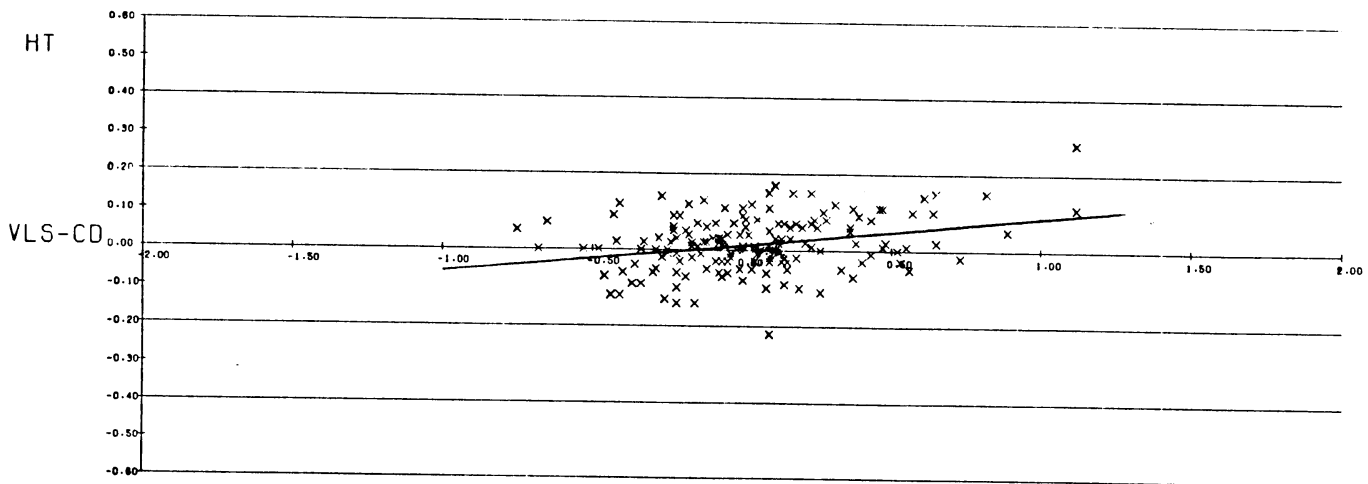
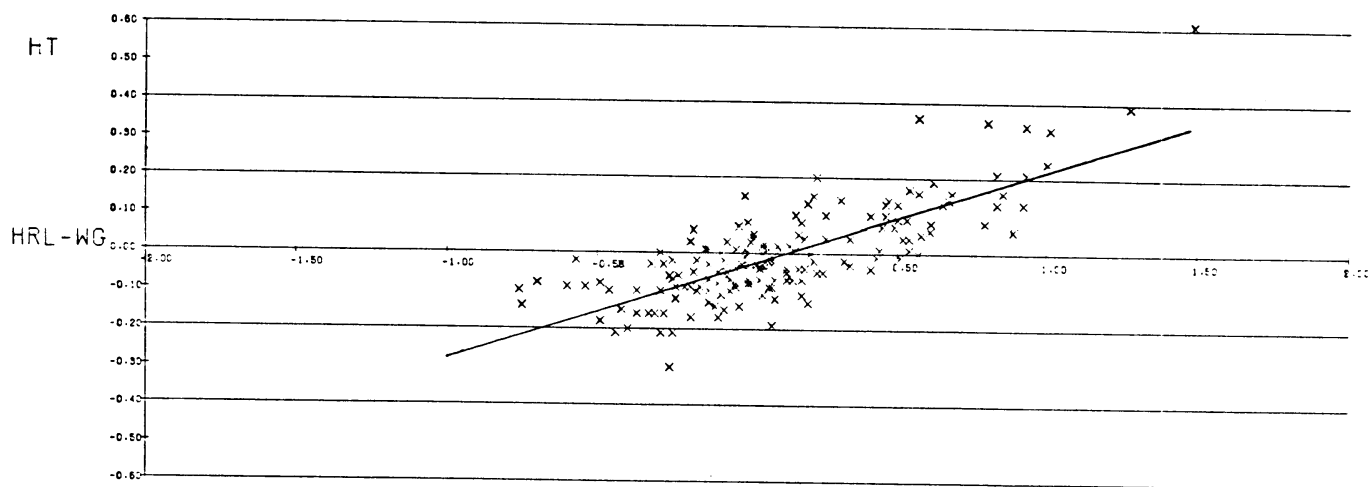
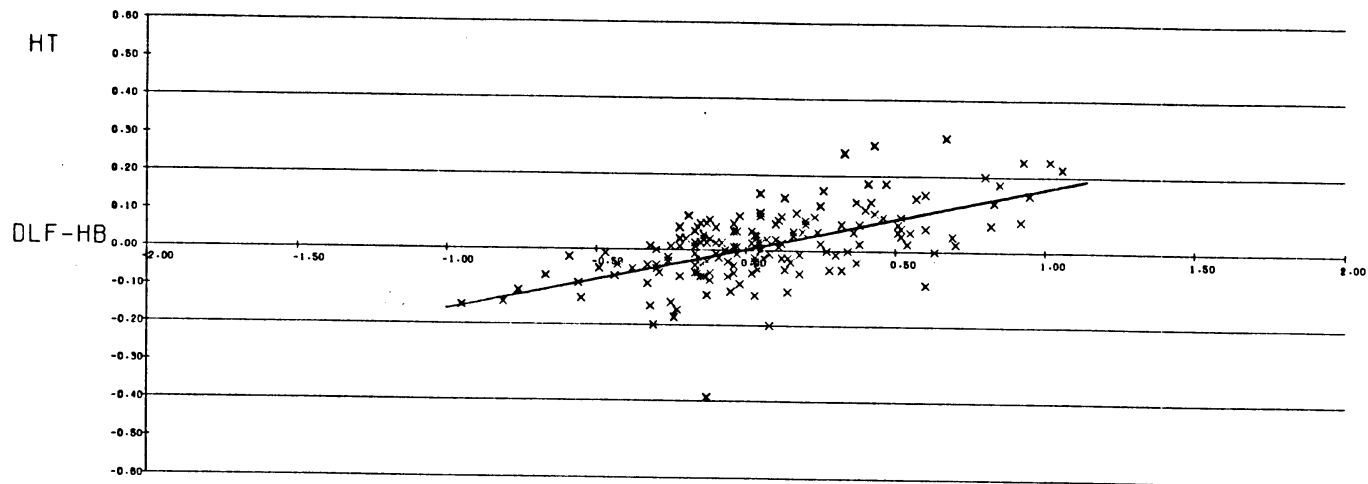


Fig. VII.2 Verband tussen scheve opzet binnengaats station (x-as) en scheve opzet binnen- minus scheve opzet buitengaats station (y-as) voor hoogwater (HT) en laagwater (LT). Voor posities stations zie Fig. VII.1.

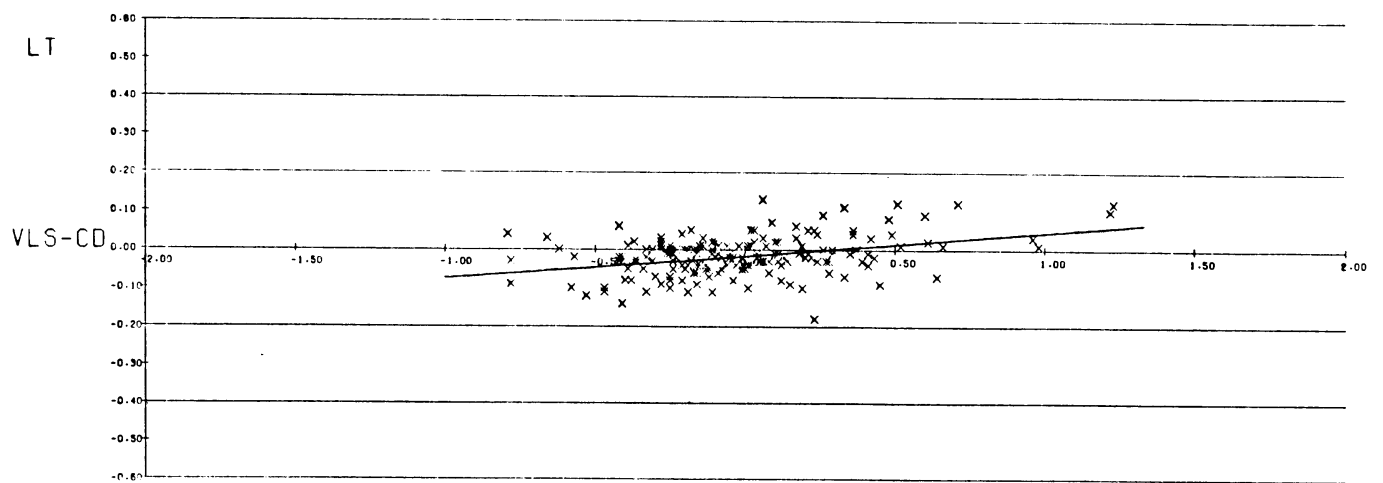
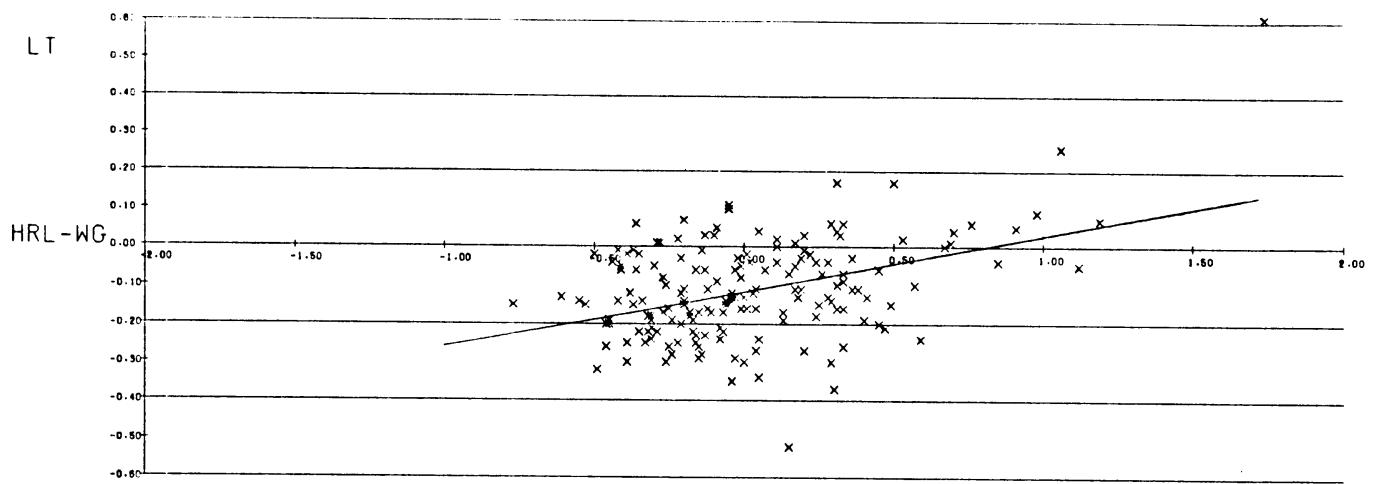
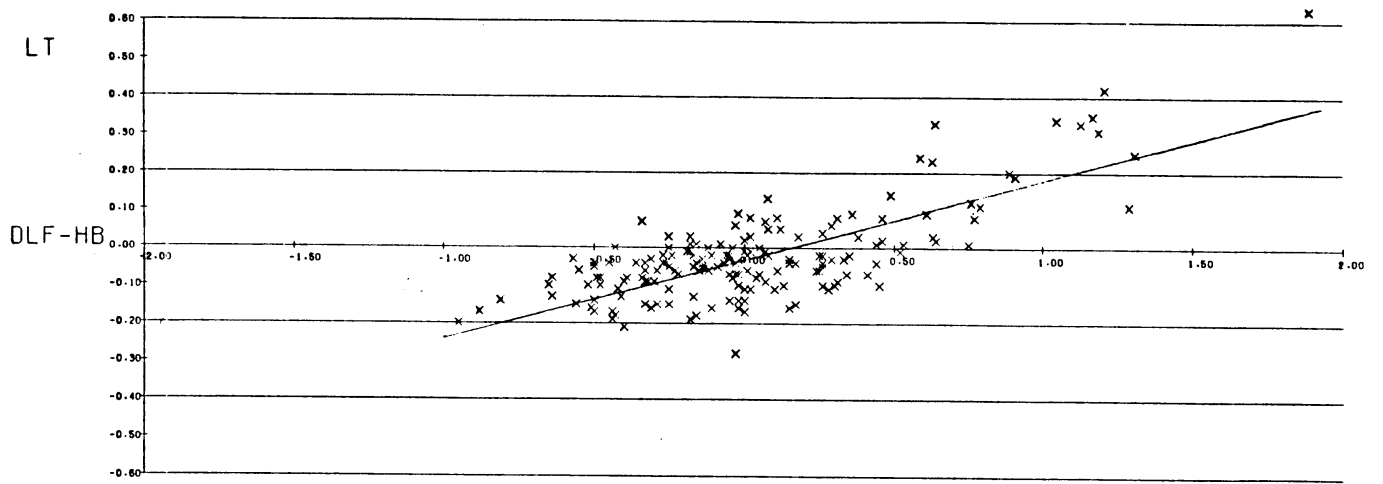


Fig. VII.2 vervolg

Wierumergronden, bijvoorbeeld bij windstil weer, blijkt het laagwater in Harlingen gemiddeld 10 centimeter lager te zijn dan in het buitengaatse station. Een oorzaak hiervoor valt niet gemakkelijk te geven. Mogelijk ligt een fout in het astronomisch getij in één van beide stations hieraan ten grondslag. (Als dit het geval is voor alleen Harlingen dan wordt bij gebruik van onze Waddencorrectie hiervoor automatisch deels gecompenseerd). Zie ook hoofdstuk VIII.1.

Ook is de spreiding in de verschillen tussen binnen- en buitengaatse opzet voor het laagwater in Harlingen veel groter dan in de andere gevallen. Een oorzaak hiervoor zou kunnen zijn de grote afstand tussen de twee meetpunten (ofwel het grote tijdsverschil tussen de vergeleken opzetten). Gezien het feit dat de spreiding bij hoogwater veel minder is, is het waarschijnlijker dat de oorzaak gelegen is in het grote effect van de ondieptes en zandbanken in de Waddenzee op de opzet in Harlingen bij laagwater.

Bovenbeschreven verschillen tussen binnen- en buitengaatse scheve opzet zijn gecorreleerd met de windsnelheidscomponenten in de omgeving op tijdstippen van de betreffende hoog- en laagwaters. We hebben een verband verondersteld dat evenredig is met  $u|u|$  en  $v|v|$ . Dit leverde in alle gevallen significante correlaties op. Uitbreiding van het materiaal met nog drie wintermaanden gaf kwalitatief dezelfde verbanden te zien en was geen reden om de coëfficiënten te herzien.

De correcties voor de opzet (in cm) zien er als volgt uit (u en v in m/s):

	HW	LW
HARL	$-5.6 + 0.10u u  - 0.05v v $	$-16.2 + 0.07u u  + 0.04v v $
DELF	$2.2 + 0.04u u  - 0.14v v $	$-4.2 + 0.09u u  - 0.12v v $
VLIS	$0.4 + 0.03u u $	$-2.7 + 0.02u u  - 0.01v v $

Benadrukt dient te worden dat de relaties afgeleid zijn uit waargenomen verschillen in opzet binnen en buiten de Wadden met behulp van waargenomen winden. Ze zijn dus ontwikkeld zonder tussenkomst van het IOS model en worden slechts toegepast als vertaalslag achteraf om modeloutput te vertalen naar representatieve waarden voor de kuststations. In tegenstelling tot wat in Timmerman (1988) geïnsinueerd wordt zijn de relaties dus ontwikkeld op onafhankelijk materiaal. Daarnaast zijn de relaties (nog) niet aangepast om

voor het model zo gunstig mogelijke resultaten te verkrijgen. Zo'n tuning zou in principe legitiem zijn om systematische modelfouten te elimineren.

Toepassing van bovenbeschreven Wadden- en Eemsmoondcorrectie bleek in het IOS model betere resultaten op te leveren dan de tabellen van Timmerman. Dit was zowel voor Harlingen als Delfzijl het geval. Er is niet onderzocht of en in welke mate dit veroorzaakt werd door de uitbreidingen ten opzichte van de Timmerman tabellen, die in principe alleen voor hoogwater bestemd zijn. Onze correcties zijn verschillend voor eb en vloed en kunnen ook bij windstil weer ongelijk nul zijn.

Benadrukt moet verder worden dat de gevonden correcties slechts gezien moeten worden als een eerste stap naar de ontwikkeling van vertalingen van roosterpuntswaarden naar waarden voor de kuststations. In deze vertaalslagen kunnen alle locale invloeden die niet door een grootschalig model beschreven kunnen worden, verdisconteerd worden. Een mogelijke verbetering is misschien het aannemen van een meer fysische relatie tussen locale wind en het opzetverschil tussen binnen- en buitengaatse stations. Gedacht kan worden aan de windstress in plaats van aan de bovenbeschreven (hier weinig van afwijkende) kwadratische afhankelijkheid van de wind<sup>1</sup>.

Een andere belangrijke uitbreiding ligt in de keuze van de buitengaatse stations voor de ontwikkeling van vertaalslagen. Zoals gemeld ligt voor Harlingen het station Terschelling Noordzee veel meer voor de hand. Verder kan gedacht worden aan een soortgelijke analyse voor het station Den Helder met behulp van het buitengaatse station Westgat (zie Fig. VII.1).

1) Inmiddels is hiertoe een eerste aanzet gegeven door Riepma (1988) voor het station Delfzijl. Helaas is bij de ontwikkeling van zijn correctie voor Harlingen gebruik gemaakt van het meetpunt West-Terschelling dat "binnengaats" ligt, zodat slechts een deel van het Waddeneffect wordt beschreven.

## VIII. IOS VERIFICATIE

### VIII.1 Mogelijke oorzaken van foute verwachtingen

Alvorens over te gaan tot de verificatie van (scheve ) opzetten een korte (onvolledige) opsomming van mogelijke oorzaken van verschillen tussen opgetreden en voorspelde opzetten. Deze kunnen globaal in drie categorieën onderverdeeld worden.

De eerste categorie bestaat uit effecten die te kleinschalig zijn om door een grootschalig dynamisch model te kunnen worden beschreven. Een belangrijk voorbeeld hiervan is natuurlijk de Waddenzee en de Eemsmond en in mindere mate de Westerschelde, die door hun vorm, afmeting en diepte de waterstand sterk kunnen beïnvloeden. Maar ook voor andere stations, zelfs boven open zee, kunnen locale effecten een rol spelen. Dit is vooral het geval bij het voorkomen van geulen en zandbanken. Ook kunnen deze aanleiding geven tot allerlei resonanties. Een parametrisatie in de vorm van een vertaalslag (analoog aan die beschreven in hoofdstuk VII) kan slechts het gemiddelde effect beschrijven. Ook de meteoforcering kan een te kleinschalig en onvoorspelbaar karakter hebben. Een goed voorbeeld hiervan zijn zware buien of buienlijnen. Deze kunnen gemakkelijk enkele decimeters extra opzet geven. Verkleining van de roosterpuntsafstand zou voor deze categorie enig soelaas kunnen bieden.

Een tweede categorie betreft meteo- en modelfouten die in principe niet gerelateerd zijn aan de roosterpuntsafstand. Te denken valt hierbij aan de 2-dimensionale beschrijving van een 3-dimensionaal probleem, of aan een foute beschrijving van impulsoverdracht naar de waterkolom, bijvoorbeeld door het gebruik van de 10-meter wind in plaats van een echte windstress, of door een foute  $c_D$  coëfficiënt. Deze dragcoëfficiënt bevat tevens het geparametriseerde effect van de golfhoogte (wave setup) op de wateropzet. Daarnaast wordt deze coëfficiënt op het ogenblik vaak gebruikt om allerlei tekortkomingen in het totale voorspelsysteem (van model tot en met windinvoer) "weg te parametriseren". Er zijn dan ook meerdere  $c_D$ -profielen in omloop. Wij hebben onlangs (per 15 oktober '87) het internationaal meest gehanteerde profiel aangenomen. Dit profiel kwam onlangs op het Waterloopkundig Laboratorium als beste naar voren bij toepassing in het WAQUA wateropzetmodel. Hierbij moet



echter wel opgemerkt worden dat het nogal afwijkende, windrichtingsafhankelijke  $c_D$ -profiel dat gebruikt wordt in het WBN model niet in dit onderzoek was betrokken.

Tot deze categorie kunnen ook fouten in de begintoestand (waterhoogte en stroming) gerekend worden. Deze kunnen het gevolg zijn van het missen van een external surge, maar ook van een verkeerde wind- en/of drukvoorspelling. Het wateroppervlak zal hierdoor "verkeerd komen te staan" en zal bij nieuwe invoer slechts langzaam oude invloeden kwijtraken. Snellere update van de meteo situatie kan dit probleem verhelpen. In de huidige situatie wordt om de 12 uur geupdate wat in sommige gevallen volstrekt onvoldoende is. (Update om de 6 uur door gebruik van de 06 en 18 uur analyses uit Engeland leverde geen betere resultaten op, zie hoofdstuk VI en II). Daarnaast komt het wel eens voor dat we niet of niet op tijd de beschikking hebben over Engelse winden. In zo'n geval wordt bij de volgende run als beginsituatie de +24 forecast van een dag eerder gebruikt. Hoewel dit dan de best beschikbare toestand van de Noordzee is levert het flinke fouten op die soms nog een dag lang merkbaar zijn. In de winters '86/'87 en '87/'88 (t/m januari) is het in totaal tien maal voorgekomen dat de winden en/of drukken niet op tijd binnenkwamen. (Begin '87 zelf 4 maal achtereen). Opvallend is wel dat juist bij sterke stormen de binnenkomst twee maal is misgegaan.

De problemen met de meteorologische update en beschikbaarheid zullen grotendeels de wereld uit zijn met de invoering van het LAM atmosfeermodel. Tevens is er in het in de toekomst in te voeren WAQUA wateropzetmodel voorzien in de mogelijkheid tot data-assimilatie om te allen tijde verzekerd te zijn van optimale begin- en randvoorwaarden.

Een derde -onderschatte- categorie van bronnen van fouten wordt gevormd door fouten in de observaties. Het huidige procedé is dat de actuele waterstand voor een groot aantal stations op het KNMI binnenkomt op beeldscherm (vroeger via penschrijvers). Deze kan in cm's nauwkeurig afgelezen worden. De eb- en vloedstand wordt vervolgens op lijsten ingevuld. Hierna wordt de astronomische getijwaarde er van afgetrokken en het resultaat is de (scheve) opzet. Bij deze berekening worden echter heel wat fouten gemaakt. Bij een steekproef over een drietal maanden bleek ruim 3% van de zo verkregen opzetobservaties verkeerd te zijn. Deze fouten, meestal niet meer dan enkele centimeters, hebben in het algemeen niet veel effect op de gemiddelde berekende fout in de opzet; ze beïnvloeden wel de standaard deviatie nadelig. Bij automatisering van de opzetberekening en -verificatie zal dit soort fouten

86100700

x OBS OPZET  
△ SIM +12  
□ SIM +24

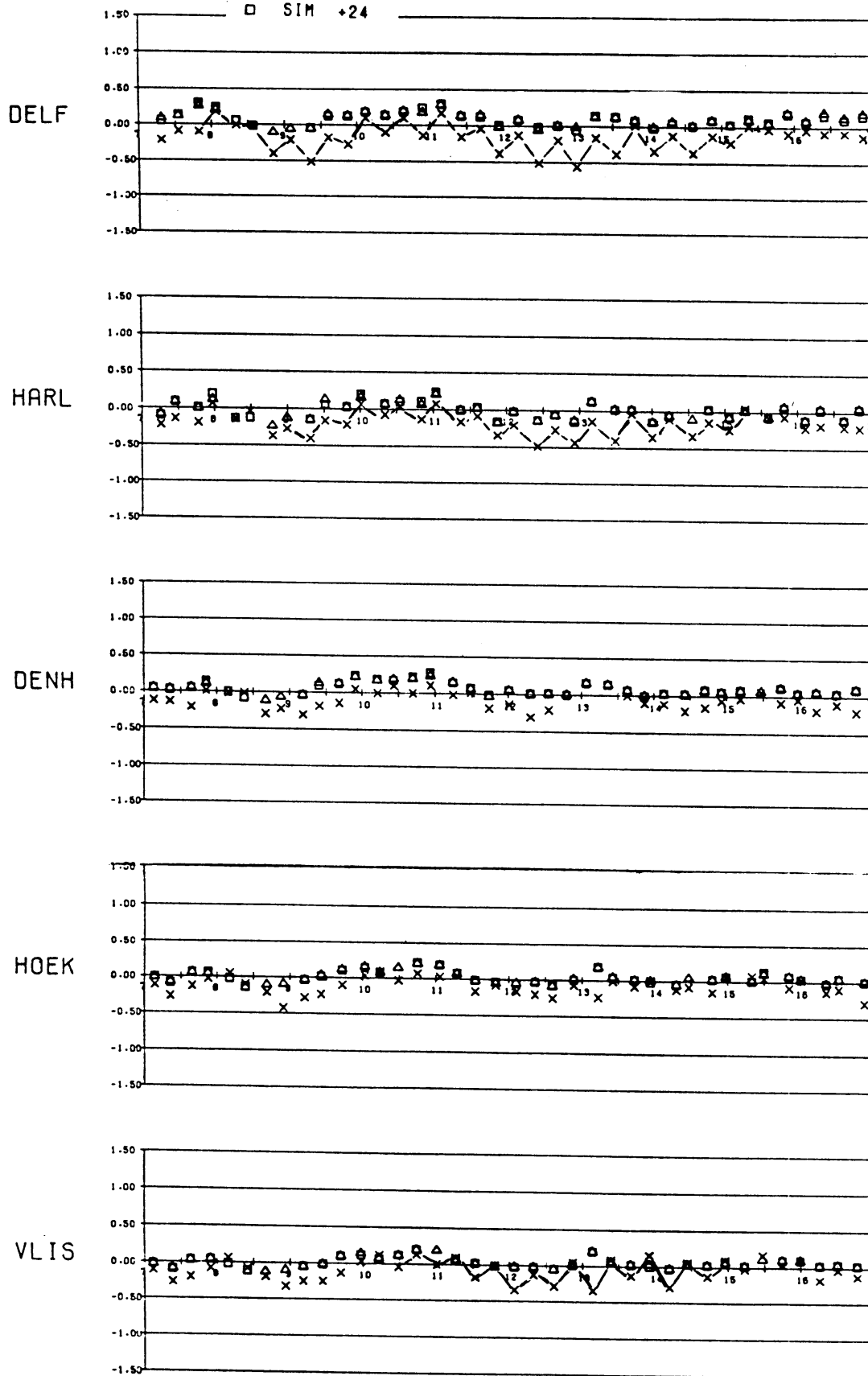


Fig. VIII.1 Geobserveerde opzet (kruisjes) in de 5 hoofdstations van 7-10 t/m 16-10-'86.

tot het verleden behoren.

Maar de belangrijkste component in deze categorie is misschien wel de fout in de berekening van het astronomisch getij. Het zijn deze waarden ten opzichte waarvan de geobserveerde opzet gedefinieerd is. Bij bestudering van tijdreeksen van geobserveerde scheve opzetten is gebleken dat er soms vreemde waarden voorkomen. Zo is in Fig. VIII.1 voor een aantal Nederlandse kuststations een serie observaties te zien (kruisjes) in een periode met weinig wind tussen 10 en 16 oktober 1986. Duidelijk is te zien dat de observaties systematisch verschillen tussen de hoog- en laagwaters. De opzetten op laagwater zijn 2 à 3 decimeter lager dan op hoogwater. Omdat dit voorkomt bij weinig of geen wind en opzet moet dit verschil in ieder geval deels toegeschreven worden aan een te hoog voorspelde astronomische stand voor de laagwaters. Dit fenomeen doet zich niet over de hele maanmaand voor, maar lijkt een frequentie te hebben van ongeveer 14 dagen (zie appendix). De getijmeteoroloog houdt hier in principe rekening mee in zijn opzetverwachting (Donker, pers. comm.). Daarom wordt de modeloutput hiervoor niet gecorrigeerd.

## VIII.2 Opzet verificatie

In deze paragraaf zal een overzicht gegeven worden van de performance van de huidige IOS modelversie. Deze is operationeel geworden op grond van de hier te presenteren resultaten van een rerun over het winterseizoen '86/'87. De toen operationele versie wordt hier "IOS old" genoemd. De nieuwe IOS versie is met grote vertraging stapsgewijs ingevoerd.

De verschillen tussen de twee IOS versies zijn de volgende (in willekeurige volgorde). De datum van operationele invoering is tussen haken bijgevoegd.

- andere dragcoëfficiënt (vanaf 15-10-'87). Het oude Heaps profiel is vervangen door dat van Smith & Banke (beschreven in hoofdstuk II).
- Waddencorrectie (vanaf 29-1-'88), zoals beschreven in hoofdstuk VII, was afwezig in de oude operationele versie.
- windinterpolatie afwezig in de oude versie; nu wordt lineair geïnterpoleerd van 3-uurlijkse velden naar uurlijkse (vanaf 15-10-'87).
- een ander roosterpunt voor Hoek van Holland (vanaf 16-10-'87)
- modelgetij uitgebreid van vier naar zes componenten (vanaf 1-10-'87), zie hoofdstuk IV. (Daarnaast toegepast op iets ander rooster langs open rand van

integratiegebied).

- windinvoer afkomstig van Engelse fine mesh model in smalle zone langs de kusten met 15% opgehoogd (Kokwinden; vanaf 30-9-'87).
- de gepresenteerde getallen in onderstaande tabellen (maar ook operationeel) zijn in de oude IOS versie rechte opzetten en in "IOS" scheve opzetten (operationeel vanaf 29-1-'88).

Na de invoering van de eerste IOS versie is het WBN model geschikt gemaakt om te draaien op UK6-winden. Hiermee is dezelfde periode gehindcast. De resultaten (overgenomen uit Timmerman, 1987) zijn ook weergegeven. Alle drie modellen zijn dus aangedreven met UK6-winden. Het niet-lineaire IOS model leverde tot het seizoen '87/'88 rechte opzetten in de telexuitvoer met daarnaast tijdreeksen voor de rechte opzet. Hieruit kon de meteoroloog een schatting voor de scheve opzet afleiden. Naar verluid gebeurde dit slechts zelden (evenals het met de hand bijvoegen van de Waddencorrectie). De in deze paragraaf gegeven getallen voor deze IOS versie, "IOS old" genoemd, zijn dan ook gebaseerd op rechte opzetten. De gepresenteerde getallen voor "IOS" zijn gebaseerd op scheve opzetten. Beide IOS versies zijn in geen enkel opzicht getuned.

De resultaten voor de vijf hoofdstations over de periode 7 oktober '86 t/m 28 februari '87 staan in Tabel VIII.1. Er is een uitsplitsing gemaakt naar voorspeltermijn (0 tot 12 en 12 tot 24 uur vooruit) en hoog- (H) resp. laagwater (L). In Tabel VIII.2 staat de statistiek voor geobserveerde hoogwaters met meer dan 80 cm opzet en laagwaters met meer dan 50 cm afwaaiing. De gegevens van WBN en IOS old zijn zonder correcties overgenomen van Timmerman (1987). De op- en afwaaiingen zijn in centimeters.

Allereerst enkele opmerkelijke overeenkomsten tussen de drie modellen die volgen uit Tabel VIII.1. De gemiddelde fouten mv (hier: observatie - simulatie!!) zijn systematisch: bij iedere verificatie over een redelijk grote periode komen min of meer dezelfde getallen te voorschijn. Voor deze fouten kan dus in principe gecorrigeerd worden.

Daarnaast is er een groot verschil tussen de gemiddelde fout op hoog- en op laagwaters, zo rond de 10 centimeter. Dit is onafhankelijk van de voorspeltermijn. Een uitzondering is Harlingen in de nieuwe IOS versie. Dit is een gevolg van de Waddencorrectie die een groot verschil tussen binnen- en buitengaats station te zien geeft bij eb (zie hoofdstuk VII).

### VLISSINGEN

	mv	H(0-12)		mv	H(12-24)		mv	L(0-12)		mv	L(12-24)	
		sd	N		sd	N		sd	N		sd	N
WBN	+3	17	249	+5	19	251	-7	17	258	-6	18	253
IOS old	-2	18	224	-1	17	235	-18	19	235	-19	18	239
IOS	-4	16	253	-4	17	244	-17	17	255	-16	17	250

### HOEK VAN HOLLAND

	mv	H(0-12)		mv	H(12-24)		mv	L(0-12)		mv	L(12-24)	
		sd	N		sd	N		sd	N		sd	N
WBN	+4	15	250	+6	18	254	-8	16	257	-6	17	248
IOS old	-5	15	223	-4	14	240	-19	16	232	-19	18	239
IOS	-3	13	259	-3	14	252	-18	13	258	-18	13	252

### DEN HELDER

	mv	H(0-12)		mv	H(12-24)		mv	L(0-12)		mv	L(12-24)	
		sd	N		sd	N		sd	N		sd	N
WBN	0	15	235	+2	17	240	-2	15	234	-1	18	234
IOS old	-8	17	221	-7	18	223	-15	19	219	-14	19	223
IOS	-10	16	242	-9	17	236	-13	16	240	-13	16	234

### HARLINGEN

	mv	H(0-12)		mv	H(12-24)		mv	L(0-12)		mv	L(12-24)	
		sd	N		sd	N		sd	N		sd	N
WBN	-4	20	255	-3	20	262	-13	19	263	-13	19	253
IOS old	-13	24	216	-13	24	239	-25	18	213	-27	17	244
IOS	-12	18	261	-11	20	252	-13	16	258	-13	17	253

### DELFIJL

	mv	H(0-12)		mv	H(12-24)		mv	L(0-12)		mv	L(12-24)	
		sd	N		sd	N		sd	N		sd	N
WBN	-3	21	238	-1	22	233	-13	23	232	-12	24	232
IOS old	-12	21	211	-12	22	218	-26	25	219	-28	23	220
IOS	-13	17	231	-12	19	223	-22	19	233	-23	20	230

Tabel VIII.1 Verificatie winter '86/'87 (7-10-86 t/m 28-2-1987). mv = gemiddelde fout, sd = standaard deviatie, N = aantal gevallen. WBN en IOS old resultaten zijn overgenomen uit MEMO Timmerman DM-87-6.

	H ≥ 80 cm					
	0-12			12-24		
	mv	sd	N	mv	sd	N
WBN	+17	21	33	+29	25	30
IOS old	+25	23	31	+25	29	26
IOS	+12	18	35	+16	23	34

	L ≤ -50 cm					
	0-12			12-24		
	mv	sd	N	mv	sd	N
WBN	-22	19	88	-21	21	93
IOS old	-45	14	92	-44	17	94
IOS	-36	17	100	-35	17	99

Tabel VIII.2 Als Tabel VIII.1, maar nu voor hoogwaters met 80 cm of meer opzet en laagwaters met 50 cm of meer afwaaiing.

Het verschil tussen eb en vloed in Tabel VIII.1 komt nagenoeg overeen met het verschil tussen de gemiddelde opgetreden opzet bij hoog- en laagwater (HT resp LT) in de onderzochte periode:

	observed (HT-LT)	WBN (HT-LT)	IOS (HT-LT)
VLIS	11 cm	10-11 cm	12-13 cm
HVH	14	12	15
DENH	5	2- 3	3- 4
HARL	10	9-10	1- 2
DELF	10	10-11	9-11

De verschillen zijn het kleinst in Den Helder, waar de getijamplitude het kleinst is. De modellen voorspelden dus vrijwel geen gemiddelde afwijkingen

tussen hoog- en laagwater (zie ook hoofdstuk III).

Het geobserveerde verschil tussen opzetten bij eb en vloed zou het gevolg kunnen zijn van de interactie tussen getij en surge (windeffect). In dat geval is het niet-lineaire IOS model blijkbaar niet in staat dit goed te beschrijven gezien het feit dat het dezelfde afwijking geeft als het lineaire WBN model. Het is echter onwaarschijnlijk dat het verschil volledig is toe te schrijven aan het niet-lineaire gedrag van de Noordzee omdat de statistiek gegeven in Tabel VIII.1 voor een belangrijk deel bepaald wordt door perioden met weinig wind en opzet. Wel is het waarschijnlijk dat fouten in het astronomisch getij enige rol hebben gespeeld, zie vorige paragraaf (Fig. VIII.1).

Een derde punt van overeenkomst tussen WBN en de beide IOS versies is de lager (negatiever) wordende gemiddelde fout van Vlissingen af naar het noorden. Het IOS model "begint" daarbij wat lager: van 4 cm te hoog in Vlissingen tot 12 cm voor de noordelijke stations; de gemiddelde fout daalt in het WBN van +4 tot -3 cm.

Zoals eerder gemeld zijn de gemiddelde fouten systematisch van karakter. Dit betekent dat hier in principe vrij gemakkelijk voor gecorrigeerd kan worden. Enige voorzichtigheid hierbij is wel geboden. Het deel van de fouten dat het gevolg is van fouten in het astronomisch getij is namelijk, zoals gezegd, zeer waarschijnlijk afhankelijk van de maanfase. De correcties hiervoor moeten dan ook variëren met de maanmaand.

Wat betreft de verschillen tussen de modellen valt allereerst op dat het IOS model aanmerkelijk is verbeterd sinds het seizoen '86/'87, zowel in de gemiddelde statistiek (Tabel VIII.1) als in de simulatie van de extremen (Tabel VIII.2). Er is niet uitgezocht kunnen worden welke van de genoemde verschillen tussen "IOS old" en "IOS" daarvoor verantwoordelijk zijn.

Het WBN presteert beter dan het IOS wat betreft de gemiddelde fout (zolang niet gecorrigeerd wordt), met uitzondering van de hoogwaters in Vlissingen en Hoek van Holland. In het WBN is een lichte oplopende trend in de gemiddelde fout bij toenemende voorspeltermijn. Een reden hiervoor is niet duidelijk. Het IOS model kent zo'n verschil niet.

De standaard deviatie, die aangeeft hoe goed de opzetcurve "gevolgd" wordt, is bij het IOS model beter voor alle stations, met uitzondering van Den Helder waar ze gelijk zijn.

Voor de opzetten van 80 cm of meer bij hoogwater scoort het huidige IOS model aanmerkelijk beter dan het WBN zowel in gemiddelde fout als in standaard

deviatie. Dit geldt voor beide voorspeltermijnen. De extreme laagwaters worden zwaar onderschat door het IOS model, de standaard deviatie daarentegen is redelijk. De afname in kwaliteit met de voorspeltermijn lijkt in het WBN iets groter.

Bovenvermelde verschillen kunnen niet louter teruggevoerd worden op het al of niet verdisconteren van de interactie met het getij. Ook op allerlei andere gebieden verschillen WBN en IOS veel. Daarnaast wordt de statistiek in niet geringe mate vertroebeld door verschillende van de fouten die vermeld zijn in de vorige paragraaf.

Op grond van de hier gepresenteerde verificatie kan niet geconcludeerd worden dat de performance van de huidige versie van een niet-lineair model zo veel beter is dan die van de nieuwste versie van het WBN (hoewel voor de belangrijkste opzetten - die van de extreme hoogwaters minstens 12 uur vooruit voorspeld - het IOS veel beter lijkt). Zoals gezegd, is op grond van bovenstaande statistiek besloten de "IOS" versie vóór de winter '87/'88 operationeel in te voeren. De invoering kon echter pas in de loop van de winter voltooid worden. Vooruitlopend hierop zijn de IOS voorspellingen daarom bij flinke stormen handmatig bijgesteld op de telex uitvoer. De in Timmerman (1988) gepresenteerde verificatie over de periode 1 oktober tot 4 januari 1988 heeft dan ook geen betrekking op de nieuwe IOS versie noch op de beste IOS voorspellingen die beschikbaar waren in de weerdienst in die periode.

De verschillen tussen de oude en de nieuwe versie van het IOS model zijn evident. Voor de hoogwaters met opzet van 80 cm of meer in de winter '86/'87 zijn de resultaten afzonderlijk weergegeven in Tabel VIII.3. In een aantal gevallen zijn de grote verschillen tussen de beide versies grotendeels terug te voeren op de presentatie (rechte opzet in IOS old, scheef in IOS), bijvoorbeeld Den Helder 16-12. Voor de verbetering in de stations Harlingen en Delfzijl is de invoering van de Wadden- en Eemsmondcorrectie grotendeels verantwoordelijk. In de zuidelijke stations, Vlissingen en Hoek van Holland, maar ook in Den Helder, blijkt ook de nieuwe versie van het IOS model de opzetten te onderschatten op 20 oktober, 16 en 19 december. Op deze dagen was de weerssituatie vergelijkbaar en was een belangrijk deel van de geobserveerde opzetten toe te schrijven aan de winden boven het Kanaal. Deze worden echter in de nieuwe IOS versie nog steeds zwaar onderschat. Hier is uitvoerig op ingegaan in Kok & Riepma (1987).

De opzet in Den Helder tenslotte lijkt iets onderschat te worden vooral



wanneer er een grote noordwestelijke windcomponent is. Bij een andere keuze van het roosterpunt (hoofdstuk IV) zal dit waarschijnlijk iets verbeteren.

In de appendix staan de modelsimulaties van de huidige IOS versie over de periode 7 oktober '86 t/m 28 februari '87. Isolijnen staan om de 50 cm.

		OBS	IOS-old	$\Delta$	IOS	$\Delta$
VLIS	20-10	105	50	55	53	52
	16-12	86	65	21	74	12
	19-12	123	62	61	77	46
		94	77	17	89	5
HVH	20-10	114	58	56	79	35
	23-10	86	77	9	79	7
	16-12	86	102	-16	74	12
	19-12	125	109	16	120	5
		108	97	11	96	12
DENH	20-10	85	59	26	70	15
	23-10	80	64	16	69	11
	16-12	126	35	91	84	42
	19-12	130	87	43	87	43
	29-12	90	79	11	72	18
HARL	20-10	105	84	21	112	-7
	23-10	93	69	24	83	10
		81	64	17	95	-14
	26-10	98	50	48	59	39
		96	102	-6	122	-26
	16-12	149	86	63	129	20
	18-12	92	43	49	63	29
	19-12	130	93	37	123	7
		85	67	18	82	3
	29-12	85	72	13	93	-8
		92	73	19	96	-4
DELF	21-10	104	89	15	80	24
	23-10	87	72	15	73	14
	24-10	100	66	34	80	20
	26-10	95	69	26	91	4
	6-11	81	74	7	107	-26
	16-12	95	99	-4	96	-1
	19-12	101	95	6	96	5
	29-12	94	95	-1	100	-6
		107	77	30	105	2

Tabel VIII.3 Performance oude versie IOS versus huidige versie IOS voor gevallen met opgetreden opzet  $\geq$  80 cm bij hoogwater. Periode 1-10-'86 tot 1-3-'87. Voorspeltermijn 0-12 uur.

### VIII.3 Verificatie van faseverschuivingen van het getij

De interactie tussen getij- en windeffecten manifesteert zich behalve in de amplitude van scheve en rechte opzetten ook in faseverschuivingen van de door de wind- en luchtdruk gemodificeerde getijgolf. Verificatie van scheve opzetten is gegeven in de vorige paragraaf. Rechte opzet verificatie is tot op dit moment op het KNMI niet mogelijk gebleken. In verband met toekomstige data-assimilatie lijkt het echter zinnig om na te gaan of de soms grote slingeringen in de model rechte opzet in werkelijkheid ook voorkomen.

In deze paragraaf gaan we iets nader in op de vervroegingen en verlatingen door meteo effecten. De modelverwachting wordt alleen in kwalitatieve zin vergeleken met opgetreden waarden. Aan een kwantitatieve verificatie kleven namelijk veel bezwaren. Door de soms vlakke getijcurves in de buurt van hoog- of laagwater (zie Fig. IV.5) kan een enkele bui tot gevolg hebben dat het maximum in de kromme met enkele uren verschuift. Hetzelfde geldt voor kleine foutjes in de astronomische getijberekening. Daarnaast kwamen er in de bekeken periode te weinig grote op- en afwaaiingen voor om tot significante resultaten te komen.

Allereerst kijken we naar de waargenomen faseverschuivingen van het getij als functie van de (scheve) opzet. Hiertoe gebruiken we weer data van de winter '86/'87 en wel van 7 okt. t/m 19 jan., de periode waarin vrijwel alle opzetten en afwaaiingen van meer dan 50 cm voorkwamen. De tijdsverschillen tussen astronomische en opgetreden hoog- en laagwaters zijn afgerond op 20 minuten nauwkeurig. Een grotere precisie leek gezien de grote afleesonauwkeurigheid niet zinvol. (De metingen zijn opgetekend op het KNMI vanaf penschrijvers). De resultaten zijn weergegeven in Fig VIII.2, waarin onderscheid is gemaakt tussen hoogwaters HT en laagwaters LT. De faseverschuivingen zijn aangegeven in uren (vert.) met vervroegingen negatief en verlatingen positief.

Het meest opvallende is dat er in haast alle gevallen geen duidelijk verband tussen opzet en faseverandering lijkt te bestaan. Uitzondering is Harlingen bij laagwater, waar in het algemeen een kleine vervroeging bij opwaaiing en verlating bij afwaaiing lijkt op te treden. Het enige andere station waar er in deze periode een indicatie is voor eenzelfde verband is Vlissingen voor beide getijfasen.

Op grond van de theorie van getijgolven die zegt dat hun snelheid ongeveer

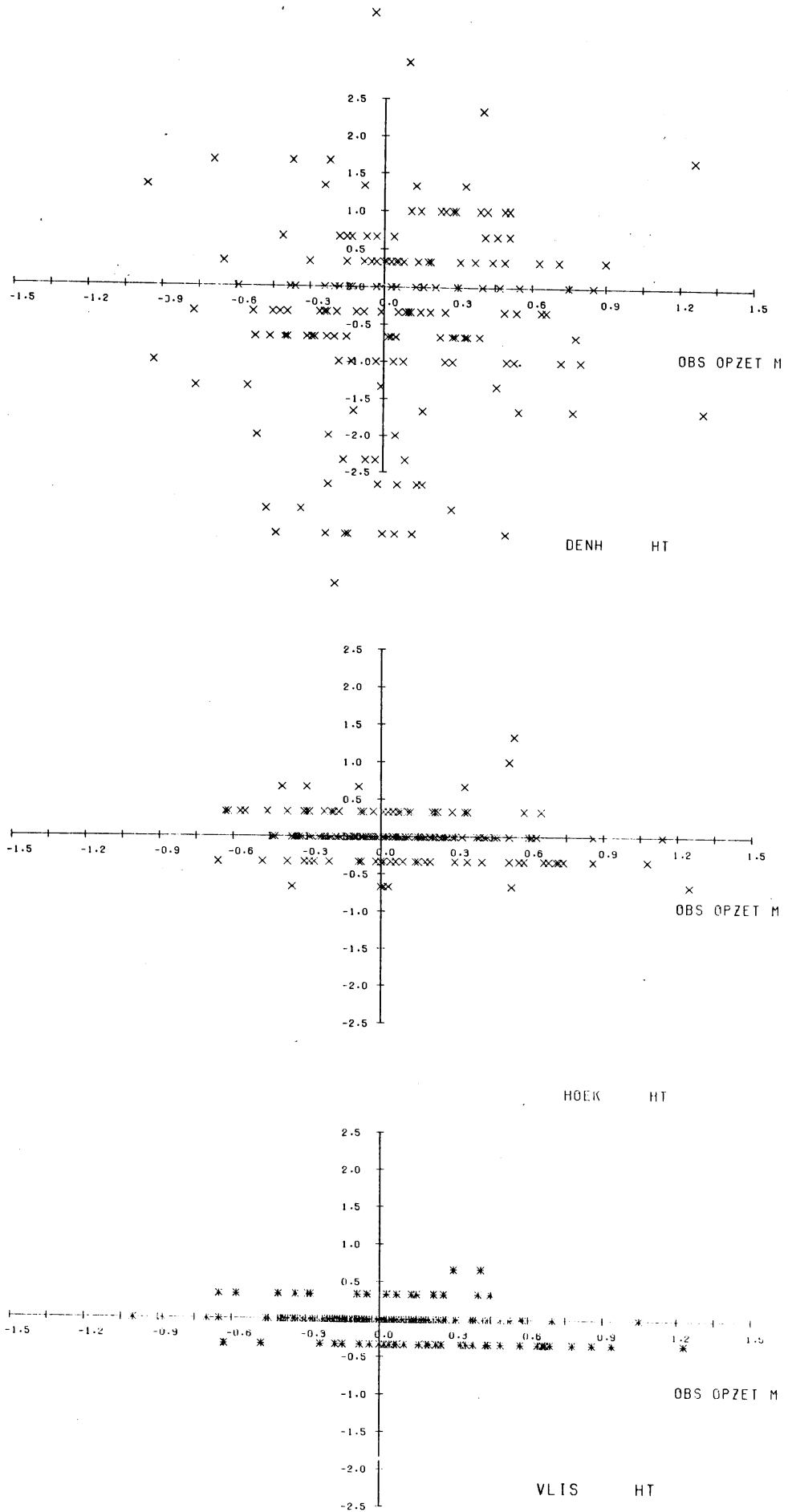
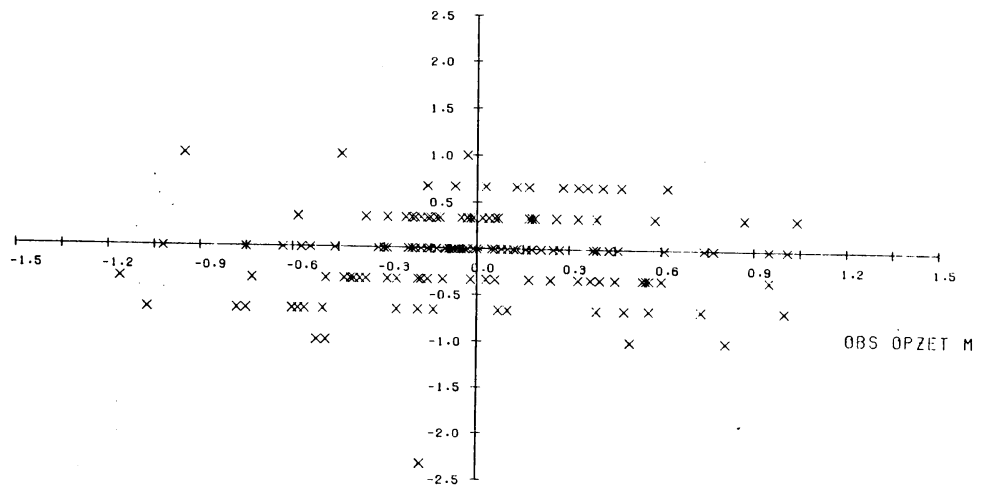
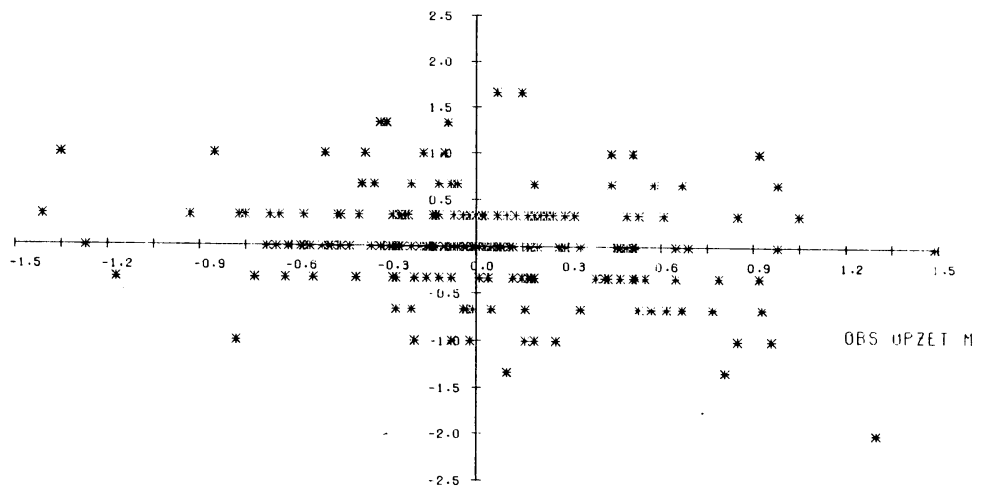


Fig. VIII.2 Geobserveerd verband tussen (scheve) opzet (in meters) en faseverandering (in uren) van het astronomisch hoogwater (HT) en laagwater (LT) over de periode 7 okt. '86 t/m 19 jan. '87.

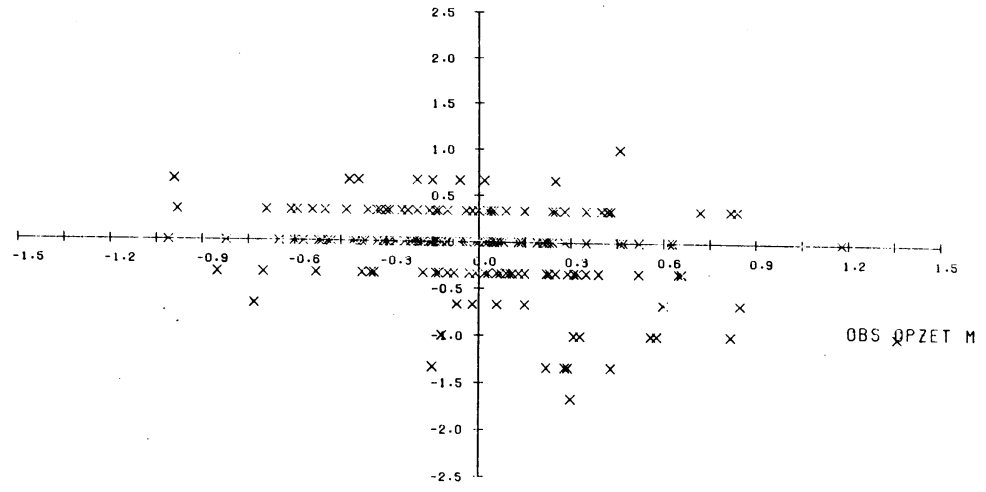


DELF HT

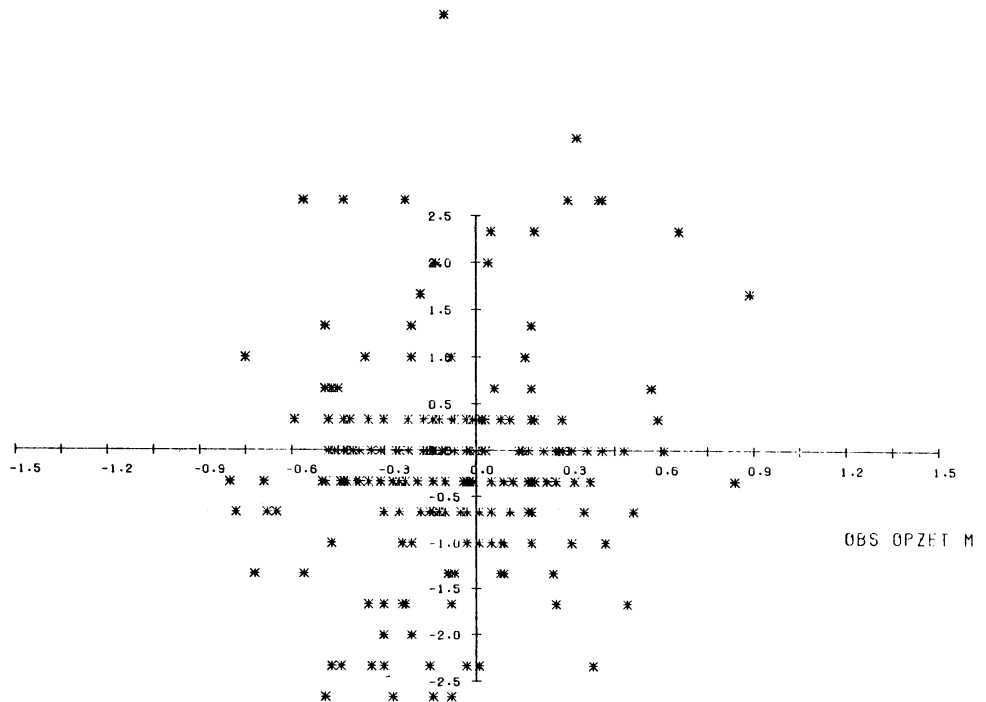


HHRL HT

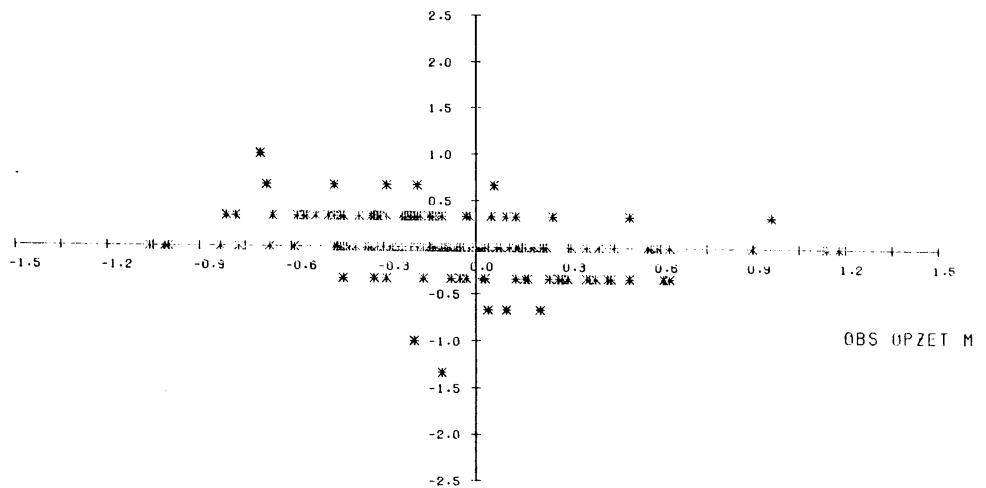
Fig. VIII.2 vervolg



DENH LT



HOEK LT



VLIS LT

Fig. VIII.2 vervolg

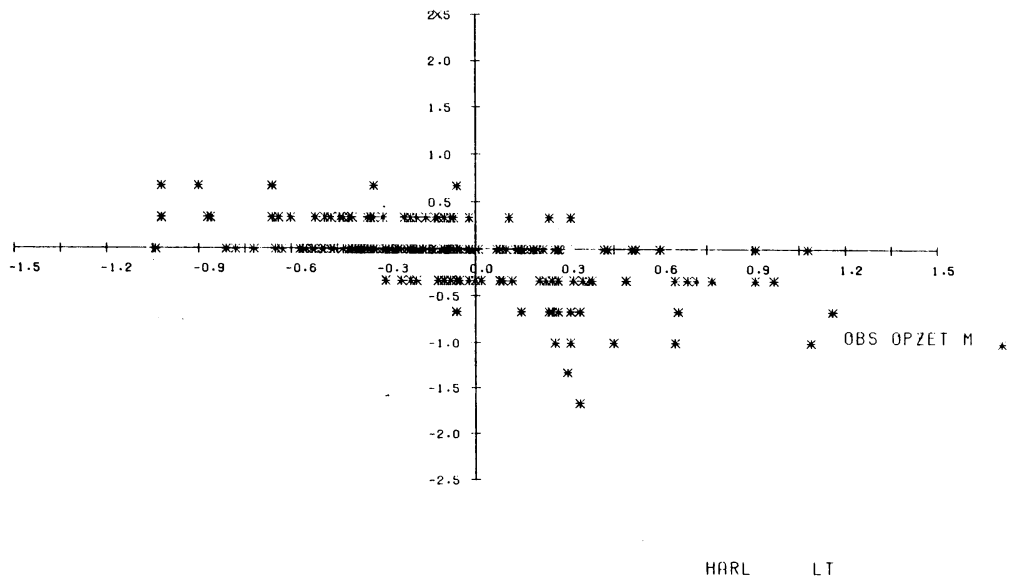
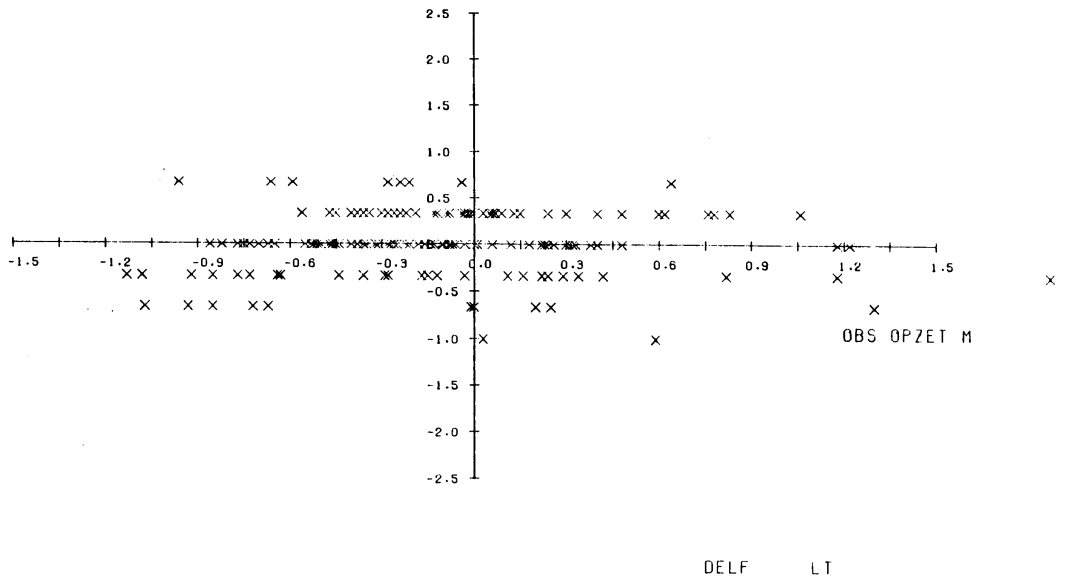


Fig. VIII.2 vervolg

gelijk is aan  $\sqrt{gH}$  (met H de diepte en g de gravitatieconstante) mag verwacht worden dat bij opwaaiing de getijgolf sneller loopt en een vervroeging veroorzaakt; bij afwaaiing andersom. Het grootste effect mag dus verwacht worden bij laagwater. Alleen van dit laatste valt iets te bespeuren in de waarnemingen. Een simpel eenduidig verband blijkt dus in het geheel niet te bestaan. Zelfs bij extreme opzetten kunnen er in bepaalde gevallen flinke verlatingen optreden, ook bij laagwater.

De grote spreiding in de geobserveerde faseverschuiving voor het hoogwater in Den Helder en het laagwater in Hoek van Holland hangt uiteraard samen met de veel voorkomende dubbele toppen resp. aggers in deze stations (zie Fig. IV.5).

De Ronde (1985) heeft faseverschuivingen als functie van opzethoogte bekeken over een veel langere periode (1971-1980). Hij heeft gezocht naar lineaire verbanden waardoor in zijn analyse vervroeging (verlating) bij opwaaiing gelijk gesteld wordt aan verlating (vervroeging) bij afwaaiing. Hij vond een vervroeging van circa 15 minuten bij een opwaaiing van 1 meter (en dus 30 min. bij 2 m, etc.) bij het laagwater te Den Helder; bij Harlingen bij hoog- en laagwater ongeveer 20 resp. 30 minuten vervroeging. Bij de andere stations en getij-extremen waren er geen significante faseverschuivingen.

De metingen over de winter '86/'87 kunnen dus alleen de relatie bevestigen die De Ronde vond voor het laagwater te Harlingen. Voor het IOS model is ook gezocht naar een mogelijke relatie tussen opzet en faseverschuiving (Deze is niet onderhevig aan waarnemingsfouten). In de winter '86/'87 vertoonde het IOS model voor de hoogwaters in alle kuststations (of liever in roosterpunten dichtbij die stations) totaal geen verband. Voor de laagwaters was er voor Vlissingen en Den Helder een lichte neiging tot vervroeging bij opwaaiing (en alleen in Den Helder ook tot verlating bij afwaaiing). Deze bedroeg ca 10 resp. 15 minuten bij 1 m opzet. Voor Harlingen en Delfzijl was er een duidelijk verband tussen modelopzet (zonder Waddencorrectie) en getijvervroeging bij opwaaiing, in de orde van een half uur bij 1 meter opzet.

Gemiddeld lijken de karakteristieken van de verstoringen in de getijbeweging in het IOS model in redelijke mate in overeenstemming te zijn met die in de Noordzee. Dit neemt echter niet weg dat er in individuele gevallen grote verschillen optreden tussen voorspelde en opgetreden faseveranderingen. Deze lijken echter voor een groot deel samen te vallen met onvolkomenheden in het modelgetij. Zo vertoont de scatterplot voor modelopzet versus faseverandering van het modelgetij (niet getoond) een veel grotere

spreiding bij het hoogwater in Harlingen dan in Den Helder. Dit komt doordat voor Den Helder het getij in de buurt van het hoogwater slecht gesimuleerd wordt en veel meer lijkt op de getijcurve van het model voor Harlingen. Op de oorzaak hiervan (en een mogelijke remedie) is uitgebreid ingegaan in hoofdstuk IV.

Slechts bij verwachte extreme opwaaiingen bij hoogwater worden er door het KNMI verwachtingen uitgegeven voor vervroegingen van het getij. Hierbij worden de volgende regels gebruikt. Bij een opzet van 2 meter of meer valt het hoogwater in Delfzijl 1 uur eerder; in Harlingen 2 à 3 uur eerder bij 2 m of meer opzet en 1 uur bij 1 m; in Den Helder zelfs 3 uur vervroeging bij 1 meter opzet; bij de andere stations geen faseverschuiving. In het bovenbeschreven winterseizoen met opzetten tot rond  $1\frac{1}{2}$  meter is voor de juistheid van deze regels geen enkele aanwijzing te vinden. Ook lijken ze niet in overeenstemming met de resultaten van De Ronde.

Een nauwkeurige analyse van de vorm van de astronomische getijcurve (vergelijk bijvoorbeeld opeenvolgende hoogwaters in Den Helder in Fig. IV.5) tesamen met die van het modelgetij en van het door de meteo gemodificeerde modelgetij is op dit moment nog noodzakelijk om een redelijk betrouwbare voorspelling van faseveranderingen uit de modeloutput te verkrijgen. Neemt men die moeite dan lijkt in een aantal stations veel winst te behalen ten opzichte van de in de weerdienst gebruikte regels.

In de toekomst, na invoering van het WAQUA wateropzetmodel, zal de astronomische getijkromme veel beter gesimuleerd worden en zullen, naar aangenomen mag worden, de faseveranderingen ook beter voorspeld kunnen worden.



## IX. SLOT

De wateropzetten in stations langs de Nederlandse kust worden sterk beïnvloed door de niet-lineariteit van de waterbewegingen in de ondiepe Noordzee. Vervanging van het lineaire WBN model eind 1986 door het niet-lineaire IOS model leek dan ook voor de hand te liggen. In dit rapport is een evaluatie gegeven van ruim een jaar ervaring met dit model.

Allereerst is een mathematische beschrijving van de huidige versie van het IOS model gegeven (hoofdstuk II). Daarnaast is een groot aantal veranderingen/verbeteringen dat de laatste 1½ jaar is ontwikkeld en getest uitvoerig beschreven. Deze veranderingen hebben betrekking op zowel de invoer (ophoging wind langs de kusten, windinterpolatie in de tijd) als de fysica van het model (andere schuifspanningscoëfficiënt, meer getijcomponenten) als de "vertaalslag", de vertaling van roosterpuntsuitkomsten naar waarden voor kuststations om kleinschalige locale invloeden te verdisconteren (o.a. Wadden-, Eemsmoond- en Westerscheldecorrectie). Deze zijn uitvoerig beschreven in de hoofdstukken IV, VI en VII. Hun gezamenlijke effect op de waterstandsverwachtingen voor de winter '86/'87 (hoofdstuk VIII) toont aan dat de performance van het IOS model sinds de invoering aanmerkelijk verbeterd is. Er zijn enkele suggesties gedaan voor verdere verbetering.

De meeste nadruk ligt in dit rapport echter op het niet-lineaire gedrag van de waterbewegingen in de Noordzee en meer in het bijzonder op de verschillen tussen de niet-lineaire en lineaire beschrijving (modellen) van dit gedrag. Tevens is aandacht besteed aan de interpretatie van de "niet-lineaire" uitvoer die veel meer informatie bevat dan men bij een lineair model gewend was.

Uit fysische overwegingen zijn niet-lineaire wateropzetmodellen uiteraard te prefereren. De eerste ervaringen tonen echter aan dat er extra eisen aan dit soort modellen gesteld worden. Aan deze eisen kan het huidige IOS model slechts ten dele voldoen. Er is dan ook een aantal tekortkomingen blootgelegd. Zo zijn voor een goede beschrijving van het getij (en dus van het gecombineerde effect van getij en meteorologie) meer getijcomponenten nodig en een kleinere roosterpuntsafstand. Door een kleinere roosterpuntsafstand wordt tevens een betere (fijnere) land/zee verdeling verkregen. Verwacht mag worden dat de problemen die het IOS model kent voor met name het station Den Helder hierdoor minder worden en dat een groter deel van het Waddeneffect "dynamisch" meegenomen kan worden in plaats van, zoals nu gebeurt, in een statistische

nabehandeling (afhankelijk van de wind). Uitbreiding van het modelrooster in het Kanaal lijkt ook zeer zinvol. Aan al deze bezwaren kan tegemoet gekomen worden door het WAQUA wateropzetmodel, een niet-lineair model ontwikkeld door RWS en WL. (De ontwikkeling aan het IOS model is inmiddels gestaakt). Het heeft een rooster van  $1/12 \times 1/8^\circ$ , een 4x zo fijn rooster in beide richtingen als dat van het IOS model en omvat een groter deel van het Kanaal en de totale Ierse Zee.

Een misschien nog belangrijker punt is dat het WAQUA model geschikt gemaakt wordt voor toepassing van data-assimilatie door middel van Kalman filtering. Problemen met external surges en fouten in beginvelden zullen hierdoor sterk verminderen. Daarnaast biedt Kalman filtering de mogelijkheid onzekerheidsbanden toe te voegen aan de verwachte opzetten. Deze kunnen afgeleid worden uit de uit het filter verkregen kansverdelingen voor de wateropzetten per station. Deze kansverdelingen zijn consistent met de (niet-lineaire) modelformulering en verdienen dan ook verre de voorkeur boven de onzekerheidsbanden verkregen met de huidige vakkenmethode.

Door de looptijd van getijdgolven kan data-assimilatie de opzetten langs de Nederlandse kust slechts tot maximaal ongeveer +12 uur "bijsturen".

Het stochastische model dat deel uitmaakt van de Kalman filtering kan misschien ook gebruikt worden voor berekening van onzekerheidsbanden vanaf +12 uur.

Invoering van het WAQUA model wordt niet voorzien vóór de winter '89/'90. Tot die tijd blijft (waarschijnlijk) het IOS model operationeel. Dit model kan daarom een belangrijke rol spelen bij het opdoen van ervaring in het gebruik van niet-lineaire wateropzetmodellen en bij de interpretatie ervan.

### Dankbetuiging

De auteur is veel dank verschuldigd aan Roel van Moerkerken voor het ter beschikking stellen van de windobservaties (gebruikt in hoofdstuk V en VI) en aan Gerbrand Komen voor het kritisch doorlezen van het manuscript. Zeer veel dank gaat uit naar Diet Stroosnijder voor het typewerk en Rinske Krabbe voor het typen van een eerdere versie.

## Referenties

Davies, A.M. & R.A. Flather (1978).

Application of numerical models of the north west European continental shelf and the North Sea to the computation of the storm surges of November - December 1973. Dtsch. Hydrogr. Z. Erg. Heft. A 14.

Daan, H. (1986).

Operationeel wateropzetmodel. Nota 86-81 E.

De Jongh, J.P. (1986).

Operationeel wateropzetmodel. Nota 86-277 E.

De Ronde, J.G. (1985).

Wisselwerking tussen opzet en verticaal getij. Nota GWIO 85.003.

Donker, A.W. (1987).

Verwachtingen voor waterstandsafwijkingen Deltawerken: Zierikzee november 1981 - februari 1986. TR-93.

Flather, R.A. & 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 2-4 January 1976. Dtsch. Hydrogr. Z. Erg. Heft. A 15.

Floor, C. (1986a).

Fine-mesh winden (Archiefuk6). Nota 86-SOS-1.

Floor, C. (1986b).

Opzettabelen Oosterschelde. Nota 86-SOS-4.

Floor, C. (1987).

UK-Fine-Mesh winden. Stand van zaken maart 1987. MEMO CWD-87-06.

Floor, C, J.P. de Jongh & H. Daan (1987).

Het fine-mesh atmosfeermodel van de Britse Weerdienst. In: Meteorologische berichtgeving voor de stormvloedkering Oosterschelde, red. C. Floor, TR-101.

Gill, A.E. (1982).

Atmosphere-ocean Dynamics. London: Academic Press, 662 pp.

Kok, C.J. & H.W. Riepma (1987).

Enkele recente ontwikkelingen in het IOS/UK6 verwachtingssysteem voor de wateropzetten langs de Nederlandse kust. MEMO 00-87-13.

Komen, G.J. (1986).

Vervanging WBN/BK4 door IOS/UK6. Nota 86-Komen-24.

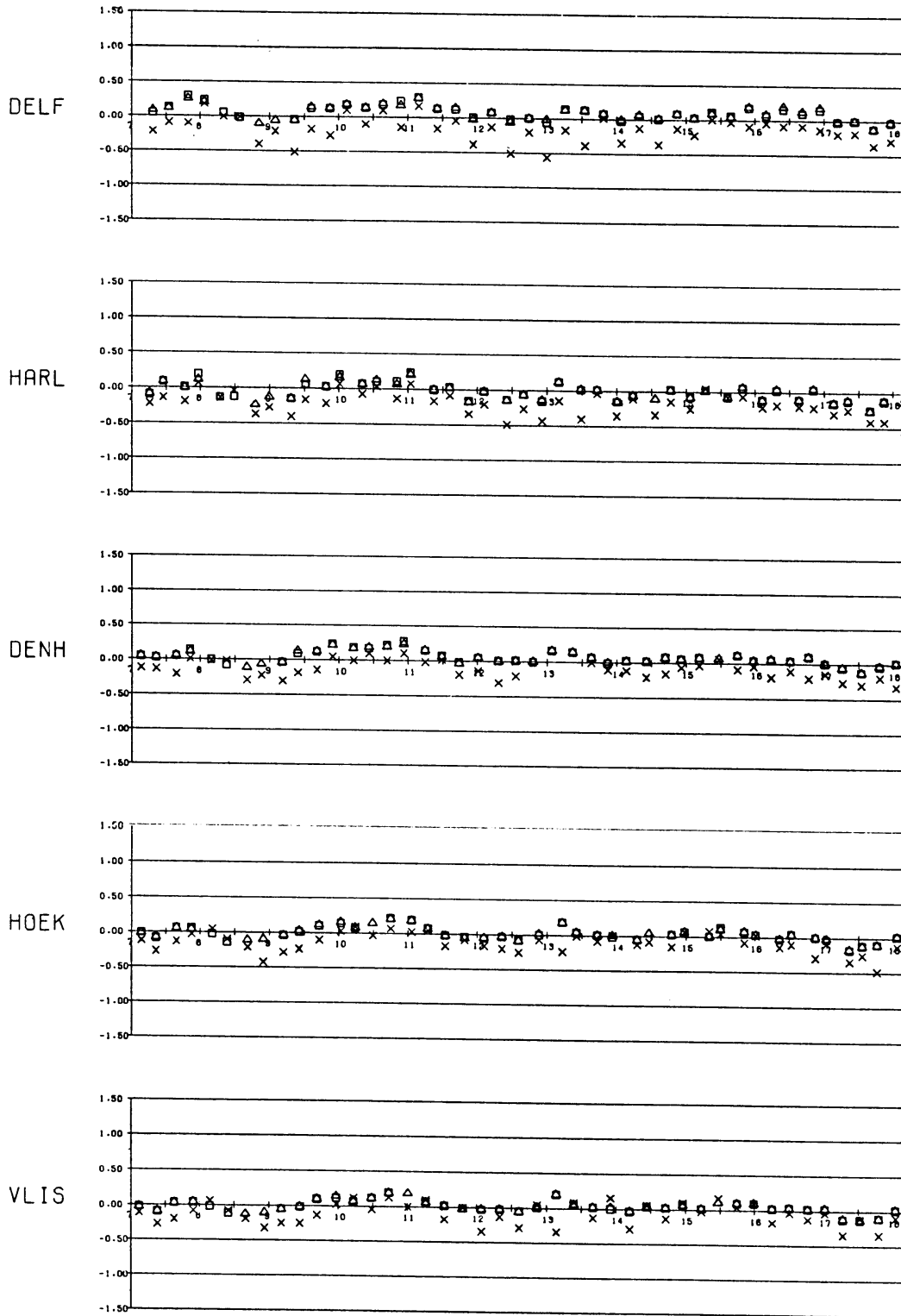
- Peeck, H.H., R. Proctor & C. Brockman (1983).  
Operational storm surge models for the North Sea. Continental Shelf Research, 2, no. 4, p. 317-329.
- Prandle, D. and J. Wolf (1978).  
The interaction of surge and tide in the North Sea and River Thames. Geophys. J.R. Astr. Soc. 55, 203-216.
- Proudman, J. & A.T. Doodson (1924).  
The principal constituents of the tides of the North Sea. Phil. Trans. R. Soc., A, 224, 185-219.
- Pugh, D.T. (1987).  
Tides, surges and mean sea-level. John Wiley & Sons. 472 pp.
- Riepma, H.W. (1987).  
Verificatie BMO fine mesh UK6 winden t.b.v. de stormvloedverwachting. MEMO 00-87-22.
- Riepma, H.W. (1988).  
Stormvloeden en het Wadden Zee effect. MEMO 00-88-05.
- Timmerman, H. (1977).  
Meteorological effects on tidal heights in the North Sea. KNMI Mededelingen en verhandelingen no. 99.
- Timmerman, H. (1987).  
Verificatie van opzetberekeningen langs de Nederlandse kust van 7 oktober 1986 tot 1 maart 1987. MEMO DM-87-6.
- Timmerman, H. (1988).  
Verificatie van opzetberekeningen langs de Nederlandse kust van 1 oktober tot 4 januari 1988. MEMO DM-88-01.

APPENDIX

Modellsimulatie 7-10-'86 t/m 28-2-'87. Observaties zijn aangegeven als kruisjes, +12 simulatie als  $\Delta$ , +24 als  $\square$ .

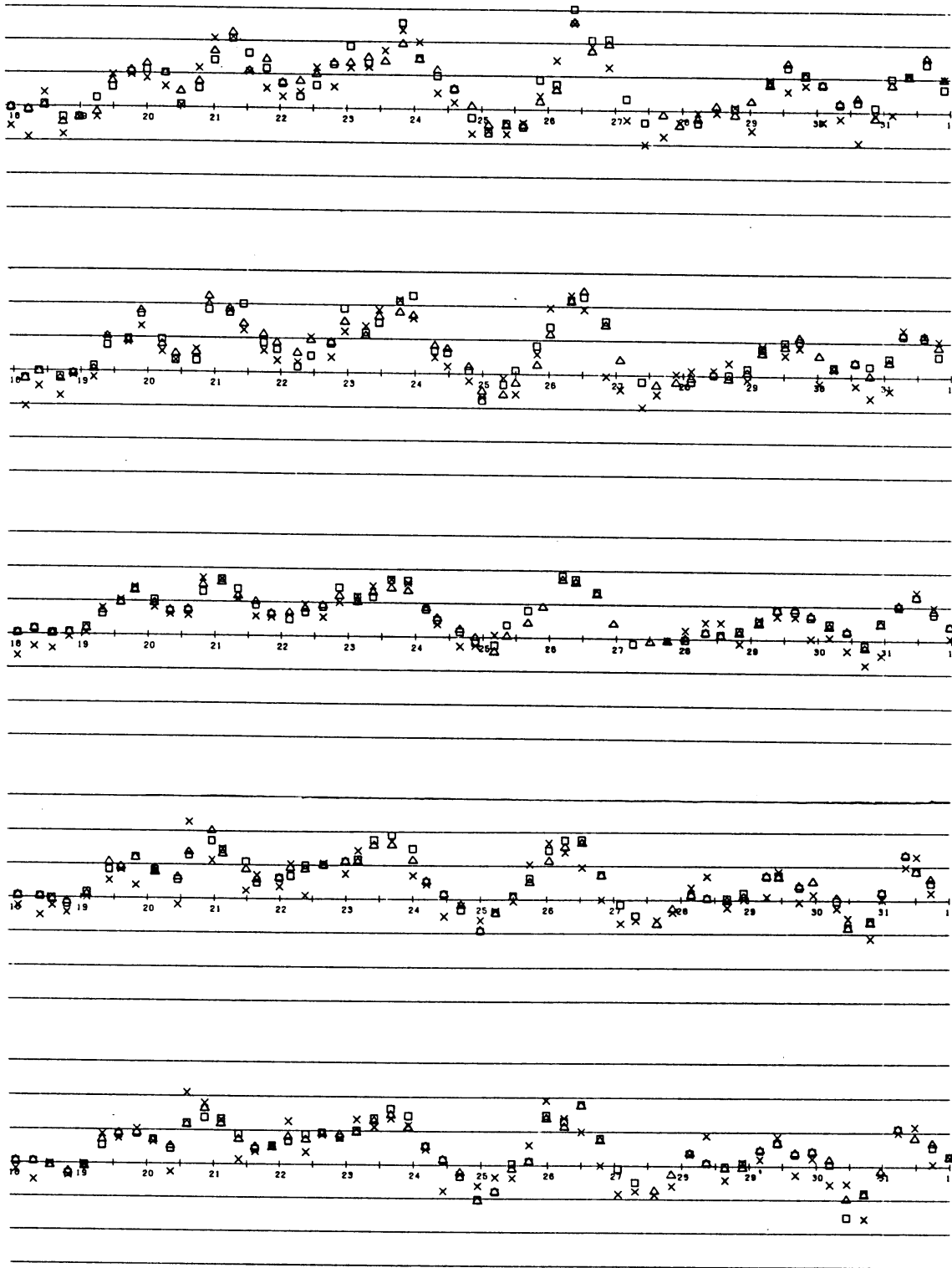
OKTOBER '86

86100700



x OBS OPZET  
△ SIM +12  
□ SIM +24

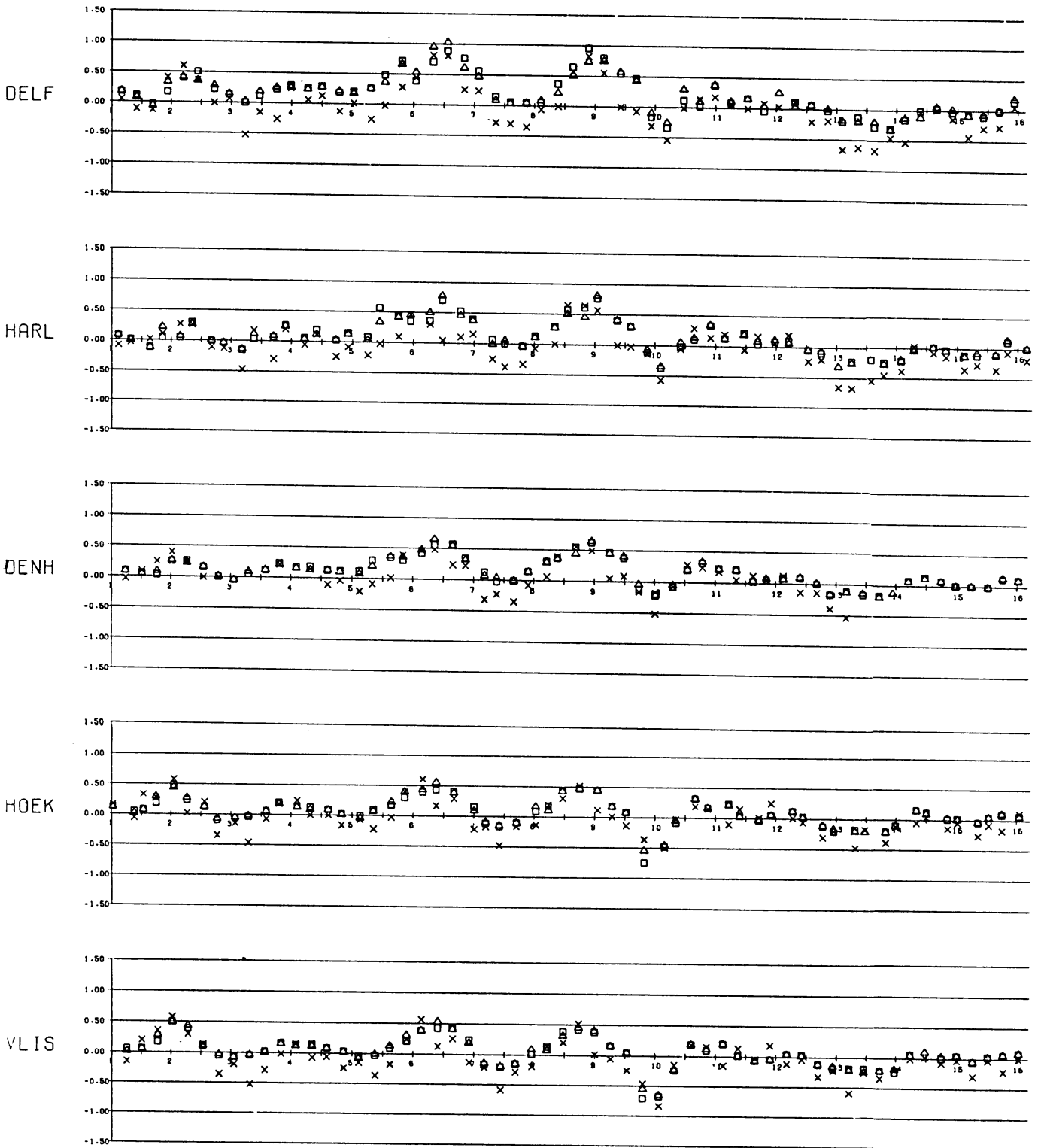
vervolg OKTOBER '86

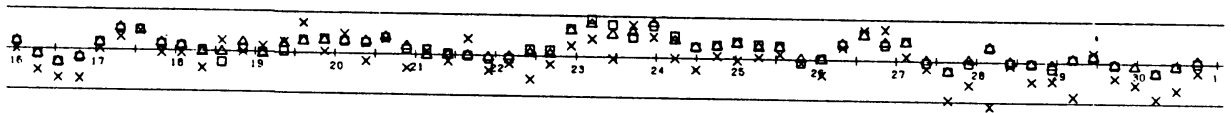
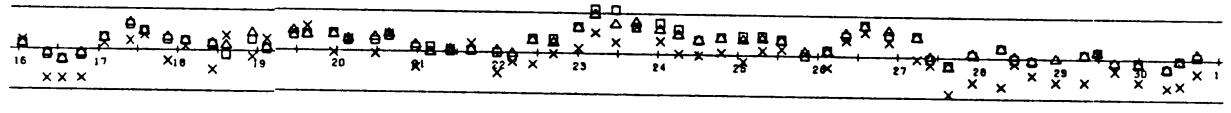
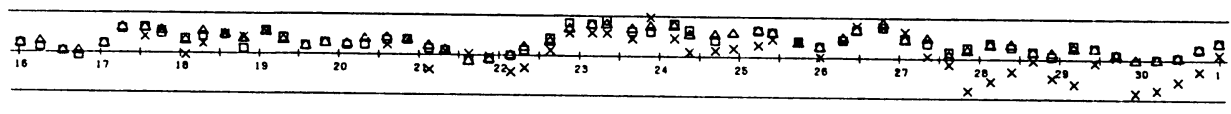
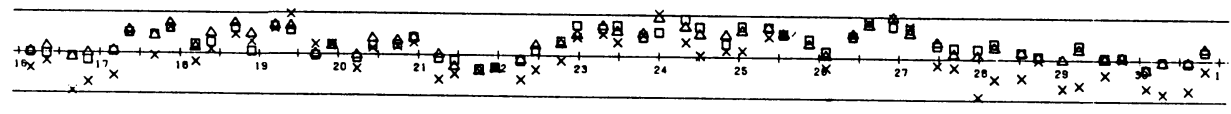
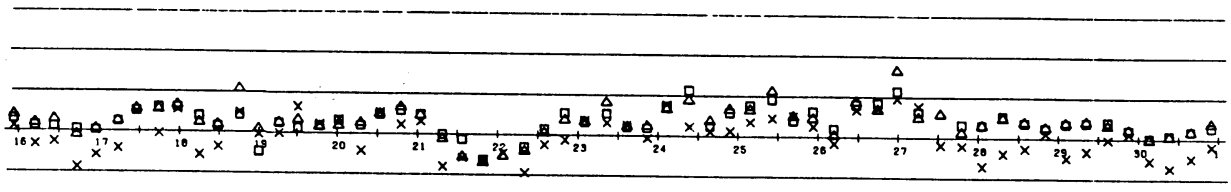


x OBS OPZET  
△ SIM +12  
□ SIM +24

NOVEMBER '86

86110100



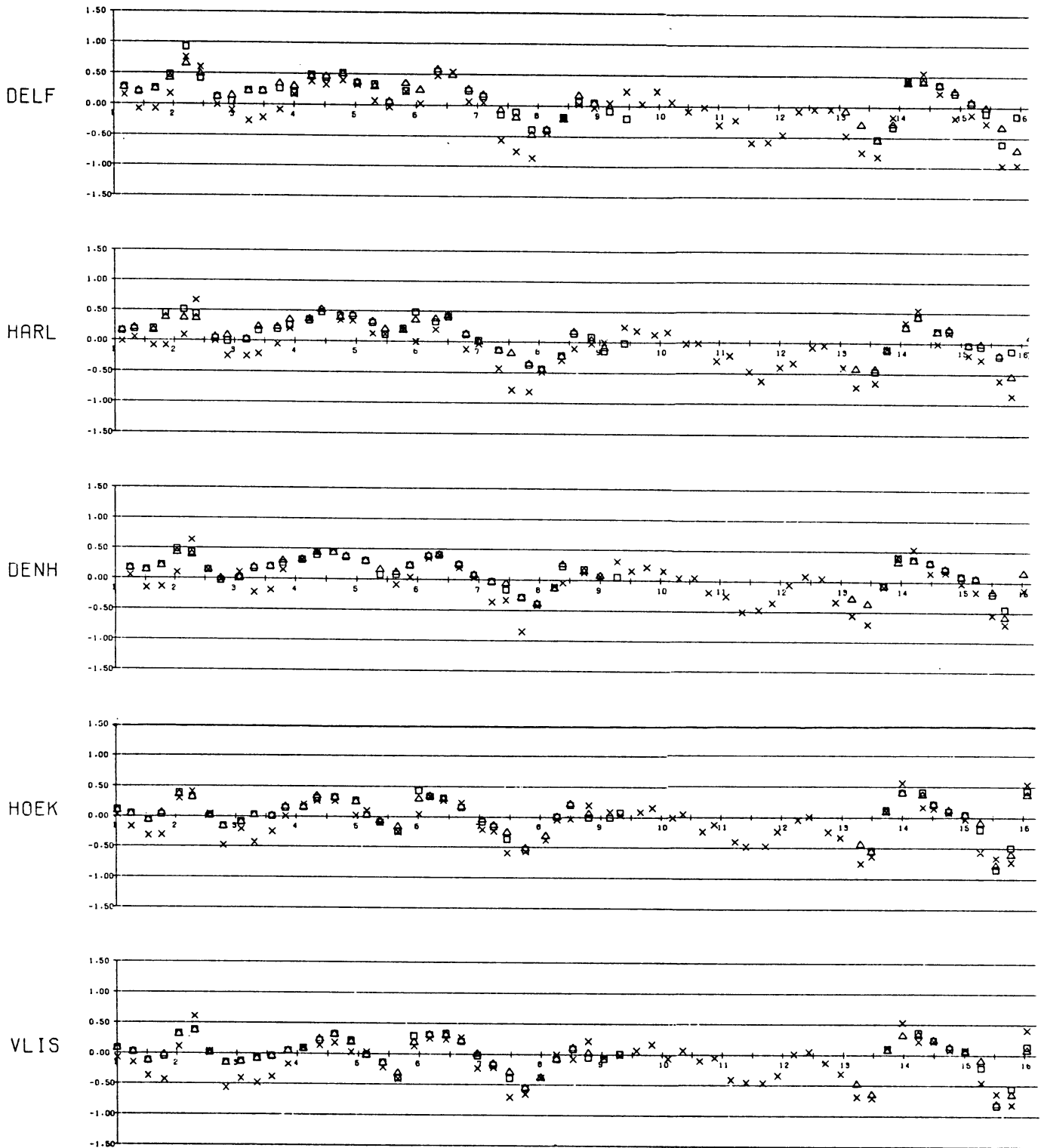


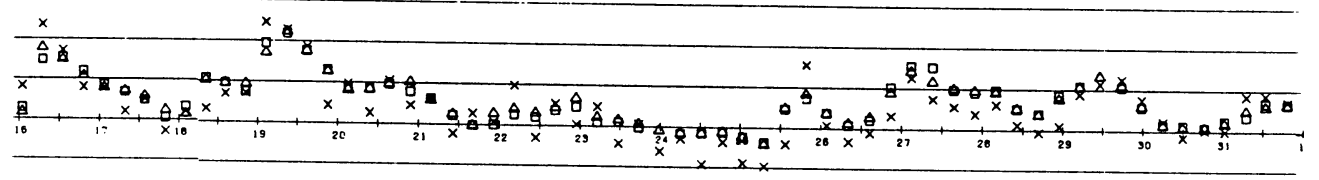
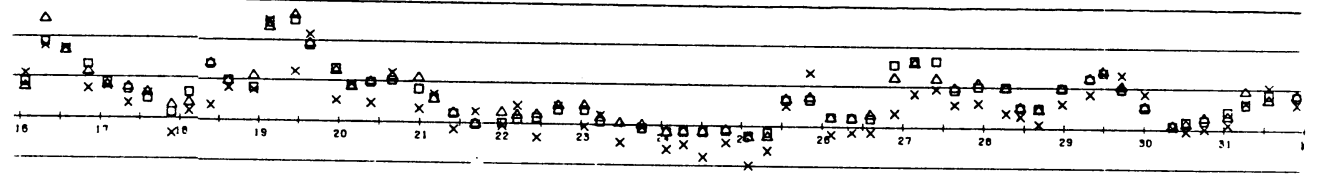
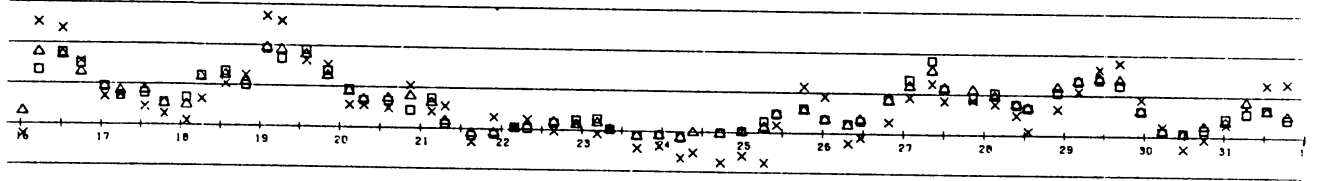
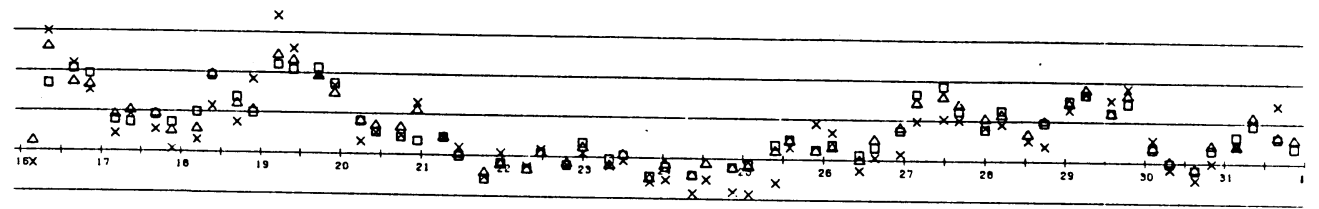
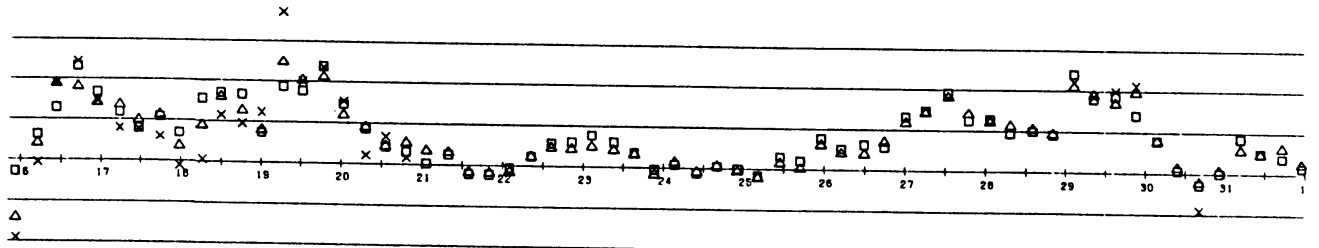


x OBS OPZET  
△ SIM +12  
□ SIM +24

DECEMBER '86

86120100

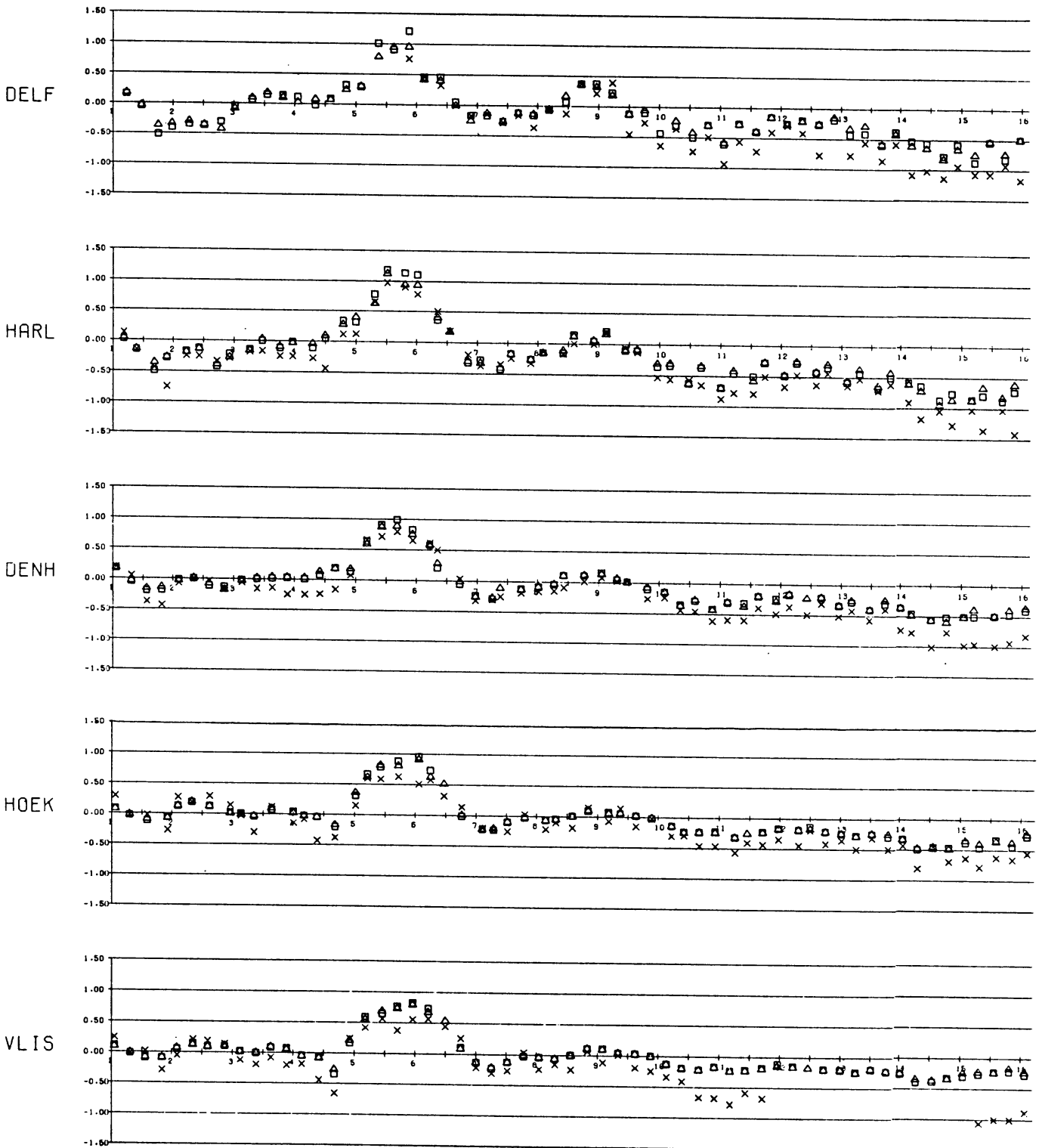


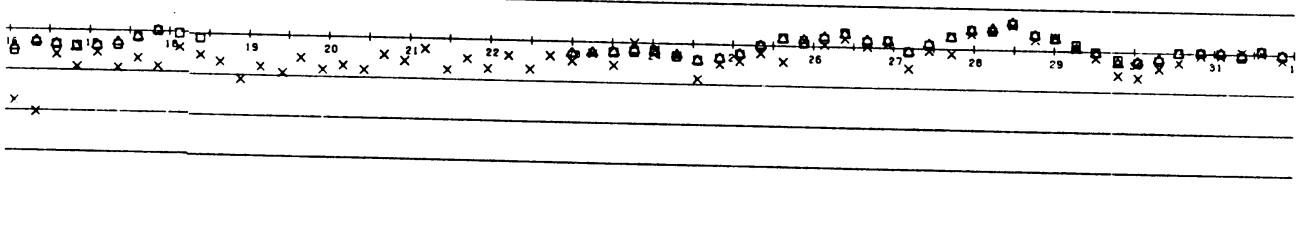
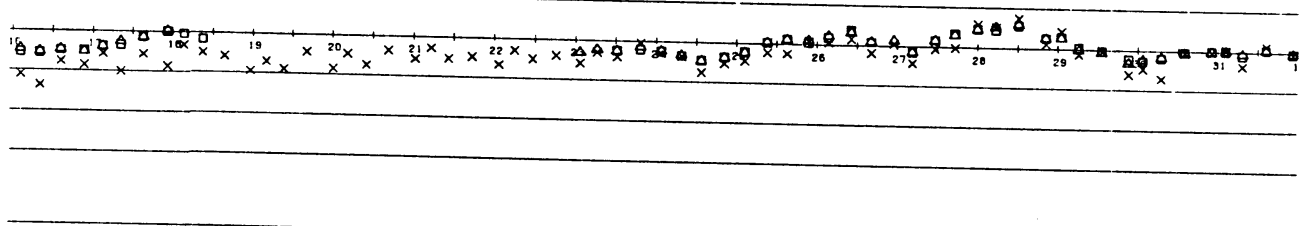
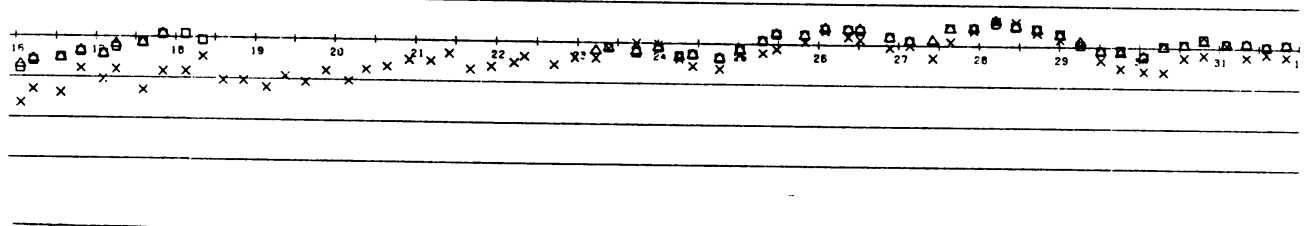
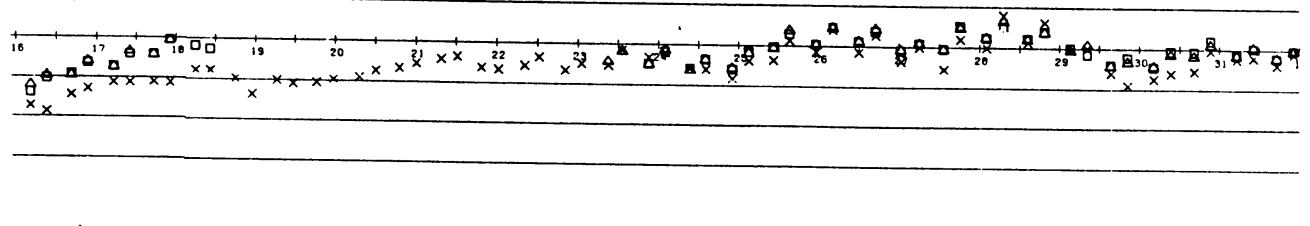
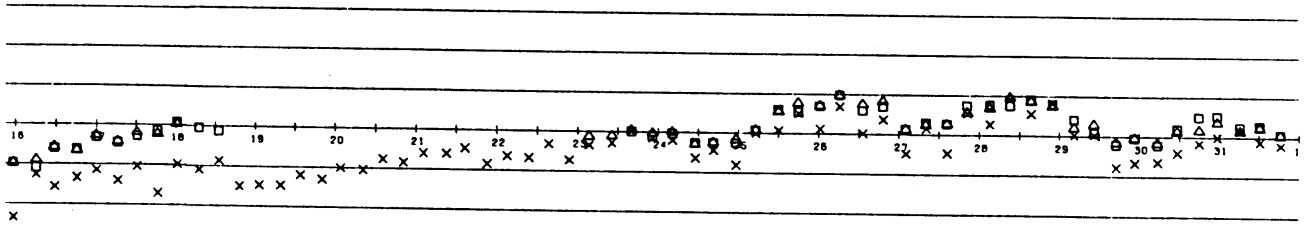


x OBS OPZET  
△ SIM +12  
□ SIM +24

JANUARI '87

87010100

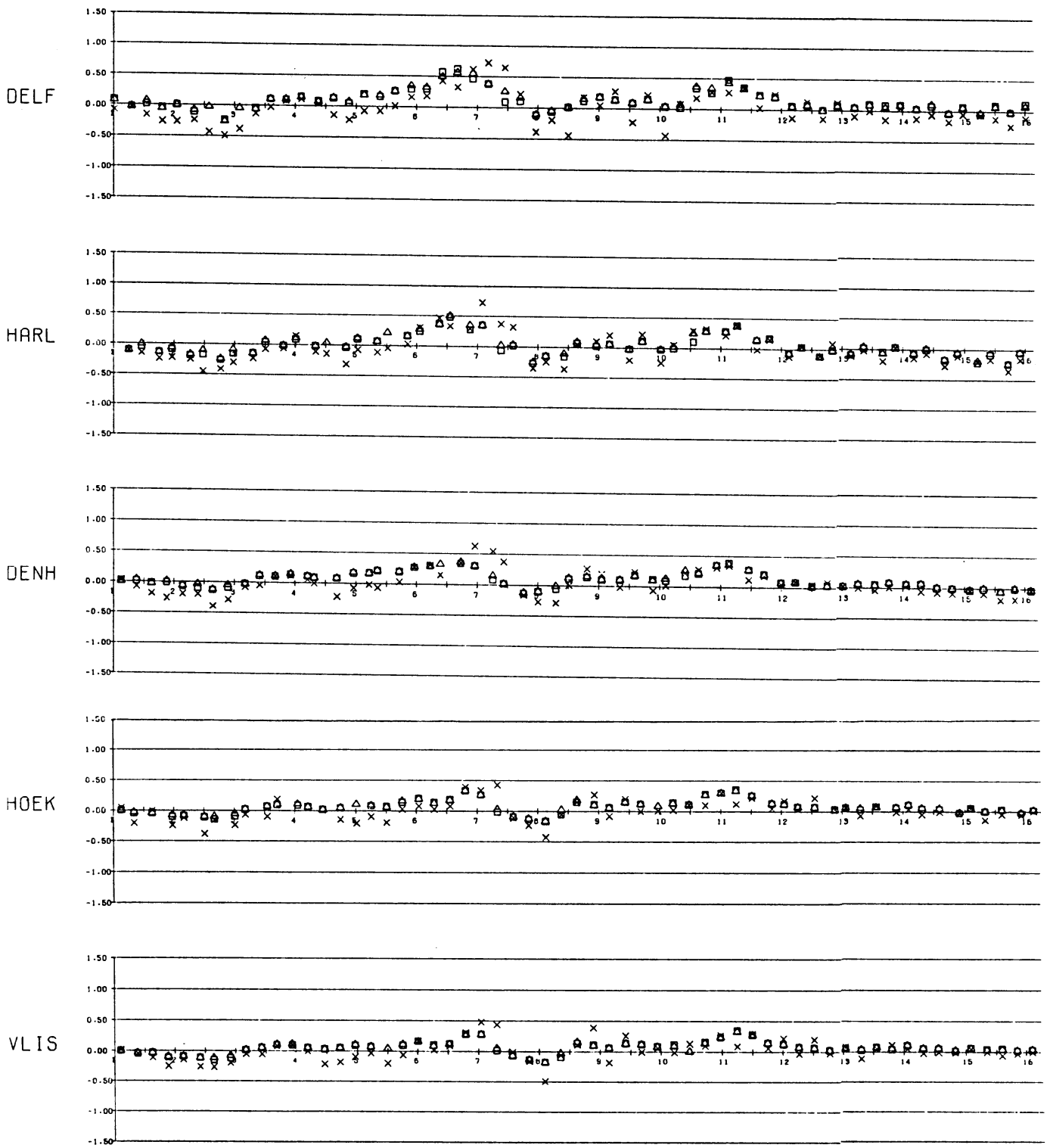




x OBS OPZET  
△ SIM +12  
□ SIM +24

FEBRUARI '87

87020100



vervolg FEBRUARI '87

