

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

Verslagen

V-322

L. C. Heijboer

Beschrijving van een gradiënt-verificatie programma  
en een vergelijking van objectieve met door meteoro-  
logen verrichte subjectieve verificatie van het voor-  
spelde stromingspatroon van BK4.

De Bilt, 1979

Publikatienummer: K.N.M.I. V-322(MO).

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

U.D.C.: 551.509.313 :  
551.509.5

Beschrijving van een gradiënt-verificatie programma en een vergelijking van objectieve met door meteorologen verrichte subjectieve verificatie van het voorspelde stromingspatroon van BK4.

door

L.C. Heijboer

I. Inleiding

In het najaar van 1976 zijn in het kader van het project golf- en wateropzet-prognoses experimenten gestart met versies van het BK4-model met als uiteindelijk doel het leveren van luchtdrukprognoses op zee-niveau t/m 24 uur vooruit met een voor golf- en wateropzet-prognoses voldoende nauwkeurigheid. Daarmee samenhangend werd een gradiënt-verificatie-programma ontwikkeld. Bij de opzet hiervan hebben de volgende argumenten een rol gespeeld:

- 1.) De golf- en wateropzet-programma's maken bij hun invoer gebruik van windverwachtingen. Zowel in het GONO- als wateropzet-programma wordt de wind berekend met de formule van Hesselberg. Als primaire input voor die berekeningen worden weliswaar luchtdrukwaarden in roosterpunten gebruikt, maar nadere bestudering van de formule leert dat alleen de gradiënt van de luchtdruk benut wordt. De luchtdrukgradiënten worden in het GONO-programma berekend door het luchtdrukveld te fitten met polynomen in x- en y-richting van het veld en bij de wateropzetten d.m.v. OFA-methodiek (onvolledige Fourier-analyse). Na die analytische representatie van het luchtdrukveld kunnen dan de benodigde gradiënten voor de formule van Hesselberg gemakkelijk berekend worden.
- 2.) Het BK4-programma gebruikt als invoer de geopotentiële hoogten van 300, 500, 850 en 1000 mbar. Hiervan worden op  $t = t_0$  de tendensen uitgerekend, waarna een extrapolatie van de hoogte-velden in de tijd plaatsvindt. Van de nieuw berekende hoogte-velden worden weer de tendensen berekend. enz. Er worden tijdstappen van 30 minuten toegepast. Uit de vergelijkingen van het BK4-model blijkt dat in de zg. forcing functies, die de hoogte-tendensen bepalen, alléén afgeleiden (in x- en y-richting) van de geopotentiële hoogten voorkomen.

Bovenstaande overwegingen hebben aanleiding gegeven bij het onderzoek aan het BK4-model primaire aandacht te schenken aan de voorspelde hoogte-gradiënten. Rechtstreeks verificatie hiervan was daarom het meest voor de hand liggend.

Om een betere aansluiting te krijgen met de gangbare methodieken in de weerkamer wordt de richting van de hoogte-gradiënt in het programma  $90^\circ$  gedraaid, zodat de richting overeenstemt met die van de geostrofische wind. Na vermenigvuldiging met de factor  $g.m/f_o$  ( $g$  is hier de versnelling van de zwaartekracht ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $f_o$  een vaste waarde van de Coriolis-parameter en  $m$  een vaste waarde van de kaartschaalfactor, de laatste twee grootheden zijn karakteristiek voor het gebied waarop geverifiëerd wordt) krijgt men een grootte die in hoge mate overeenstemt met de geostrofische wind. Teneinde de overeenstemming met de geo-wind zo volledig mogelijk te maken wordt de grootte in knopen en de richting in graden berekend. Hierbij is de richting op dezelfde manier als voor de geo-wind vastgelegd d.w.z. richting van de vector met daarbij  $180^\circ$  opgeteld.

In het vervolg van het verslag zullen we verder over de geostrofische wind spreken in plaats van de gradiënt.

Voor het verificatie-gebied worden van de voorspelde en opgetreden geostrofische wind het gemiddelde windsnelheidsverschil en de wortel uit de gemiddelde kwadratische verschillen van zowel snelheid als richting geverifiëerd, de zogenaamde RMS-fouten (root mean square errors). Ter controle van het BK4-model en het verificatie-programma en ook om na te gaan of een verificatie van de geo-wind op bovenstaande wijze aansloot bij het voorspelde stromingspatroon zoals een gebruiker dat via een regel-drukker-kaart subjectief kan beoordelen, werden in de begin-fase van de experimenten (oktober 1976) door Van der Hoek een aantal +12 en +24-uurs 1000 mbar prognoses van BK4, gebaseerd op 00 en 12 GMT, d.m.v. een cijferwaardering subjectief geverifiëerd. Vanwege het tijdrovende karakter ontstond al vrij snel de behoefte tot automatisering van die werkzaamheden dat wil zeggen het kijken naar de voorspelde stromingspatronen moest worden overgenomen door de computer. Uit onderzoek bleek dat er een redelijk goed verband gelegd kon worden tussen de subjectieve cijferwaardering en de objectief berekende RMS-fouten van windrichting en wind-

snelheid. Hierop wordt in hoofdstukken II en III nader ingegaan. De gevonden relatie tussen de cijferwaardering en de RMS-fouten van windrichting en -snelheid werd ingebouwd in het gradiënt-verificatie programma.

Vanaf 1 december 1976 zijn op routine-basis 2 x daags +12, +24 en +36-uurs prognoses van een BK4-versie met gradiënt-verificaties en objectief berekende cijferwaarderingen voor 1000 mbar-prognoses gedraaid. Deze prognoses waren gebaseerd op Engelse 1000 en 500 mbar hemisferische analyses en hadden een experimenteel karakter. Ze werden bovendien vergeleken met de +12 en +24 uurs 1000 mbar prognoses van het Engelse 10-lagen model en de +24 uurs 1000 mbar prognoses van het Amerikaanse model. Hierop werd ook het gradiënt-verificatie programma toegepast.

Uit vergelijking van golf-prognoses gebaseerd op BK4 en het Engelse 10-lagen model over die periode bleek dat de kwaliteit van de producten gebaseerd op BK4 niet noemenswaard onderdeel voor die gebaseerd op het Engelse model. Alleen in de winter waren ze voor +24 uur vooruit iets slechter.

Er werd besloten dat de op de Engelse prognoses operationeel zijnde wateropzet- en GONO-verwachtingen eind najaar 1978 operationeel ingevoerd zouden worden gebaseerd op BK4, waarbij dan 4 x daags + 24-uurs prognoses geleverd zouden worden die gebaseerd waren op KNMI-analyses van 300, 500, 850 en 1000 mbar (Cressman-systeem). Hierbij zouden dan ook de 1000 mbar BK4-prognoses tot +24 uur vooruit in de weerkamer komen en beoordeeld gaan worden door meteorologen. Het was daarom interessant te onderzoeken in hoeverre de objectieve cijferwaardering van de computer overeen zou stemmen met de subjectieve waardering van de meteorologen. Aan dit onderzoek waarvan hier verslag gedaan wordt is door 6 meteorologen deelgenomen. Zij hebben 12 door Timmerman geselecteerde stormvloed-situaties bekeken. Deze gevallen zijn onderdeel van de periode 1 december 1977 t/m 15 januari 1978 waarop diverse experimenten met een aantal versies van BK4 zijn uitgevoerd. Uiteraard zijn die 12 gevallen niet algemeen representatief in meteorologisch opzicht, maar omdat het stormvloed-situaties zijn en dus interessant voor golf- en wateropzet-prognoses zijn ze geschikt als basismateriaal voor een eerste verkennend onderzoek.

We kunnen nu de doelstelling van het onderzoek formuleren nl.:

- 1.) Onderzoeken of de objectief berekende cijfer-waardering afwijkend is t.o.v. de subjectieve waardering van de individuele meteorologen.
- 2.) Of de objectieve cijfer-waardering afwijkend is t.o.v. de gemiddelde subjectieve waardering van de meteorologen.

## II Theorie

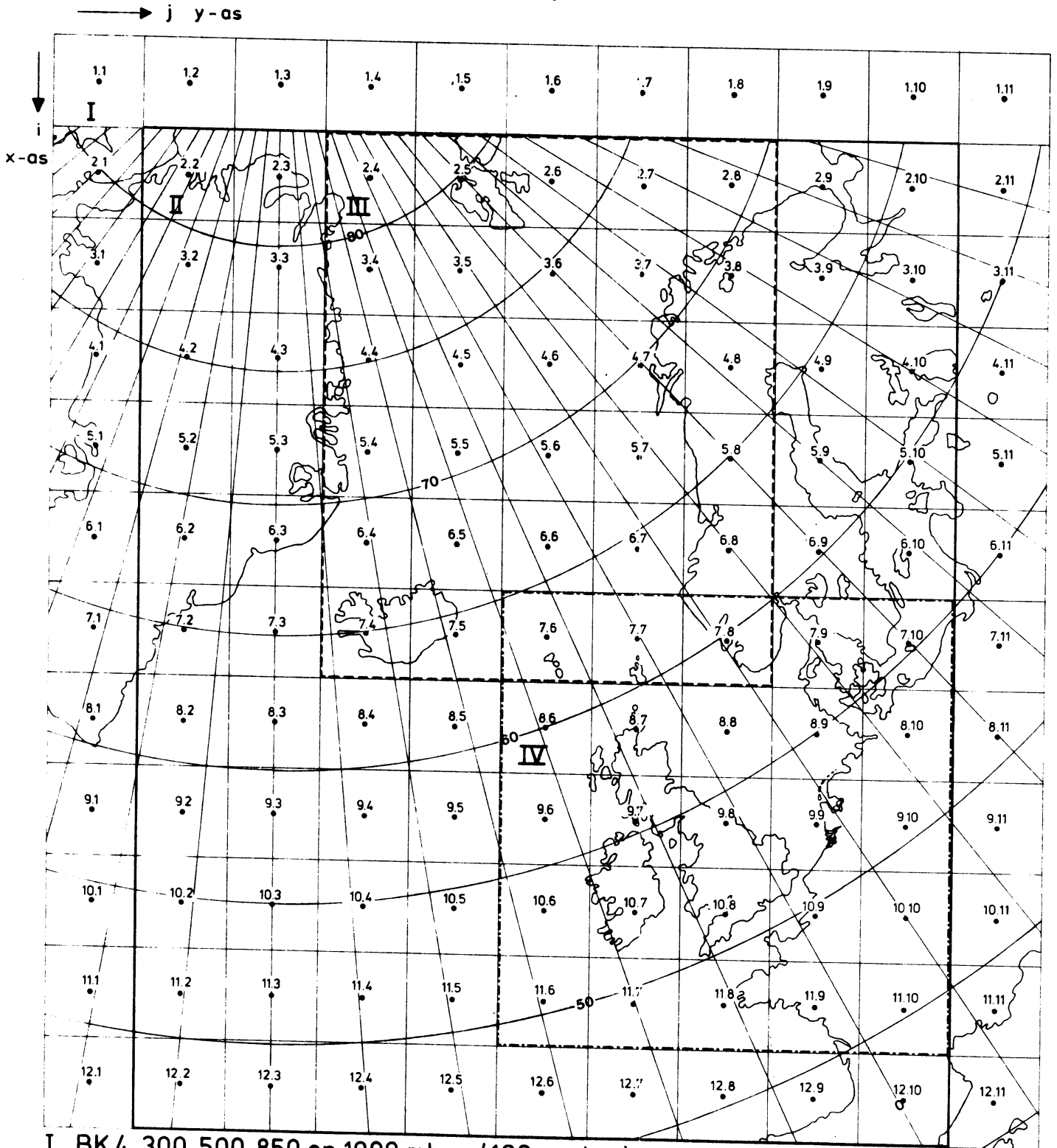
De analyses en prognoses van de geopotentiële hoogten van 300, 500, 850 en 1000 mbar worden berekend in roosterpunten. De geografische posities van die punten worden vanuit de zuidpool geprojecteerd op een plat vlak door  $60^{\circ}$  NB (stereografische projectie met de noordpool als middelpunt). De keuze is zodanig dat de geprojecteerde punten een rechthoekig rooster vormen met equidistante afstanden in x- en y-richting. De x-as loopt parallel met de geprojecteerde lengtecirkel van  $30^{\circ}$  WL van noord naar zuid en de y-as met die van  $120^{\circ}$  WL van west naar oost. De roosterpuntsafstand bedraagt 375 km op  $60^{\circ}$  NB. In figuur 1 zijn de verschillende gebieden aangegeven waarop de gradiënt-verificaties zijn uitgevoerd nl.:

gebied I verificaties van 300, 500, 850 en 1000 mbar,

gebied II verificaties van 1000 mbar van BK4-prognoses, grondkaart van +12 en +24 uurs prognoses van het Engelse 10-lagen model en +24 uurs FSNT van Amerika,

gebied III (Noorse Zee) en gebied IV (Noordzee) verificatie van 1000 mbar prognoses over de periode 1-12-1977 t/m 15-1-1978 van diverse BK4-versies.

De geopotentiële hoogten worden berekend in de snijpunten van de getrokken lijnen terwijl de geostrofische windrichting en -snelheid berekend zijn in de middens van de vierkanten gevormd door de roosterpunten. Deze punten zijn genummerd van (i, j) waarbij i loopt van 1 tot 12 en j van 1 tot 11.



- I BK 4 300, 500, 850 en 1000 mbar (132 punten)
- II BK 4, BRACKNELL, FSNT 1000 mbar (99 punten)
- III Noorse zee (30 punten)
- IV Noordzee (25 punten)

FIG.1

De berekening gaat als volgt:

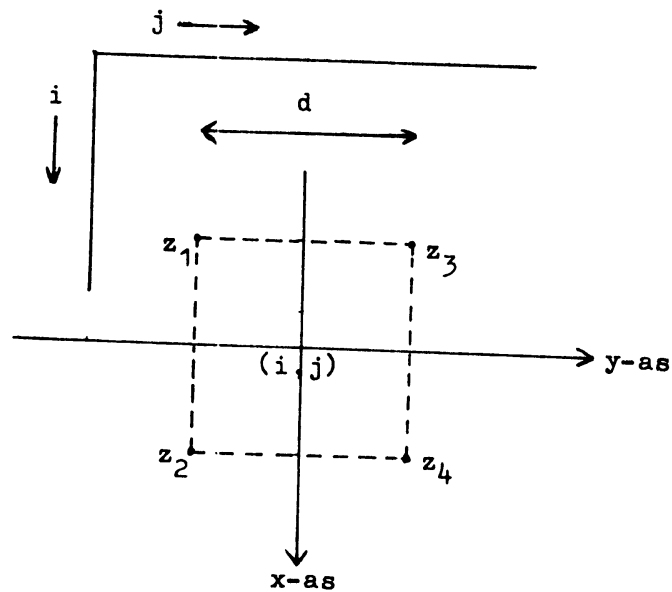


Fig.2

Als  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$  en  $z_4$  de hoogten zijn in de hoekpunten van een rooster-  
vierkant (zie figuur 2) dan kan de hoogte  $z$  binnen dat vierkant volgens  
de bilineaire interpolatie-formule worden weergegeven als:

$$z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

met

$$\begin{aligned} a_0 &= (z_1 + z_2 + z_3 + z_4) / 4, \\ a_1 &= (z_4 - z_3 + z_2 - z_1) / (2d), \\ a_2 &= (z_3 - z_1 + z_4 - z_2) / (2d) \text{ en} \\ a_3 &= (z_1 - z_2 - z_3 + z_4) / (d^2). \end{aligned} \quad (1)$$

Gemakshalve hebben we hier de oorsprong van het assenstelsel gelegd  
in het punt  $(i, j)$  waar geostrofische wind  $\vec{v}_g$  berekend wordt. De  $u$ -  
en  $v$ -componenten worden gegeven door:

$$u = \frac{m \cdot g}{f_0} \frac{\partial z}{\partial x} \quad \text{en} \quad v = \frac{m \cdot g}{f_0} \frac{\partial z}{\partial y} \quad (2)$$



Vanwege de oriëntatie van het rooster in figuur 1 wordt de u-component en de v-component in resp. y- en x-richting gegeven waarbij u positief is in de positieve y-richting en v positief in de negatieve x-richting. (Zie figuur 3.)

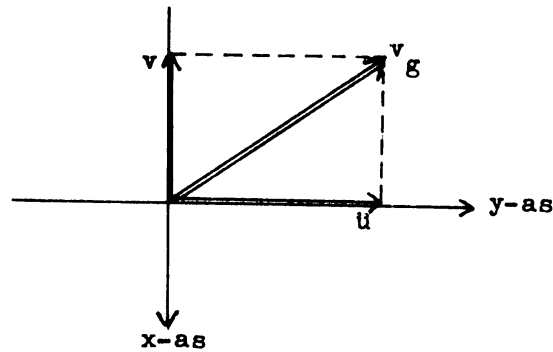


Fig. 3

Uit (1) en (2) volgt dan dat voor het punt (i, j) waar  $x=y=0$  dat

$$u = \frac{10 \cdot m \cdot g}{d \cdot f_0} (z_4 - z_3 + z_2 - z_1) \text{ en} \tag{3}$$

$$v = \frac{10 \cdot m \cdot g}{d \cdot f_0} (z_3 - z_1 + z_4 - z_2)$$

waarbij

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2,$$

$$d = 375 \cdot 10^3 \text{ m},$$

$f_0 = 2\Omega \sin \phi_0$  de Coriolisparameter horende bij breedte  $\phi_0$ ,

$m = \frac{1 + \sin \phi_0}{1 + \sin 60^\circ}$  de kaartschaalfactor horende bij breedte  $\phi_0$ ,

$z_1, z_2, z_3$  en  $z_4$  de geopotentiële hoogten in dam, u en v in knopen worden gegeven en 1 knoop  $\approx 0.5 \text{ m/s}$ .

$\phi_0$  = de karakteristieke breedte horende bij het gebied waarop geverifieerd is nl. voor gebieden I en II  $\phi_0 = 60^\circ \text{ NB}$ , gebied III  $\phi_0 = 70^\circ \text{ NB}$  en gebied IV  $\phi_0 = 55^\circ \text{ NB}$ .

We kunnen nu de grootte  $ff$  en de richting  $dd$  van  $\vec{v}_g$  (zie figuur 4) berekenen volgens:

$$ff = |\vec{v}_g| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

en

$$dd = \alpha + 180^\circ$$

$$\text{met } \alpha = \arctan(u/v), -180^\circ < \alpha \leq +180^\circ. \quad (5)$$

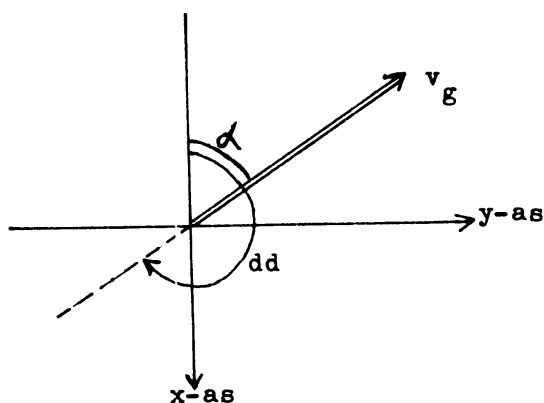


Fig. 4

Als  $u$  en  $v$  beiden 0 zijn kan er geen richting bepaald worden. In dat geval wordt de  $dd$  niet in de berekeningen meegenomen.

Duiden we met de index  $p$  de prognose aan en met  $a$  de analyse beiden geldig voor hetzelfde tijdstip dan kunnen we het gemiddeld windsnelheidsverschil en de RMS-fouten van de windsnelheid en van de windrichting als volg berekenen.

$$\overline{|\vec{v}_p| - |\vec{v}_a|} = \sum_{i,j} (ff_p - ff_a) / N \quad (6)$$

$$RMS_{ff} = \sqrt{\sum_{i,j} (ff_p - ff_a)^2 / N} \quad (7)$$

$$RMS_{dd} = \sqrt{\sum_{i,j} (dd_p - dd_a)^2 / N} \quad (8)$$

In bovenstaande formules is  $N$  het aantal punten waarover gesommeerd is. Het windrichtingsverschil  $dd_p - dd_a$  wordt alléén berekend als  $dd_p$  en  $dd_a$  beiden bekend zijn. Het verschil wordt modulo  $360^\circ$  genomen zodat  $-180^\circ < dd_p - dd_a \leq +180^\circ$ .

Behalve van de windrichting en windsnelheid wordt ook de RMS-fout van het vectorverschil  $\vec{v}_p - \vec{v}_a$  berekend. Zie o.a. figuur 5.

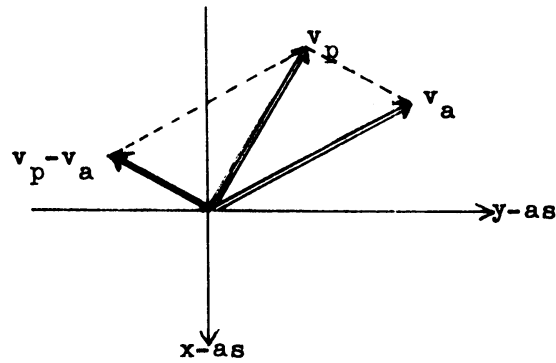


Fig. 5

De RMS-fout wordt:

$$\text{RMS}_{\text{vec}} = \sqrt{\left[ \sum_{i,j} \{ (u_p - u_a)^2 + (v_p - v_a)^2 \} / N \right]} \quad (9)$$

De formules (6), (7), (8) en (9) worden berekend voor de BK4-prognoses, +12 en +24 uren prognoses van het 10-lagen model uit Bracknell, de +24 uren FSNT uit Amerika en de persistentie. Kennen we de fout van de persistentie dan kunnen we de scores berekenen (methode van Kuipers).

$$\text{score}_{\text{ff}} = 1 - \text{RMS}_{\text{ff}}(\text{prog}) / \text{RMS}_{\text{ff}}(\text{persistentie}) \quad (10)$$

$$\text{score}_{\text{dd}} = 1 - \text{RMS}_{\text{dd}}(\text{prog}) / \text{RMS}_{\text{dd}}(\text{persistentie}) \quad (11)$$

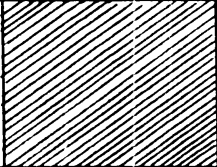
$$\text{score}_{\text{vec}} = 1 - \text{RMS}_{\text{vec}}(\text{prog}) / \text{RMS}_{\text{vec}}(\text{persistentie}) \quad (12)$$

We zien dus dat voor de volmaakte prognose met  $\text{RMS} = 0$  de  $\text{score} = 1$  en dat voor de prognose die even slecht is als de persistentie de  $\text{score} = 0$ ;

De berekeningen volgens (6), (7), (8), (10) en (11) van dd en ff worden op 2 manieren uitgevoerd nl.:

- 1.) De sommatie vindt plaats over alle punten waarvoor de ff en dd berekend zijn. Dus alleen de punten waarvoor  $u=v=0$  en dd dus niet bekend is doen niet mee.
- 2.) De sommatie vindt plaats over de punten met weglating van die gevallen waarvoor  $ff_p$  en  $ff_a < 15$  knopen zijn.

De reden van laatstgenoemde keuze is dat de golf- en wateropzetprognoses voor gebieden met een voorspelde en opgetreden windsnelheid kleiner dan een bepaalde bovengrens totaal oninteressant zijn. We hebben voor die bovengrens een waarde van  $\approx 10$  knopen werkelijk gemeten wind genomen, zodat rekening houdend met de wrijving  $|\vec{v}_g| = 15$  knopen is. Als  $ff_p = ff_a$  met  $ff_p$  en  $ff_a \geq 15$  knopen dan zal de prognose als goed gewaardeerd worden. Als  $ff_p \geq 15$  knopen en  $ff_a < 15$  knopen dan zal de waardering slecht zijn. Nog slechter wordt de waardering als  $ff_p < 15$  knopen en  $ff_a \geq 15$  knopen. (Als voorbeeld: het missen van een depressie is ernstiger dan het onterecht voorspellen ervan). Zie ook figuur 6.

Prognose →		
	ff < 15 kts	ff > 15 kts
Analyse +		
ff < 15 kts		B
ff > 15 kts	C	A

Waarde voor gebruiker van golf- en wateropzetprognoses A = goed ( $ff_p = ff_a$ )  
 B = slecht  
 C = zeer slecht

Fig. 6

Een tweede reden is dat de waarde van de RMS-fout vooral beïnvloed wordt door die punten waarvoor de fout het grootste is ook als dat aantal op het totale aantal betrekkelijk gering is. Van de windrichting dd is bekend dat de fout het grootst is in de gevallen met zwakke wind. Dus de gevallen die voor golf- en wateropzet-prognoses niet interessant zijn zouden dan toch een betrekkelijk grote invloed hebben op de RMS<sub>dd</sub>-fout.

Naast de objectieve verificatie is ook een subjectieve verificatie van het voorspelde stromingspatroon uitgevoerd d.m.v. een cijferwaarde-ring. Bij dit systeem wordt zowel naar de richting als naar de grootte van de gradiënt (= omgenummerde geo-wind) gekeken. Uit ervaring is gebleken dat het uiteindelijke cijfer vooral bepaald wordt door de klassen A, B en C van figuur 6. Dus de gebieden met wat krachtiger gradiënt. Er zijn twee systemen gehanteerd nl. een indeling lopend van 1 t/m 5 die gehanteerd is door Van der Hoek en Grendel in 1976 en de indeling 1 t/m 10, die door de meteorologen is gevolgd.

De subjectieve schaal ziet er als volgt uit:

Tabel 1

Van der Hoek en Grendel		Meteorologen	
Stromingspatroon (gradiënt)	klasse	Stromingspatroon (gradiënt)	klasse
Uitmuntend	5	Congruent met de analyse	10
Goed	4	Goed	8
Matig	3	Matig (bruikbaar voor de praktijk)	6
Slecht	2	Slecht	4
Zeer slecht	1	Zeer slecht	2
Volkomen onzin	0	Volkomen onzin	0

Theoretisch kan men stellen dat de subjectieve klasse  $kl$  een functie  $F$  is van de RMS-fouten van windrichting en -snelheid zodat

$$kl = F(RMS_{ff}, RMS_{dd}) \quad (13)$$

M.b.v. een Taylor-reeks ontwikkeling krijgen we dan

$$kl = kl_0 + \left(\frac{\partial F}{\partial RMS_{ff}}\right)_0 \cdot \Delta RMS_{ff} + \left(\frac{\partial F}{\partial RMS_{dd}}\right)_0 \cdot \Delta RMS_{dd} + \text{hogere orde termen} \quad (14)$$

met

$$\Delta RMS_{ff} = RMS_{ff} - (RMS_{ff})_0$$

$$\Delta RMS_{dd} = RMS_{dd} - (RMS_{dd})_0 \quad \text{en}$$

$$kl_0 = F((RMS_{ff})_0, (RMS_{dd})_0)$$

$(RMS_{ff})_0$  en  $(RMS_{dd})_0$  zijn vaste waarden die het beste zo gekozen kunnen worden dat ze in het midden vallen van het interval waarop we de functie  $F$  willen benaderen. De klasse  $kl_0$  wordt bepaald door de waardering die men subjectief wil toekennen aan de prognose met RMS-fouten gelijk aan  $(RMS_{ff})_0$  en  $(RMS_{dd})_0$ .

Formule (14) kan ook geschreven worden als

$$kl = \alpha \cdot RMS_{ff} + \beta \cdot RMS_{dd} + \gamma \quad \text{met} \quad (15)$$

$$\alpha = \left(\frac{\partial F}{\partial RMS_{ff}}\right)_0, \quad \beta = \left(\frac{\partial F}{\partial RMS_{dd}}\right)_0 \quad \text{en} \quad \gamma = kl_0 - \alpha (RMS_{ff})_0 - \beta (RMS_{dd})_0$$

Uit (15) volgt dat voor de volmaakte prognose met  $RMS_{ff} = RMS_{dd} = 0$  geldt dat  $kl = \gamma$ .

In de praktijk is het zo dat, m.b.v. de subjectieve scores  $kl$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  volgens de kleinste kwadraten-methodiek bepaald worden (regressie met twee variabelen). Na die bepaling kan nagegaan worden welk cijfer de volmaakte prog ( $kl = \gamma$ ) heeft gekregen zodat gecontroleerd kan worden of de gehanteerde subjectieve schaal te hoog of te laag is geweest. We moeten bij dit alles echter wel bedenken dat de hier gevolgde methodiek

geheel gebaseerd is op de veronderstelling dat een subjectieve cijferwaardering lineair afhangt van de RMS-fouten van windrichting en windsnelheid.

In het volgende hoofdstuk zal de relatie (15) nader onderzocht worden.

### III. Onderzoek en resultaten

Gedurende de maanden oktober en november 1976 zijn door Van der Hoek en Grendel de +12 en +24 uren 1000 mbar-prognoses gebaseerd op de gegevens van 00 en 12 GMT van de versie BK4-3 subjectief geverifiëerd volgens de waardering van tabel 1. De gebruikte BK4-versie had als invoer de operationele KNMI-analyses van 300, 500 en 850 mbar op de achthoek en de hemisferische grondkaart-analyses uit Bracknell.

Deze werden d.m.v. een simpele omnummering volgens

$$z_{1000} = (p_{\text{grondkaart}} - 1000) \times 0.8 \quad (16)$$

omgezet naar 1000 mbar hoogtes.

Hierbij zijn  $p_{\text{grondkaart}}$  in mbar en  $z_{1000}$  in dam gegeven. Een verschil van 1 mbar is gelijk aan 0.8 dekameter.

Voor het uitvoeren van een subjectieve beoordeling heeft men het probleem van het vastleggen van de schaal. Voor de volmaakte prognose met  $\text{RMS}_{\text{ff}} = \text{RMS}_{\text{dd}} = 0$  die dus eenduidig vastligt wordt een 5 gegeven. De onderkant van de schaal, nl. wat men verstaat onder volmaakte onzin prognoses met een 0, is persoonsafhankelijk. Hieruit volgt dat voor dezelfde serie prognoses tussen twee personen een gemiddeld verschil in waardering kan bestaan (optimistische en pessimistische beoordelaars) en een relatief verschil d.w.z. dat een verschil in klasse van 1 punt bij een ander groter of kleiner kan zijn. Het probleem wordt enigszins vergroot door het feit dat er geen volmaakte prognoses zijn, zodat de klasse die wél eenduidig vastligt nooit zal voorkomen in een verificatierEEKS.

$\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  zijn bepaald m.b.v. de cijferwaarderingen van de +12 en +24 uren prognoses van 20-10-1976 00 GMT t/m 30-10-1976 12 GMT (totaal 43 prognoses). Deze zijn gecorreleerd met  $\text{RMS}_{\text{ff}}$  en  $\text{RMS}_{\text{dd}}$  volgens de methodiek van de kleinste kwadraten d.w.z. dat

$$\sum_i \{kl_i - \alpha (\text{RMS}_{ff})_i - \beta (\text{RMS}_{dd})_i - \gamma\}^2 = \text{minimaal} \quad (17)$$

waarbij gesommeerd is over de 43 prognoses. Voor de berekeningen zijn de RMS-fouten van de hogere windsnelheden (voorspeld en/of opgetreden  $\geq 15$  knopen). Het volgende resultaat werd gevonden:

$$kl = -0.10 \text{ RMS}_{ff} - 0.020 \text{ RMS}_{dd} + 5.4 \quad (18)$$

Uit (18) volgt dat we voor de volmaakte prognose vinden dat  $kl = 5.4$ , dus 0.4 punt hoger dan afgesproken volgens tabel 1. Dit zou kunnen betekenen dat de subjectieve beoordeling i.h.a. iets te optimistisch was of dat wellicht het veronderstelde lineaire verband van (15) niet goed meer opgaat voor dat extreme geval.

Relatie (18) is uitgetest op de +12 en +24 uren 1000 mbar prognoses van de maand november 1976. Hiervan zijn de prognoses van 1-11-1976 00 GMT t/m 20-11-1976 00 GMT door Van der Hoek beoordeeld (74 prognoses) en die van 20-11-1976 12 GMT t/m 30-11-1976 12 GMT door Grendel (42 prognoses). De beoordeling is uitgevoerd t.o.v. de hand-analyses van de meteorologen. Het gemiddeld verschil tussen de  $kl$  van de computer en Van der Hoek bedroeg  $\approx -0.3$  met een standaardafwijking van  $\approx 0.5$ . Voor Grendel bedroeg het gemiddelde verschil  $\approx +0.5$  en was de standaardafwijking  $\approx 0.6$ . De gevonden standaardafwijkingen over de maand november waren niet noemenswaard groter dan die voor oktober op het afhankelijke materiaal. Deze resultaten waren voldoende aanleiding om te stoppen met het subjectief verifiëren en dit voortaan m.b.v. relatie (18) door de computer te laten uitvoeren.

Vanaf 1 december 1976 zijn de gradiënt-verificaties met de berekende klassen 2 x daags door MBW op routine-basis uitgevoerd. Geverifiëerd werden de +12 en +24 uren prognoses van BK4, de +12 en +24 uren grondkaart prognoses van het 10-lagen model uit Bracknell en de +24 uren grondkaart FSNT van het Amerikaanse model. Deze verificaties werden uitgevoerd t.o.v. Engelse analyses. Toegepast werd een versie van BK4 met als invoer de 500 mbar en grondkaart-analyses van het noordelijk halfrond uit Bracknell. M.b.v. een regressieformule werden 300 en 850 mbar berekend. De organisatie en bewerking van de gegevens is uitgevoerd door Brouwer. De resultaten hiervan zullen apart gepubliceerd worden. Voor een beknopte beschrijving van de toegepaste BK4-versie



( BAROK4NOO5) zie bijlage I

In het kader van de operationele invoer van golf- en wateropzet-prognoses gebaseerd op BK4-prognoses eind 1978, waarbij de BK4 gebruik zou maken van eigen 300, 500, 850 en 1000 mbar KNMI-analyses (Cressman), werd besloten tot het uitvoeren van een aantal experimenten met diverse versies van BK4. Gekozen werd de periode van 1 december 1977 t/m 15 januari 1978. In deze periode kwamen ná 20 december ook een aantal stormvloedsituaties voor. De volgende doelstellingen werden onderzocht:

- 1.) Na te gaan of het operationeel in te voeren systeem wat betreft de objectieve analyses (zowel Cressman-analyses op de achthoek als telescoopanalyses op het kleinere telescoop-gebied) zonder bijsturing gedraaid konden worden.
- 2.) Het uittesten van diverse BK4-versies (zowel grofmazige achthoek- als fijnmazige telescoop-versie) m.b.t. de te leveren windprognoses voor golven- en wateropzetten en trajectorieënmodel en bovendien verticale bewegingen voor trajectorieën en korte termijn neerslagverwachtingen. Opgemerkt moet hier worden dat voor trajectorieënprognoses situaties met zwakke winden wél van belang zijn.

De gradiënt-verificaties zijn daarom zowel uitgevoerd voor alle windsnelheden als voor de punten met  $ff_a$  of  $ff_p > 15$  knopen.

In bijlage 1 wordt een korte omschrijving gegeven van de 5 BK4-versies die op de gradiënt geverifiëerd zijn. De 5 versies worden hier voor het gemak T1 t/m T5 genoemd.

Voorlopig werd, om redenen van continuïteit met de oorspronkelijke operationele BK3-versie, besloten dat de versie T4 operationeel zou worden.

Voor het onderzoek van dit verslag zijn de door Timmerman geselecteerde stormvloedsituaties gekozen. Deze omvatten 12 situaties verdeeld over 5 stormvloed. Door 6 meteorologen zijn van de versies T3 en T4 de +12 en +24 uren 1000 mbar prognoses voor gebied IV (Noordzee en omgeving) van figuur 1 subjectief op het stromingspatroon geverifiëerd. De gehanteerde schaal loopt van 0 t/m 10 en wordt in tabel 1 gegeven. Deze schaal bleek voor de praktijk beter te voldoen dan de tot nu toe

gehanteerde schaal van 0 t/m 5, omdat prognoses die volgens de laatste schaal met een tussengelegen cijfer gewaardeerd zouden moeten worden nu een geheel cijfer krijgen. Gekozen werd voor verificatie van zowel T3 als T4 omdat er een duidelijk verschil bestond tussen de +24 uren prognoses van die versies voor de geselecteerde 12 stormvloedsituaties. De vraag was of de meteorologen dat ook zouden constateren.

Vóór de uitvoering van de proef werden de +12 en +24 uren prognoses willekeurig genummerd (+12 van 1 t/m 24 en +24 van 25 t/m 48) en de uitvoer zodanig aangepast dat men niet kon nagaan van welke versie (T3 of T4) de prognoses afkomstig waren. In de gebruikte overlays met geografische achtergrond was alléén gebied IV nog zichtbaar zodat men bij het verifiëren niet afgeleid werd door gedeelten van de regel-dukker-uitvoer die buiten gebied IV vielen en waar het resultaat van de prognoses wellicht tot een ander oordeel aanleiding had gegeven. De gehanteerde nummering van de prognoses wordt in tabel 2 gegeven (zie bijlage 1).

In tabel 3 worden de cijfer-waarderingen van de 6 meteorologen en die van de computer gegeven. De waarderingen van de computer zijn met formule (18) berekend en in overeenstemming met de schaal van de meteorologen met twee vermenigvuldigd.

TABEL 3

Prog geldig	Van der Goot		Stel		Van Realten		Lank- warden		Vinke		Haytink		computer	
	+12	+24	+12	+24	+12	+24	+12	+24	+12	+24	+12	+24	+12	+24
dec. '77	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4	T3 T4
2412	7 6 4 3	8 6 5 4	8 6 6 3	7 7 4 4	7 6 4 4	7 6 3 3	7 6 3 1	7 6 4 3	7 6 3 1	7 6 4 3	7 6 4 3	7 6 4 3	8.8 8.4 6.8	8.8 8.4 6.8
2500	7 8 5 6	8 7.5 7 6	8 7 4 6	6 6 5 4	6 6 5 4	6 6 3 3	6 6 4 4	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	8.4 8.0 8.0	8.4 8.0 8.0
2712	7 8 4 5	8 5.5 6 6.5	7 8 5 4	7 8 4 4	6 6 5 4	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	7.4 8.0 7.4	7.4 8.0 7.4
2800	6 7 4 5	7.5 5.5 7.5 5.5	8 7 8 7	8 7 8 7	6 6 5 4	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	6 6 3 3	8.4 8.6 7.8	8.4 8.6 7.8
2812	7 6 6 5	7.5 6 8 6.5	6 6 4 5	6 6 4 5	7 7 5 6	7 7 3 2	7 7 3 2	7 7 3 2	7 7 3 2	7 7 3 2	7 7 3 2	7 7 3 2	7.8 7.8 7.8	7.8 7.8 7.8
3000	6 7 4 2	7.5 7.5 4 2	6 8 4 2	6 8 4 2	7 8 3 2	7 8 3 2	7 8 3 2	7 8 3 2	7 8 3 2	7 8 3 2	7 8 3 2	7 8 3 2	8.4 8.0 7.4	8.4 8.0 7.4
3012	6 8 6 5	7.5 9 8 6	8 8 6 5	8 8 6 5	8 7 5 4	8 7 5 4	8 7 5 4	8 7 5 4	8 7 5 4	8 7 5 4	8 7 5 4	8 7 5 4	8.8 8.8 7.8	8.8 8.8 7.8
3100	7 7 5 4	7.5 7.5 6.5 6	8 7 6 5	8 7 6 5	8 7 4 3	8 7 4 3	8 7 4 3	8 7 4 3	8 7 4 3	8 7 4 3	8 7 4 3	8 7 4 3	8.8 8.6 6.8	8.8 8.6 6.8
jan. '78														
0312	6 5 4 5	7 6 5 5	7 6 6 4	7 8 6 5	7 8 6 5	6 5 5 4	6 5 5 4	6 5 5 4	6 5 5 4	6 5 5 4	6 5 5 4	6 5 5 4	7.8 7.8 6.4	7.8 7.8 6.4
0400	7 6 4 4	6.5 5.5 11.5 5	6 3 5 5	6 3 5 5	3 5 3 4	3 5 3 4	3 5 3 4	3 5 3 4	3 5 3 4	3 5 3 4	3 5 3 4	3 5 3 4	8.2 6.6 6.4	8.2 6.6 6.4
1112	4 7 2 3	8.5 8.5 4 5	6 6 5 5	6 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	5 6 5 5	7.4 8.2 5.0	7.4 8.2 5.0
1200	8 7 5 6	9 8.5 6 6	8 6 6 4	8 7 7 6	8 7 7 6	5 4 7 4	5 4 7 4	5 4 7 4	5 4 7 4	5 4 7 4	5 4 7 4	5 4 7 4	8.4 7.6 6.4	8.4 7.6 6.4

Cijfer-waarderingen van +12 en +24 uurs-prognoses van 2 BK4-versies  
( T3 en T4 ) door zes meteorologen en de computer (geijkt op van der Hoek).

De gemiddelde waarderungen per prognose van de 6 meteorologen worden in tabel 4 gegeven. We nemen nu aan dat per prognose de cijferwaarderungen van alle meteorologen normaal verdeeld zijn. Als  $s$  de berekende standaardafwijking per prognose is, dan ligt volgens de t-toets met 5 vrijheidsgraden 95% van alle individuele waarderungen in het interval  $kl_{gem} \pm 2.57s_{gem}$ , en is de kans 95% dat de gemiddelde waardering ligt in het interval  $kl_{gem} \pm 2.57s_{gem}$ . Hierbij is  $kl_{gem}$  de gemiddelde cijferwaardering en  $s_{gem} = s/\sqrt{6}$ . De grootheden  $2.57s$  en  $2.57s_{gem}$  worden ook in tabel 4 gegeven.

Tabel 4.

Prog geldig voor:	+12-prognoses						+24-prognoses					
	T3	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	T4	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	T3	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	T4	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
dec. '77												
2412	7.3	1.3	0.5	6.2	1.1	0.4	4.3	2.7	1.1	3.0	2.8	1.1
2500	7.2	1.9	0.8	7.1	1.7	0.7	5.3	2.7	1.1	4.8	3.4	1.4
2712	6.8	1.9	0.8	6.8	2.8	1.1	4.7	2.7	1.1	4.6	3.1	1.3
2800	6.6	2.9	1.2	6.3	3.2	1.3	6.6	4.3	1.8	5.6	3.1	1.3
2812	6.6	2.4	1.0	6.0	2.8	1.1	5.5	4.8	2.0	5.9	2.1	0.8
3000	6.4	1.7	0.7	7.1	2.4	1.0	3.8	1.9	0.8	1.7	1.3	0.5
3012	7.3	2.0	0.8	7.7	2.1	0.9	6.0	2.8	1.1	5.0	3.6	1.5
3100	7.1	2.4	1.0	6.8	1.6	0.6	5.1	1.3	0.5	4.2	3.0	1.2
jan. '78												
0312	6.5	1.4	0.6	5.8	3.0	1.2	5.0	2.3	0.9	4.5	1.4	0.6
0400	5.4	4.9	2.0	4.6	3.3	1.4	4.4	2.6	1.1	4.7	2.1	0.9
1112	5.9	4.3	1.8	7.3	2.3	0.9	4.2	3.0	1.2	4.0	3.3	1.3
1200	7.7	3.5	1.4	6.8	4.2	1.7	6.3	2.1	0.9	5.5	3.2	1.3

Gemiddelde cijfer-waardering van de meteorologen voor de 12 stormvloed-situaties met standaarddeviatie en standaarddeviatie van het gemiddelde.

$$S_1 = 2.57 \times \text{standaard-deviatie}$$

$$S_2 = 2.57 \times \text{standaard-deviatie van het gemiddelde.}$$

Uit tabel 3 volgt dat per prognose de waardering van de meteorologen sterk uiteen kan lopen. De grootste verschillen worden gevonden voor de +12 uurs-prognose van T3 geldig voor 4 januari 00 GMT met een waardering van 3 t/m 7 en voor de +24 uurs-prognose van T3 voor 28 december 00 GMT met een waardering van 4 t/m 8.

In tabel 5 wordt het verband gegeven tussen de cijfer-waardering gemiddeld over de 12 geselecteerde situaties van de meteorologen en die van de computer.

Tabel 5.

Meteoroloog +	+12-prognoses+			+24-prognoses+			(T3+12)- (T4+12)-	
	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	(T3+24)+ (T4+24)+	
Van der Goot	6.50	6.83	-0.33	4.42	4.42	0.00	2.08	2.41
Stel	7.71	6.92	+0.81	5.96	5.29	+0.67	1.75	1.63
Van Raalten	7.17	6.67	+0.50	5.42	4.58	+0.84	1.75	2.09
Lankwarden	6.50	6.58	-0.08	5.00	4.58	+0.42	1.50	2.00
Vinke	5.75	5.50	+0.25	4.58	3.50	+1.08	1.17	2.00
Haytink	6.58	6.58	0.00	5.25	4.33	+0.92	1.33	2.25
Computer	8.22	8.03	+0.19	7.00	6.10	+0.90	1.22	1.93
Gemiddelde van 6 meteorologen	6.70	6.51	+0.19	5.11	4.45	+0.66	1.60	2.06
2.57 s	1.72	1.32	1.07	1.45	1.48	1.00	0.85	0.68
2.57 s <sub>m</sub>	0.71	0.54	0.44	0.59	0.60	0.41	0.35	0.28
Vershil: Computer-gemiddelde meteoroloog	+1.52	+1.52	0.00	+1.89	+1.65	+0.24	-0.38	-0.13
Significantie computer: t.o.v. individuele meteoroloog:	niet	wel	niet	wel	wel	niet	niet	niet
t.o.v. gemiddelde meteoroloog:	wel	wel	niet	wel	wel	niet	wel	niet

Gemiddelde cijfer-waardering van de 12 situaties per meteoroloog met de verschillen tussen de BK4-versies T3 en T4 en de +12 en +24 uren-prognoses.

Onderzocht is het verband tussen de waardering van de computer en die van de individuele meteorologen en de gemiddelde waardering van de 6 meteorologen. Kijken we naar de cijfers van de +12 en de +24 uren-prognoses van T3 en T4, dan blijkt in het algemeen de waardering van de computer hoger uit te vallen. Dit geldt zowel t.a.v. de individuele meteoroloog (met uitzondering van de +12 prognoses van T3) als t.a.v. het gemiddelde van de 6 meteorologen. Het gehele cijfer-niveau van de computer

is ruim 1.5 punt hoger. Kijken we echter naar de verschillen tussen de versies T3 en T4 voor de +12 en +24 uurs-prognoses, dan blijken er geen verschillen te zijn tussen de computer en de meteorologen. Kijken we naar de verschillen tussen de +12 en +24 uurs-prognoses van beide modellen, dan blijkt er voor T3 verschil te zijn tussen de computer en het gemiddelde van 6 meteorologen. Er is dus wat betreft het verschil in kwaliteit tussen T3 en T4 geen verschil in onderscheidingsvermogen tussen de computer en de individuele meteoroloog en tussen de computer en de gemiddelde meteoroloog. De gemiddelde meteoroloog constateert echter wel een groter verschil tussen de +12 en +24 uurs-prognoses van T3 dan de computer.

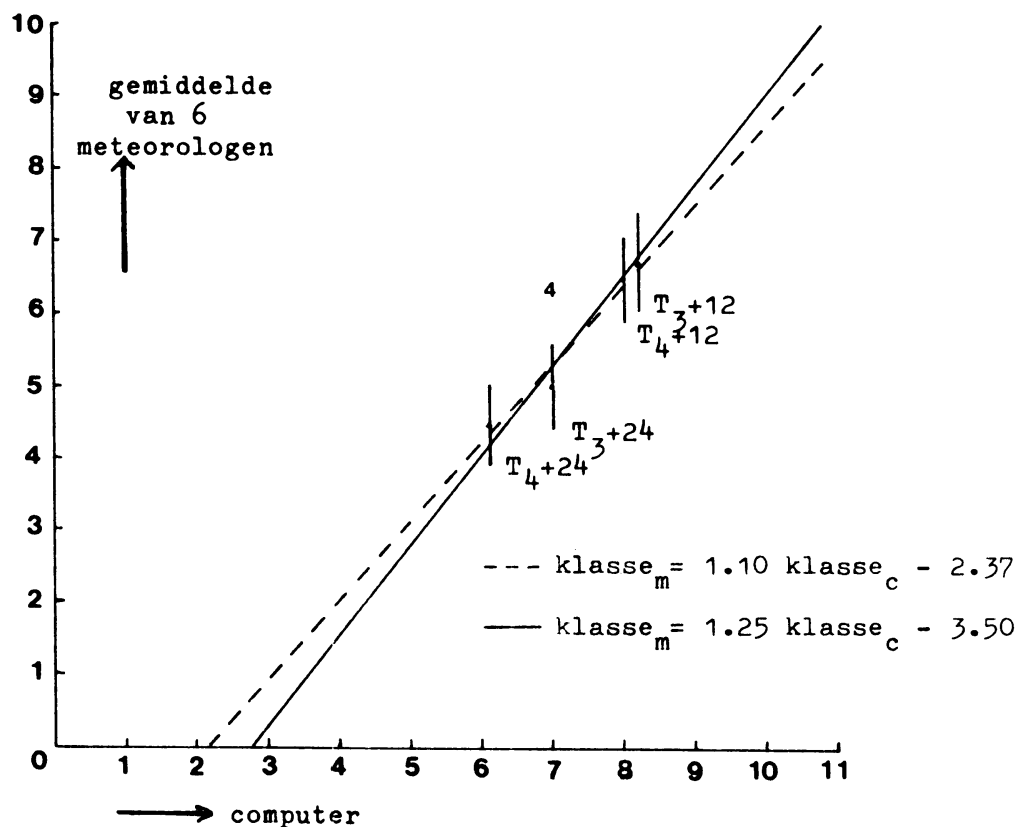


Fig. 7

In fig. 7 wordt het verband tussen de cijfer-waardering van de computer en die van de "gemiddelde" meteoroloog voor het gemiddelde van de 12 situaties grafisch weergegeven. De gestippelde rechte is berekend door de gemiddelde waarderingen van +12 en +24 uurs-prognoses van T3 en T4 van de computer te correleren met die van de "gemiddelde" meteoroloog, waarbij

$$\text{klasse}_m = 1.10 \text{ klasse}_c - 2.37 \quad (19)$$

met

klasse<sub>m</sub> de klasse van de meteoroloog en klasse<sub>c</sub> die van de computer. Het feit dat er een lineair verband bestaat impliceert dat de verhouding tussen  $\alpha$  en  $\beta$  van (15) constant is (zie bijlage 2). Dit opent de mogelijkheid om op eenvoudige wijze de methodiek verder te verfijnen.

Uit (18) volgt dat de volmaakte prognose van de computer het cijfer  $2 \times 5.4 = 10.8$  krijgt. Volgens (19) geeft de meteoroloog in dat geval 9.5.

Afgesproken was dat de volmaakte prognose van de meteoroloog een 10 zou krijgen. (Zie tabel 1). Het cijfer 9.5 ligt hier niet ver van af. Het is mogelijk (19) zodanig te corrigeren dat er een lineair verband is waarbij de volmaakte prognose door de meteoroloog met een 10 wordt gehonoreerd. Zie de getrokken rechte in afbeelding 2 waarvoor geldt

$$\text{klasse}_m = 1.25 \text{ klasse}_c - 3.50 \quad (20)$$

Tot nu toe hebben we het verband tussen de gemiddelde cijfer-waarden van de 12 situaties van de computer en de meteorologen onderzocht, waarbij een goede overeenstemming werd gevonden. Per individuele situatie hoeft dit echter niet het geval te zijn. Om dit te onderzoeken zijn de 12 situaties onderverdeeld in de volgende vijf stormvloed en met ieder een andere stormdepressie.

Tabel 6.

Stormvloed	Prognoses geldig voor de situaties
1	77122412 en 77122500
2	77122712, 77122800 en 77122812
3	77123000, 77123012 en 77123100
4	78010312 en 78010400
5	78011112 en 78011200

Onderverdeling van de 12 geselecteerde situaties in 5 stormvloed en.

Uit tabel 6 volgt dat de 5 stormvloedën gescheiden zijn door perioden van 36 uur of langer, zodat ze redelijk onafhankelijk zijn t.o.v. elkaar. De resultaten van de vergelijking tussen computer en meteorologen per stormvloed worden voor de +12 uurs-prognoses van T3 en T4 gegeven in tabel 7 en voor de +24 uurs-prognoses in tabel 8. Ook hier blijkt de computer in het algemeen een hogere waardering te geven dan de meteorologen. Wat de verschillen tussen T3 en T4 betreft zien we geen verschil tussen de computer en de individuele meteorologen en ook niet tussen de computer en de "gemiddelde" meteoroloog. Dus ook voor de afzonderlijke stormvloedën vertoont de computer bij het beoordelen van verschillen tussen prognoses hetzelfde gedrag als de meteorologen. Het absolute waarderingniveau van de computer ligt echter hoger. M.b.v. relatie (20) kan hiervoor gecorrigeerd worden. Na het aanbrengen van die correctie is de nieuwe cijferwaardering van de computer in tabel 9 weer vergeleken met die van de individuele en de "gemiddelde" meteoroloog. Vergeleken zijn de +12 en +24 uurs-prognoses van T3 en T4 gemiddeld over de 12 situaties, voor de 5 stormvloedën afzonderlijk en voor iedere situatie afzonderlijk.



TABEL 7

Stormvloed: →	1			2			3			4			5			
	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	
BK4-model →																
Van der Goot	7	7	0	6.7	7	-0.3	6.3	7.3	-1.0	6.5	5.5	+1.0	6	7	-1.0	
Stel	8	6.8	+1.2	7.7	5.7	+2.0	7.5	8	-0.5	6.8	5.8	+1.0	8.8	8.5	+0.3	
Van Raalten	8	6.5	+1.5	7	7	0	7.3	7.7	-0.4	6.5	4.5	+2.0	7	7	0	
Lankwarden	6.5	6.5	0	6.3	6	+0.3	7.7	7.3	+0.4	5	6.5	-1.5	6.5	6.5	0	
Vinke	7	6.5	+0.5	5.3	5	+0.3	6.3	6.3	0	4.5	4	+0.5	5.5	5.5	0	
Haytink	7	6.5	+0.5	7	7.3	-0.3	6.3	6.3	0	6.5	5	+1.5	6	7.5	-1.5	
Computer	8.6	8.2	+0.4	7.9	8.1	-0.2	8.7	8.5	+0.2	8.0	7.2	+0.8	7.9	7.9	0	
Gemiddelde																
6 meteorologen	7.3	6.6	+0.6	6.7	6.3	+0.3	6.9	7.2	-0.3	6.0	5.2	+0.8	6.6	7.0	-0.4	
2.57 s	1.5	0.5	1.5	2.1	2.3	2.2	1.7	1.8	1.3	2.4	2.3	3.1	3.1	2.6	1.8	
2.57 sm	0.6	0.3	0.6	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.5	1.0	0.9	1.3	1.3	1.0	0.8	
Vershil																
computer-gemiddelde meteoroloog	1.3	1.6	-0.2	1.2	1.8	-0.5	1.8	1.3	+0.5	2.0	2.0	0	1.3	0.9	+0.4	
Significantie computer:																
t.o.v. individuele meteoroloog	nee	ja	nee	nee	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	
t.o.v. gemiddelde meteoroloog	ja	ja	nee	ja	ja	nee	ja	ja	nee	ja	ja	nee	nee	nee	nee	

Cijferwaardering van de 12 urs-prognoses opgesplitst naar 5 stormvloeden.

TABEL 8

Stormvloed:→	1		2		3		4		5			
	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4	T3	T4	T3-T4
BK4-model →												
Van der Goot	4.5	4.5	0	4.7	5	-0.3	5	3.7	+1.3	4	4.5	-0.5
Stel	6	5	+1	7.2	6.2	+1.0	6.2	4.7	+1.5	4.8	5	-0.2
Van Raalten	5	4.5	+0.5	5.7	5.3	+0.4	5.3	4	+1.3	5.5	4.5	+1.0
Lankwarden	4.5	4	+0.5	6	5	+1.0	4	4	0	4.5	4.5	0
Vinke	4.5	2.5	+2.0	3.7	4.3	-0.6	4.3	2.7	+1.6	5.5	5	+0.5
Haytink	4.5	3	+1.5	6.3	6.3	0	5	2.7	+2.3	4	4	0
Computer	7.4	6.3	+1.1	7.7	7.0	+0.7	7.3	5.6	+1.7	6.4	5.8	+0.6
Gemiddelde 6 meteorologen	4.8	3.9	+0.9	5.6	5.4	+0.3	5.0	3.6	+1.3	4.7	4.6	+0.1
2.57 s	1.5	2.4	1.9	3.2	1.9	1.7	2.1	2.1	1.9	1.8	1.0	1.4
2.57 s <sub>m</sub>	0.6	1.0	0.8	1.3	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.4	0.5
Verschil computer-gemiddelde meteoroloog	2.6	2.4	+0.2	2.0	1.6	+0.4	2.3	2.0	+0.4	1.7	1.2	+0.5
Significante computer: t.o.v. individuele meteoroloog	ja	nee	nee	nee	nee	nee	ja	nee	nee	nee	ja	nee
t.o.v. Gemiddelde meteoroloog	ja	nee	nee	ja	ja	nee	ja	ja	nee	ja	ja	nee

Cijferwaardering van de 24 uurs-prognoses opgesplitst naar 5 stormvloeden.

TABEL 9

Gem. 12 situaties →	+ 12-prognoses				+ 24-prognoses											
	T3c-T3m		T4c-T4m		T3c-T3m		T4c-T4m									
	A	B	A	B	A	B	A	B								
Stormvl. 1	6.78	+0.08	-	-	6.54	+0.03	-	-	5.25	+0.14	-	-	4.13	-0.32	-	-
Stormvl. 2	7.3	0.0	-	-	6.8	+0.2	-	-	5.8	+1.0	-	+	4.4	+0.5	-	-
Stormvl. 3	6.4	-0.3	-	-	6.6	+0.3	-	-	6.1	+0.5	-	-	5.3	-0.1	-	-
Stormvl. 4	7.4	+0.5	-	-	7.1	-0.1	-	-	5.6	+0.6	-	-	3.5	-0.1	-	-
Stormvl. 5	6.5	+0.5	-	-	5.5	+0.3	-	-	4.5	-0.2	-	+	3.8	-0.8	-	+
Stormvl. 5	6.4	-0.2	-	-	6.4	-0.6	-	-	3.6	-1.7	-	+	3.5	-1.3	-	+
situatie: dec. '77																
2412	7.5	+0.2	-	-	7.0	+0.8	-	+	5.0	+0.7	-	-	4.0	+1.0	-	-
2500	7.0	+0.2	-	-	6.5	-0.6	-	-	6.5	+1.2	-	+	4.8	0	-	-
2712	5.8	-1.0	-	+	6.5	-0.3	-	-	5.8	+1.1	-	+	4.3	-0.3	-	-
2800	7.0	+0.4	-	-	7.3	+1.0	-	-	6.3	-0.3	-	-	6.3	+0.7	-	-
2812	6.3	-0.3	-	-	6.3	+0.3	-	-	6.3	+0.8	-	-	5.3	-0.6	-	-
3000	7.0	+0.6	-	-	6.5	-0.6	-	-	5.9	+2.0	+	+	2.5	+0.8	-	+
3012	7.5	+0.2	-	-	7.5	-0.2	-	-	6.3	+0.3	-	-	4.5	-0.5	-	-
3100	7.5	+0.4	-	-	7.3	+0.5	-	-	5.0	-0.1	-	-	3.5	-0.7	-	-
jan. '78																
0312	6.3	-0.2	-	-	6.3	+0.5	-	-	4.5	-0.5	-	-	3.5	-1.0	-	+
0400	6.8	+1.4	-	-	4.8	+0.2	-	-	4.5	+0.1	-	-	4.9	-0.7	-	-
1112	5.8	-0.1	-	-	6.8	-0.5	-	-	2.8	-1.4	-	+	2.5	-1.5	-	+
1200	7.0	-0.7	-	-	6.0	-0.8	-	-	4.5	-1.8	-	+	4.5	-1.0	-	-

Vergelijking van de gecorrigeerde cijferwaardering van de computer met de gemiddelde waardering van de meteorologen voor het gemiddelde van de 12 situaties, voor de 5 stormvloeden en voor iedere situatie afzonderlijk. ( c= computer, m= meteoroloog)

A = significantie t.o.v. de individuele meteoroloog;  
 B = significantie t.o.v. het gemiddelde van de meteorologen;  
 + = significant; - = niet-significant; klasse<sub>c</sub> (gecor.) = 1.25 klasse<sub>c</sub> - 3.50

T3c en T4c zijn de gecorrigeerde cijferwaarderingen van de computer voor resp. T3 en T4. T3m en T4m zijn de cijferwaarderingen van de "gemiddelde" meteoroloog voor resp. T3 en T4. Uit tabel 9 volgt dat de +12 uurs-prognoses voor de 5 stormvloeden geen verschil laten zien tussen computer en meteoroloog (zowel individueel als gemiddeld). De +24 uurs-prognoses van T3 en T4 laten voor de 5 stormvloeden ook geen verschil zien tussen de computer en individuele meteoroloog maar wel met de "gemiddelde" meteoroloog in 2 van de 5 gevallen.

Kijken we naar iedere situatie afzonderlijk dan blijkt dat voor de +12 uurs-prognoses de computer niet afwijkt van de individuele meteoroloog en in 1 van de 12 gevallen wél van de "gemiddelde" meteoroloog. Voor de +24 uurs-prognoses is er voor T4 geen verschil tussen computer en individuele meteorologen en voor T3 in 1 van de 12 gevallen wél verschil. T.a.v. de "gemiddelde" meteoroloog wijkt de computer-beoordeling van T4 in 3 van de 12 gevallen af en die van T3 in 5 van de 12 gevallen. Zouden we de computer, die geijkt is m.b.v. de subjectieve cijferwaarderingen van Van der Hoek, als een individuele meteoroloog beschouwen dan kunnen we concluderen dat de gecorrigeerde computer-beoordelingen voor het gemiddelde van de 12 situaties als voor iedere situatie afzonderlijk niet afwijkend zijn. Er bestaat bovendien ook een redelijk goede overeenstemming met de beoordeling van de "gemiddelde" meteoroloog.

Tot nu toe hebben we de cijferwaardering van de computer, die gebaseerd was op de subjectieve waarderingen van één persoon, vergeleken met die van het gemiddelde van 6 meteorologen. Hierbij bleek dat de waardering van de computer in het algemeen te hoog uit viel. M.b.v. (20) werd hiervoor gecorrigeerd. Uit bovenstaande blijkt dat het gevonden verband tussen de waardering van de computer en die van de meteorologen niet optimaal hoeft te zijn. Voor het vinden van een optimaal verband moeten we de gemiddelde cijferwaardering van de meteorologen rechtstreeks correleren met de RMS-fouten van dd en ff. Deze worden in tabel 10 gegeven. Uitgaande van de gegevens in tabel 10 en tabel 4 (in totaal 48 prognoses) zijn m.b.v. de methodiek van de kleinste kwadraten volgens (17) de coëfficiënten  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  opnieuw bepaald.

Tabel 10.

Prog geldig voor: + dec. ' 77	+12-prognoses				+24-prognoses			
	T3		T4		T3		T4	
	RMS <sub>ff</sub>	RMS <sub>dd</sub>	RMS <sub>ff</sub>	RMS <sub>dd</sub>	RMS <sub>ff</sub>	RMS <sub>dd</sub>	RMS <sub>ff</sub>	RMS <sub>dd</sub>
2412	6.9	14.9	7.9	21.8	14.0	28.0	13.4	51.6
2500	8.2	16.6	8.2	27.2	9.3	22.5	13.5	35.5
2712	9.3	36.7	7.9	28.8	11.1	30.3	14.4	40.2
2800	7.7	21.5	7.5	17.8	9.4	26.1	8.6	30.5
2812	9.3	28.9	9.1	30.0	8.7	29.1	11.4	38.3
3000	9.8	11.5	10.6	14.4	13.8	16.0	20.9	43.8
3012	6.7	16.3	6.4	17.1	9.9	23.4	13.6	42.2
3100	5.8	20.6	6.0	24.3	10.7	48.4	15.8	51.3
jan. '78								
0312	11.3	17.8	10.2	23.7	15.5	33.9	17.7	39.4
0400	8.7	23.6	13.0	40.1	11.2	53.2	13.0	54.0
1112	10.7	32.1	9.6	14.5	16.9	58.3	19.7	49.5
1200	8.0	20.6	12.2	20.1	10.8	55.8	14.9	36.9
Gemiddeld	8.5	21.8	9.1	23.3	11.8	35.4	14.7	42.8

RMS-fouten van BK4-versies T3 en T4, ff in knopen en dd in graden.

De volgende relatie werd gevonden:

$$\text{klasse}_c = -0.25 \text{RMS}_{ff} - 0.025 \text{RMS}_{dd} + 9.13 \quad (21)$$

We zien dat de volmaakte prognose hier het cijfer  $\approx 9.2$  krijgt. Vergelijken we (21) met (18) dan blijkt na vermenigvuldiging van de constanten in (18) met een factor 2 dat wat betreft de meteorologen de windsnelheid ongeveer dezelfde bijdrage levert in de beoordeling maar de windrichting ongeveer een factor twee minder. Uit (21) volgt nog dat voor een verhoging van klasse<sub>c</sub> met 0.1 punt bij gelijkblijven van RMS<sub>dd</sub>, RMS<sub>ff</sub> 0.4 knoop moet verminderen en bij gelijkblijven van RMS<sub>ff</sub>, RMS<sub>dd</sub> 4 graden.

De berekende cijferwaarderingen volgens (21) worden in tabel 11 gegeven en zijn weer vergeleken met die van de meteorologen.

Uit vergelijking met tabel 8 volgt dat de overeenstemming nu nog iets beter is. Voor de +12 uurs-prognoses vinden we alléén voor T4 1 afwijking en voor de +24 uurs-prognoses zowel voor T3 als T4 2 afwijkende gevallen.

Tabel 11.

	+12-prognoses						+24-prognoses									
	T3c	T3c-T3m	A	B	T4c	T4c-T4m	A	B	T3c	T3c-T3m	A	B	T4c	T4c-T4m	A	B
Gem. 12 situaties→	6.64	-0.06	-	-	6.38	-0.13	-	-	5.40	+0.29	-	-	4.50	+0.05	-	-
Stormvl. 1	7.3	0	-	-	6.5	0	-	-	5.7	+0.9	-	+	4.8	+0.9	-	-
Stormvl. 2	6.4	-0.3	-	-	6.5	+0.2	-	-	6.1	+0.5	-	-	5.4	0	-	-
Stormvl. 3	6.9	0	-	-	6.8	-0.4	-	-	5.7	+0.7	-	-	3.9	+0.3	-	-
Stormvl. 4	6.3	+0.3	-	-	5.6	+0.4	-	-	4.8	+0.1	-	-	4.3	+0.3	-	-
Stormvl. 5	6.3	-0.4	-	-	6.1	-0.9	-	-	4.4	-0.9	-	-	3.9	-0.9	-	-
situatie: dec. '77																
2412	7.8	+0.3	-	-	6.7	+0.5	-	+	5.0	+0.7	-	-	4.6	+1.6	-	+
2500	6.8	-0.4	-	-	6.5	-0.6	-	-	6.3	+1.0	-	-	5.0	+0.2	-	-
2712	6.0	-0.8	-	-	6.5	-0.3	-	-	5.7	+1.0	-	-	4.6	0	-	-
2800	7.1	+0.5	-	-	6.9	+0.6	-	-	6.2	-0.4	-	-	6.3	+0.7	-	-
2812	6.2	-0.4	-	-	6.2	+0.2	-	-	6.3	+0.8	-	-	5.4	-0.5	-	-
3000	6.5	+0.1	-	-	6.2	-0.9	-	-	5.4	+1.6	-	+	3.0	+1.3	-	+
3012	7.1	-0.2	-	-	7.2	-0.5	-	-	6.2	+0.2	-	-	4.8	-0.2	-	-
3100	7.2	+0.1	-	-	7.1	+0.3	-	-	5.4	+0.3	-	-	4.0	-0.2	-	-
jan. '78																
0312	6.0	-0.5	-	-	6.1	+0.3	-	-	4.5	-0.5	-	-	3.9	-0.6	-	-
0400	6.5	+1.1	-	-	5.0	+0.4	-	-	5.1	+0.7	-	-	4.7	0	-	-
1112	5.8	-0.1	-	-	6.5	-0.8	-	-	3.6	-0.6	-	-	3.1	-0.9	-	-
1200	6.7	-1.0	-	-	5.7	-1.1	-	-	5.1	-1.2	-	+	4.6	-0.9	-	-

Cijferwaardering van de computer volgens

klasse<sub>c</sub> =  $-0.25 \text{ RMS}_{ff} - 0.025 \text{ RMS}_{dd} + 9.18$ , vergeleken met de gemiddelde waardering van de meteorologen voor het gemiddelde van de 12 situaties, voor de 5 stormvloeden en voor iedere situatie afzonderlijk.

Willen we relatie (21) in de praktijk toepassen dan dient eerst nog een verder onderzoek uitgevoerd te worden op onafhankelijk materiaal. Daartoe zou dan over een langere reeks de gemiddelde beoordeling van een aantal meteorologen vergeleken moeten worden met de berekende klasse volgens (21).

Opgemerkt kan worden dat na overgang op de variabele  $X = \text{RMS}_{ff} + 10 \text{ RMS}_{dd}$  op eenvoudige wijze relatie (21) verder verfijnd kan worden. Zie hier-voor bijlage 2.

#### IV. Conclusies.

Uit onderzoek door Van der Hoek en Grendel van de +12 en +24 urenprognoses van BK4 over de maanden oktober en november 1976 is gebleken dat er een redelijk goed verband bestaat tussen de subjectieve en de door de computer berekende objectieve cijferwaarderingen van het voorspelde stromingspatroon.

De objectieve cijferwaardering (zie (18)) is een lineaire combinatie van de RMS-fouten van voorspelde geostrofische windrichting en -snelheid met een vaste waarde van de Coriolis-parameter voor het geverifieerde gebied.

Uit de onderzochte 12 stormvloedsituaties is gebleken dat de objectief berekende cijferwaardering van de computer in het algemeen hoger is dan de subjectieve waardering van de meteorologen. M.b.v. relatie (20) kan hiervoor gecorrigeerd worden.

Na het aanbrengen van correctie (20) blijkt dat de beoordeling van de computer niet afwijkt van die van de individuele meteorologen. Dit geldt zowel voor de 5 aparte stormvloed en voor iedere situatie afzonderlijk. Vergelijken we de computer-beoordeling met de gemiddelde beoordeling van de 6 meteorologen dan is de overeenstemming voor de +12 urenprognoses goed en voor de +24 urenprognoses redelijk.

De overeenstemming tussen de cijferwaardering van de computer en die van de meteorologen wordt nog iets beter als voor de 12 stormvloed-situaties de RMS-fouten van  $dd$  en  $ff$  van de BK4-prognoses rechtstreeks gecorreleerd worden met de gemiddelde cijferwaarderingen van de 6 meteorologen. Zie o.a. relatie (21). Deze relatie dient echter nog getest te worden op onafhankelijk materiaal. Hiervoor zouden door meerdere meteorologen over een langere periode BK4-prognoses subjectief beoordeeld moeten worden.

Uit het onderzoek is gebleken dat wat betreft het voorspelde stromingspatroon er een redelijke zekerheid bestaat dat model-veranderingen die leiden tot een hogere objectieve cijferwaardering van het voorspelde stromingspatroon door de meteorologen gemiddeld genomen ook als een

verbetering ervaren zullen worden. Naast de rechtstreekse verificaties van golf- en wateropzet-prognoses is voor de getij-meteoroloog de objectief berekende cijferwaardering van het stromingspatroon, dat dient als invoer voor de golven en wateropzetten, een bruikbare maat voor de kwaliteit van de 1000 mbar BK<sup>4</sup>-prognoses.

Het verslag moet gezien worden als een vergelijking tussen objectieve en subjectieve beoordelingen en laat in algemene zin geen conclusies toe m.b.t. de kwaliteit van de modellen zelf. Dit omdat het cijfermateriaal te gering was en omdat na de periode van het onderzoek de analyse-programma's een duidelijke verbetering hebben ondergaan. In een later stadium hebben vergelijkingen tussen de versies T3 en T4 plaatsgevonden wat resulteerde in een versie T5 (zie bijlage), die de voordelen van T3 en T4 in zich verenigt.

Met dat model zijn m.b.v. de verbeterde analyses opnieuw gradiëntverificaties uitgevoerd over de periode 1 december 1977 t/m 15 januari 1978.

De kwaliteit kwam nu op het niveau te liggen van de versies BAROK<sup>4</sup>N005 en BK<sup>4</sup>N05TOP1 die gebaseerd waren op de 500 en 1000 mbar hemisferische analyses uit Bracknell. Het model T5 is sinds 8 februari 1979 operationeel geworden.



Hieronder volgt een korte omschrijving van de 5 BK4-versies die geverifiëerd zijn op de gradiënt.

- BAROK4NO05: Cressman-correctie = 0, diffusiecoëfficiënt =  $5.5 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , oppervlaktewrijvingscoëfficiënt =  $2.9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , statische stabiliteit =  $2.22 \times 10^{-6} \text{ kg}^{-2} \text{ m}^4 \text{ s}^2$  voor alle lagen in BK4, m.b.v. de berekende "droge"  $w$  wordt de condensatiewarmte in rekening gebracht, géén topografie. Invoer 500 mbar en grondkaart hemisferische Engelse analyses uit Bracknell. De niveaus 300 en 850 mbar worden m.b.v. regressies uitgerekend nl.  
 $z_{850} = 0.1766z_{500} + 0.63p_{\text{grond}} - 593.9$  en  
 $z_{300} = 1.6502z_{500} - 0.4725p_{\text{grond}} + 476.7$ .  
Gradiëntverificatie is uitgevoerd op gebied I voor 300, 500, 850 en 1000 mbar en op gebied II voor 1000 mbar.
- BK4NO5TOP1(T1): Versie gelijk aan BAROK4NO05 maar met topografie. Invoer hetzelfde als bij BAROK4NO05. Gradiëntverificatie uitgevoerd op gebieden II, III (Noorse Zee) en IV (Noordzee).
- BK4NO5TOP2(T2): Versie gelijk aan BK4NO5TOP1.  
Invoer 500 en 1000 mbar KNMI Cressman-analyses op de achthoek. 300 en 850 mbar worden met regressies uitgerekend als bij BAROK4NO05. Gradiëntverificatie als bij BK4NO5TOP1.
- BK4NO5TOP(T3): Versie gelijk aan BK4NO5TOP1.  
Invoer 300, 500, 850 en 1000 mbar KNMI Cressman-analyses op de achthoek. Gradiëntverificatie als bij BK4NO5TOP1.
- BK4NO5TOP4(T4): Versie zoveel mogelijk gelijkend op de operationele BK3-27 versie met Cressman-correctie =  $4 \times 10^{-13} \text{ m}^{-2}$ , diffusiecoëfficiënt =  $5 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , géén oppervlaktewrijving, géén topografie, condensatiewarmte als bij BAROK4NO05, statische stabiliteit =  $1.5 \times 10^{-6} \text{ kg}^{-2} \text{ m}^4 \text{ s}^2$  voor de lagen 300-500 en 500-850 mbar en  $2.0 \times 10^{-6} \text{ kg}^{-2} \text{ m}^4 \text{ s}^2$  voor de laag 850-1000 mbar. Gradiëntverificatie als bij BK4NO5TOP1.

BK4NO5TOP5(T5): Combinatie van T3 en T4. Topografie, oppervlakte  
wrijving en condensatiewarmte van T3. Cressman-  
correctie, statische stabiliteit en diffusie van T4.  
Gradiëntverificatie als bij BK4NO5TOP1. Invoer gelijk  
aan die van T3 maar met verbeterde analyses.

Tabel 2

Prognose	T3		T4	
	+12	+24	+12	+24
geldig				
voor:				
77122412:	7	38	2	32
77122500:	4	29	18	27
77122712:	15	44	6	36
77122800:	20	41	3	28
77122812:	8	25	10	42
77123000:	1	37	9	39
77123012:	16	34	22	26
77123100:	12	47	5	31
78010312:	17	30	14	43
78010400:	11	48	13	46
78011112:	21	35	19	33
78011200:	24	45	23	40

Nummering van de geverifiëerde prognoses.

BIJLAGE: II.

(opgenomen naar aanleiding van een opmerking van Sanders)

We nemen aan dat er een lineair verband bestaat tussen de klasse van computer ( $kl_c$ ) en de klasse van de "gemiddelde" meteoroloog ( $kl_m$ ) volgens:  $kl_m = P.kl_c + Q$ .

In (15) hebben we aangenomen dat de klasse  $kl$  lineair afhangt van  $RMS_{ff}$  en  $RMS_{dd}$ . Er geldt dus  $kl_m = \alpha_m RMS_{ff} + \beta_m RMS_{dd} + \gamma_m$  en

$$kl_c = \alpha_c RMS_{ff} + \beta_c RMS_{dd} + \gamma_c.$$

Bovenstaande relaties moeten voor alle waarden van  $RMS_{ff}$  en  $RMS_{dd}$  gelden. Dit impliceert dat  $\alpha_m = P.\alpha_c$

$$\beta_m = P.\beta_c$$

$$\gamma_m = P.\gamma_c + Q$$

Er geldt dus  $\frac{\beta_m}{\alpha_m} = \frac{\beta_c}{\alpha_c} = K$  (constante).

De constante verhouding  $K$  impliceert dat we een nieuwe variabele  $X = RMS_{ff} + K RMS_{dd}$  kunnen definiëren waarbij (15) overgaat in:

$$kl = \alpha X + \gamma$$

Uit voorgaande volgt dat op eenvoudige wijze een verdere verfijning, waarbij ook de niet-lineariteit in rekening gebracht wordt, m.b.v. de variabele  $X$  als volgt mogelijk is:

$$kl = \alpha'X + \beta' X^2 + \gamma'.$$

Voor relatie (21) betekent dat invoering van de variabele  $X = RMS_{ff} + 10 RMS_{dd}$ , waarbij  $\alpha'$ ,  $\beta'$  en  $\gamma'$  m.b.v. de gegevens van tabellen 4 en 10 volgens de methodiek van de kleinste kwadraten bepaald kunnen worden.

Referenties

Bernard, J.H.A., Opsteegh, J.D. en Stel. S., 1977. Verificatietest met het operationele BK3 model met behulp van een hiervoor ontwikkelde data-set. V-285. Kon. Ned.Meteor. Inst.

Bernard, J.H.A. en Opsteegh, J.D., 1977. Verificatietest van een BK3-model met gewijzigde modelconstanten op een bestaande data-set. V-289. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Bijvoet, H.C., 1971. Over de nauwkeurigheid van windverwachtingen voor verwachtingsperioden van 12 en 24 uur. V-240. Kon. Ned.Meteor. Inst.

Exter Blokland, A.W. den, 1972. Experimenten met het numeriek opstellen van neerslagverwachtingen W.R. 72-8. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Heijboer, L.C. en Exter Blokland, A.W. den, 1974. The inclusion of latent heat in a three-level model with filtered equations and its influence upon the development of depressions. W.R. 74-11. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Heijboer, L.C., 1972. Experimenten met nieuwe versies van het BK3-programma. V-246. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Heijboer, L.C., 1973. Windverwachtingen voor 12 en 24 uur vooruit op 850 mbar door het BK3-model en de relatie tussen de geostrofische wind op 850 mbar en de gemeten wind van de meetpaal Katwijk. W.R. 73-1. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Heijboer, L.C., 1977. Design of a baroclinic three-level quasi-geostrophic model with special emphasis on developing short frontal waves. Mededelingen en Verhandelingen No. 98. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Sanders, J.W., 1976. A growth-stage scaling model for the wind-driven sea. Deutschen Hydrografischen Zeitschrift. Band 29, Heft 4.

Sanders, J.W., 1979. Een geautomatiseerd systeem voor numerieke verwachtingen van wateropzetten, zeegang en deining. V-311. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Speciale Projectgroep Numerieke Voorspelmethode, 1969. Beschrijving van programma's voor de EL-X8. W.R. 69-3. Kon. Ned. Meteor. Inst.

Timmerman, H., 1977. Meteorological effects on tidal heights in the North Sea. Mededelingen en Verhandeling No. 99.