

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

SCIENTIFIC REPORT

W.R. 85 - 3

M.J.M. Saraber

Een operationeel golfmodel voor de
Noordatlantische Oceaan.



De Bilt, 1985

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 85-3 (CWD)

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

U.D.C.: 551.466.33 :
518 :
551.509.59 ;
(261)

ISSN: 0169-1651

EEN OPERATIONEEL GOLFMODEL VOOR DE NOORDATLANTISCHE OCEAAN

M.J.M. SARABER

Summary

In the ship-routeing branche there is a demand for new products, such as optimalization of fuel consumption and more detailed spectral wave information, and an all over the world service. KNMI only can meet these demands by modernizing and increasing the efficiency of the production process, which means introduction of advanced computermodels and computertechnology.

A first and essential step in this innovation is the integration of a numerical computermodel for the forecasting of ocean waves in the operational process. Such an operational model always is a compromise between wishes and possibilities. Choices have to be made on the basis of carefully formulated goals. The following minimum requirements for the model can be derived:

- Windsea should be calculated in every gridpoint.
- At least a mean swell component should be calculated in every gridpoint, and if possible a more detailed two dimensional wavespectrum in a number of gridpoints.
- The model should run once a day and supply forecasts up to at least 5 days in advance. Computer time and memory should be in accordance with available capacity.
- Quality of the model should be comparable with manual methods.

The model that has been developed meets these requirements.

The physics of the model is essentially the same as for the KNMI North Sea model GONO. Basically the energy balance is solved by splitting the energy in two parts, namely windsea energy and swell energy, which are treated separately.

Essential for any operational model is quality. Before integrating the model in the operational process, extensive tests have been carried out, both of the input windfields and the calculated wavefields. These tests showed that the 1000-mb windfields, as supplied by the ECMWF atmospheric model, are the most reliable as input windfields for the wavemodel, although these fields have to be corrected.

Testing of the calculated wavefields is a difficult matter because of the lack of accurate wave measurements. Therefore it was decided to compare the calculated wavefields with the manually constructed wavecharts. In this comparison emphasis was put on position, height and shape of the individual wavefields. Although this method is subjective, it certainly

decides on the usability of the model for the operational process, which is exactly what is required.

Results of the model are plotted in such a way that information about windsea and swell is given.

Improvements of the model are advisable. The most promising improvement seems to be interactive correction of windfields (pressure-fields) by the meteorologist.

INHOUD

1. INLEIDING
2. OPERATIONELE RANDVOORWAARDEN
3. WERKING VAN HET MODEL
 - Fysica
 - Numerieke rekenstappen
4. KWALITEIT VAN HET MODEL
 - Probleemstelling
 - Windvelden
 - Golfvelden
5. OPERATIONELE ASPECTEN
 - Programma set
 - Initialisatie
6. PRESENTATIE
7. KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN
8. REFERENTIES

1. INLEIDING

Het knmi levert aan de maritieme markt naast algemene produkten ook gespecialiseerde, op de wensen en behoeften van klanten afgestemde produkten. Zo zijn er speciale verwachtingen ten behoeve van de tankvaart in het Eurogeul gebied, de offshore industrie op de Noordzee, route adviezen voor de Noordatlantische Oceaan, weers- en golfprognoses ten behoeve van baggerwerkzaamheden, havenaanleg, bergingen, etc.

Al deze produkten zijn in principe gebaseerd op kennis omtrent de aktuele weers- en golftoestand, en de ontwikkeling daarvan tot circa 5 dagen vooruit. Voor de speciale produkten is een intensieve bewerking van de ruwe maritiem meteorologische gegevens tot een hoogwaardig en klantgericht eindprodukt door gespecialiseerde meteorologen noodzakelijk. Op het ogenblik gebeurt deze bewerking van het ruwe materiaal nog in hoge mate middels handmethoden.

De toenemende vraag naar nieuwe, op de behoeften van de klant afgestelde produkten, zoals route adviezen gericht op optimalisatie van het brandstofverbruik van schepen, gedetailleerde spectrale golfinformatie ten behoeve van speciale transporten, etc., enerzijds, en de behoefte om meer klanten te bedienen en de service niet te beperken tot de Noordatlantische Oceaan, maar wereldwijd te leveren, anderzijds, maken het noodzakelijk het produktieproces te moderniseren en efficiënter te maken. Alleen zo kan het knmi ook in de toekomst aan de behoeften en wensen van de maritieme markt blijven voldoen.

Modernisering en verhoging van de efficiency betekenen in de praktijk de introductie van computermodellen en computertechnieken. Een eerste essentiële schakel in dit moderniseringsproces is de introductie van computermodellen voor de berekening van de golftoestand. Een dergelijk model voor de Noordzee, het GONO model, is al lange tijd operationeel. Een model dat de golftoestand voor de Noordatlantische Oceaan berekent, is de afgelopen twee jaar ontwikkeld, getest en in de operationele dienstuitvoering geïntegreerd. In dit rapport worden de verschillende aspecten van dat model besproken.

2. OPERATIONELE RANDVOORWAARDEN

Een operationeel productieproces bergt altijd een aantal compromissen in zich tussen wensen en mogelijkheden. De afweging en keuzes dienen gemaakt te worden op basis van de doelstellingen. Dat levert een kader van randvoorwaarden waarbinnen modellen ontwikkeld kunnen worden. We zullen nu deze randvoorwaarden formuleren.

In het vorige hoofdstuk is als doel gesteld het productieproces te moderniseren zodanig dat klantgerichte produkten snel en efficiënt gemaakt en meer klanten bediend kunnen worden. Uit deze doelstelling kunnen de volgende randvoorwaarden voor het golfmodel afgeleid worden:

- In alle roosterpunten dient de zeegangscomponent berekend te worden, dat wil zeggen golfhoogte, -richting en -periode.
- In alle roosterpunten dient minimaal een gemiddelde deiningcomponent berekend te worden, dus ook weer hoogte, richting en periode.
- Het is wenselijk in een aantal, flexibel te kiezen roosterpunten, een meer volledig twee-dimensionaal golfspectrum te kunnen berekenen.
- Zowel rekentijd als geheugenruimte van het model dienen beperkt te blijven, in overeenstemming met het beschikbare computersysteem.
- Het model dient minimaal een keer per dag golfanalyses en -prognoses te berekenen tot circa 5 dagen vooruit.
- De kwaliteit van het model dient minstens gelijkwaardig te zijn aan die van de tot nu toe toegepaste handmethoden.
- Het model dient zo flexibel te zijn, dat het gemakkelijk voor andere oceanen te implementeren is.

Vooraf de eisen betreffende rekentijd en geheugenruimte leggen grote beperkingen op aan het model. Dat wil zeggen grote roosterpuntsafstand en rekentijdstap, beperkte deiningberekening en fysica die in het model verwerkt kan worden. Daar staat tegenover dat de kwaliteitseis veelal het tegendeel verlangt. Aangezien het model in de eerst plaats gebruikt wordt voor produkten als routeprognoses, waarbij grootschalige systemen het belangrijkste zijn, is een eenvoudig model acceptabel.

De kwaliteit van het uiteindelijke resultaat hangt niet alleen af van de kwaliteit van het golfmodel zelf, maar ook in hoge mate van de kwaliteit van de ingevoerde windvelden, waaruit de golftoestand berekend wordt. Ook de windvelden zullen dus op kwaliteit getoetst dienen te worden.

De meest ideale oplossing zou zijn een globaal golfmodel, dat alle oceanen omvat en in alle roosterpunten een volledig twee-dimensionaal golfspectrum berekent. Zo'n model is alleen op een groot computersysteem te verwezenlijken, zoals bijvoorbeeld op het ECMWF. Voor de ontwikkeling van zo'n model zijn er plannen, die over een jaar of vijf gerealiseerd zullen zijn. Om deze tijd te overbruggen en het productieproces toch op moderne leest te kunnen schoeien, is op het knmi een golfmodel ontwikkeld en geïmplementeerd dat beperkt van opzet is gehouden. Dat model is in principe gebaseerd op het reeds bestaande model voor de Noordzee. Alle ondiepwater effecten, die voor een oceaanmodel niet van belang zijn, zijn weggelaten. Wel wordt in alle roosterpunten een gemiddelde deiningcomponent berekend. Ook is het in principe mogelijk voor roosterpunten een meer volledig twee-dimensionaal golfspectrum te berekenen. Dat zal in een later stadium ook operationeel geïmplementeerd gaan worden. De roosterpuntsafstand van het model bedraagt 300 km en de rekentijdstep is 6 uur. Als invoer voor het model worden windvelden, afkomstig van het atmosfeermodel van het ECMWF gebruikt. Voorlopig levert het model een keer per dag golfanalyses en -prognoses tot 24 uur vooruit, en wel voor de Noordatlantische Oceaan. Geleidelijk zal dat uitgebreid worden naar prognoses tot circa 5 dagen vooruit. Het model kan gemakkelijk voor andere oceanen geïmplementeerd worden. Daarmee zal het de komende 5 jaar alle vereiste informatie leveren, nodig om hoogwaardige, klantgerichte eindprodukten te maken.

3. WERKING VAN HET MODEL

fysica

De golftoestand van de zee wordt gekarakteriseerd door de verdeling van de energie naar plaats, frekwentie en richting (golfspectra), en de ontwikkeling daarvan in de tijd, weergegeven door $E(x,y,\omega,\theta,t)$.

Uitgaande van de bekend veronderstelde toestand op tijdstip t willen we de toestand berekenen op een toekomstig tijdstip $t+dt$. De ontwikkeling in de tijd wordt gegeven door de tijdsafhankelijke balansvergelijking voor de energie, die dus opgelost dient te worden:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -\vec{C}_g \cdot \vec{\nabla} E + S$$

Hierin is:

$E = E(x,y,\omega,\theta,t)$	de energiedichtheid,
$\vec{C}_g = \partial\omega/\partial\vec{k}$	de groepssnelheid, met $\omega=2\pi f$ de cirkelfrekwentie en $k=2\pi/L$ het golfgetal.
$S = S_{atm} + S_{diss} + S_{nl}$	de bronterm.

Deze vergelijking zegt dat de lokale verandering in de energiedichtheid E , weergegeven door de term $\partial E/\partial t$, het gevolg is van:

- Het toestromen van energie uit de omgeving (of het wegstromen van energie naar de omgeving), weergegeven door de advectieterm $-\vec{C}_g \cdot \vec{\nabla} E$.
- Lokale toe- of afname van de atmosferische input (S_{atm}), dissipatie (S_{diss}) en niet-lineaire golfinteracties (S_{nl}), gezamenlijk weergegeven door de bronterm S .

Het oplossen van deze vergelijking stuit op twee problemen, namelijk:

- De groepssnelheid \vec{C}_g is niet konstant, maar hangt af van de frekwentie van de golven.
- De bronterm S is niet erg goed bekend.

We zouden kunnen proberen de vergelijking op te lossen door de energie op te splitsen over verschillende frekwentiebandjes, waarbij de groepssnelheid van de golven binnen zo'n frekwentiebandje konstant genomen wordt. Nemen we daarbij een benaderde vorm voor de bronterm aan, dan krijgen we een stelsel gekoppelde differentiaalvergelijkingen dat opgelost kan worden. Daarbij is het nog nodig relaties tussen de energiën in de verschillende frekwentiebandjes te formuleren, bijvoorbeeld een invariante vorm van het frekwentiespectrum.

Een dergelijke spectrale aanpak vergt een grote computercapaciteit, en is voor het knmi op operationele basis niet realiseerbaar. De eerder geformuleerde randvoorwaarde van beperkte rekentijd noodzaakt tot een eenvoudiger aanpak van de oplossing van het probleem.

Dat impliceert het toepassen van enkele drastische vereenvoudigingen en benaderingen. De rechtvaardiging daarvan ligt in de toetsing van de uiteindelijke resultaten aan de eerder geformuleerde randvoorwaarde betreffende de kwaliteit. We passen de volgende vereenvoudigingen toe:

- Er wordt onderscheid gemaakt tussen golven die zich voortplanten in de richting van de wind en eventueel nog kunnen groeien onder de invloed van de wind (zeegang of deiningachtige zeegang), en golven die zich onafhankelijk van de wind gedragen (deining). Dit betekent dat de energie E gesplitst wordt in een zeegangs- en een deininggedeelte.

- Voor het zeegangsgedeelte wordt een empirische relatie aangenomen tussen de energie E en de tijd t , afhankelijk van de windsnelheid u . Deze relatie heet de groeicurve. Deze is in figuur 3.1 weergegeven, waarbij de gereduceerde grootte $H_s \cdot g/u^2$ (waarin $H_s = 4\sqrt{E}$ de significante golfhoogte is) tegen $g \cdot t/u$ uitgezet is in plaats van E tegen t . Op deze wijze zijn de curves voor verschillende windsnelheden u herleid tot een enkele kromme.

- We nemen aan dat voor zeegang de energie volgens een vast patroon over de verschillende frekwenties verdeeld is, en volledig bepaald is als de totale hoeveelheid zeegangsenergie E_z en de windsnelheid u bekend zijn. Voor deze vorm van het frekwentiespectrum nemen we het Krusemanspectrum, weergegeven in figuur 3.2

- Verder nemen we aan dat de richtingsverdeling van de zeegangsenergie weergegeven wordt door een \cos^2 verdeling rond de windrichting.

- We nemen verder aan dat de groepssnelheid \vec{C}_g niet meer van de frekwentie afhangt, maar alleen nog van de totale zeegangsenergie. Dat betekent dat \vec{C}_g zo gekozen wordt dat deze ongeveer overeenkomt met de groepssnelheid voor frekwenties rond de piek van het spectrum.

- Voor het deininggedeelte nemen we aan dat dit zich voortplant met een groepssnelheid die niet afhangt van de frekwentie, maar bepaald wordt door de totale deiningenergie E_d . Als voortplantingsrichting nemen we een richting die het resultaat is van een middeling over de richtingen van de uit de omgeving geadvecteerde deining. In deze benadering is de deiningberekening tamelijk grof. Dispersie in zowel richting als looptijd wordt op deze wijze niet in rekening gebracht. Echter door het numerieke rekenschema wordt toch een zekere dispersie teweeg gebracht. Het voordeel

van deze eenvoudige aanpak is dat we zo in staat zijn in elk roosterpunt een gemiddelde deiningcomponent te berekenen.

- Een nauwkeuriger deiningberekening is mogelijk door de zeegangsenergie die zich als deining gaat propageren, te verdelen over verschillende frekwentiebandjes. Elk van deze energie pakketjes kan dan met de groepssnelheid, passend bij dat frekwentiebandje, gepropageerd worden. Voor een bepaald roosterpunt kan zo bepaald worden uit welke roosterpunten energie als deining binnenstroomt. Dat levert samen met het zeegangsspectrum een gedetailleerd twee-dimensionaal golfspectrum op. Deze methode is te kostbaar qua rekentijd om voor alle roosterpunten uit te voeren. Voor een beperkt aantal punten is dit echter wel haalbaar. Met deze benaderingen kunnen nu de verschillende stappen in het numerieke model uitgewerkt worden.

numerieke rekenstappen

In het numerieke programma worden het zeegangs- en deiningveld in de volgende stappen opgebouwd:

- inlezen van golftoestand op tijdstip t .
 - inlezen windvelden op tijdstippen t en $t+dt$.
 - advectie van oude zeegang.
 - bepaling van dat deel van de geadvecteerde zeegang dat interactie heeft met de wind op tijdstip $t+dt$, dat is nieuwe zeegang.
 - groei van de nieuwe zeegang door de wind op tijdstip $t+dt$.
 - advectie van oude deining.
 - bepaling van dat deel van de geadvecteerde zeegang dat geen interactie heeft met de wind. Dat deel is deining.
 - Het maximum van deze twee deiningen wordt als nieuwe deining beschouwd.
- We zullen nu de essentiële stappen in het model wat nader uitwerken.

advectie zeegang.

De advectie van zeegang wordt gegeven door de term $-\vec{C}_g \cdot \vec{\nabla} E$ uit de tijdsafhankelijke energiebalansvergelijking. Deze term wordt benaderd door een differentieschema. Beschouw hiervoor het roosterpunt (I,J) , waarvoor we de advectie willen berekenen. Daarvoor moeten we bepalen vanuit welke omliggende roosterpunten energie toestroomt en hoeveel dat is. In figuur 3.3 is het punt (I,J) met de omliggend roosterpunten weergegeven. In elk punt zijn de zeegangsenergie en de richting ervan, op tijdstip t

gegeven: E, ϕ . Zij EO de energie in (I, J) en ϕ_0 de richting t.o.v. de verbindingslijn met $(I-1, J-1)$. Zij E_1 de energie in dat punt, en ϕ_1 de richting t.ov. de verbindingslijn met (I, J) . Alleen de energie die langs de verbindingslijn stroomt is van belang. We nemen aan dat de energie volgens een \cos^2 verdeling rond de richting verdeeld is. De componenten langs de verbindingslijn zijn nu: $EO' = EO \cdot \cos^2 \phi_0$ en $E_1' = E_1 \cdot \cos^2 \phi_1$. De bijdrage aan de geadvecteerde energie vanuit punt $(I-1, J-1)$ wordt nu in het differentieschema:

$$\Delta EO = EO' + (E_1' \cdot C_{g1} - EO' \cdot C_{g0}) \cdot \Delta t / \Delta xy$$

waarin C_{g0} en C_{g1} de groepssnelheden zijn, behorend bij EO en E_1 , Δt de rekentijdstap en Δxy de roosterpuntsafstand.

Zo worden ook de bijdragen van de andere omliggende roosterpunten berekend. De totale geadvecteerde energie in roosterpunt (I, J) is nu:

$$EO_a = \sum \Delta EO$$

Voor de gemiddelde richting van deze geadvecteerde energie nemen we nu een gewogen gemiddelde van de energiecomponenten ΔEO langs de verbindingslijnen. Dus $\phi_{0a} = \sum \Delta EO \cdot \phi_0 / \sum \Delta EO$. Daarbij nemen we aan dat deze geadvecteerde energie weer volgens een \cos^2 verdeling rond deze gemiddelde richting verdeeld is.

interactie met de wind op tijdstip $t + \Delta t$.

De geadvecteerde zeegangsenergie is volgen een \cos^2 verdeling rond de richting verdeeld. De richting van de wind op tijdstip $t + \Delta t$ verschilt in het algemeen van deze richting. We nemen aan dat de interactie met de wind bepaald wordt door een \cos^2 verdeling rond de windrichting. Dat deel wordt gegeven door de formule:

$$E = \left(1 - \frac{|\Delta\alpha|}{\pi} - \frac{|\sin\Delta\alpha|}{\pi} \right) \cdot (|E_x| + |E_y|)$$

waarin $\Delta\alpha$ de hoek is tussen de richting van de geadvecteerde zeegangsenergie en de windrichting en E_x en E_y de componenten van de geadvecteerde energie in de x- en y-richtingen. In figuur 3.4 is dat gedeelte gearceerd weergegeven.

groei van de nieuwe zeegang.

De nieuwe zeegang groeit nog onder invloed van de wind op tijdstip $t + \Delta t$. De groei van de zeegang vinden we met behulp van de groeicurve. Deze wordt gegeven door de vergelijking:

$$HH = \beta \cdot \tanh(a \cdot TT^c)$$

en de inverse vergelijking:

$$TT = \left(\ln \left(\frac{\beta + HH}{\beta + HH} \right) / 2a \right)^{1/c}$$

met: $HH = H_s \cdot g/u^2$, $TT = g \cdot T/u$, $\beta = 0.24$, $a = 0.002080$ en $c = 0.589500$.

Op tijdstip t kennen we H_s en u , en dus HH . Middels de groeicurve is nu TT bekend, en dus ook de tijdsduur T van de groei. De nieuwe tijdsduur wordt nu $T+\Delta t$, waarin Δt de rekentijdstap is. We kennen ook de wind u' op tijdstip $t+\Delta t$, zodat $TT'=g \cdot (T+\Delta t)/u'$ bekend is. Middels de inverse relatie van de groeicurve kunnen we HH' op tijdstip $t+\Delta t$ berekenen en de nieuwe golfhoogte H_s' volgt uit de relatie $HH'=H_s' \cdot g/u'^2$. De propagatierichting van de nieuwe zeegang is uiteraard de windrichting op tijdstip $t+\Delta t$. De nieuwe zeegangsenergie is nu volledig bekend en daarmee het volledige zeegangsspectrum.

deiningberekening

Analoog aan de zeegangsadvectie berekenen we de deining in punt (I,J) die uit de omliggende roosterpunten geadvecteerd wordt. Voor de richting van de geadvecteerde deining nemen we nu aan dat dat een gewogen gemiddelde is van de richtingen van de deiningen in de omliggende roosterpunten. Dit levert een nieuwe deiningcomponent op. Echter vonden we bij de stap waarin interactie tussen geadvecteerde zeegang en wind op tijdstip $t+\Delta t$ bepaald werd ook een deiningcomponent. Als nieuwe deiningcomponent nemen we het maximum van deze twee. Als propagatiesnelheid nemen we een gemiddelde over de advecterende deiningcomponenten.

Resultierend hebben we nu de zeegang en de deining voor tijdstip $t+\Delta t$ berekend.

4. KWALITEIT VAN HET MODEL

probleemstelling

De ontwikkeling van het productieproces is gericht op het efficiënt maken van klantgerichte kwaliteitsprodukten. Toetsing dient dan ook gericht te zijn op kwaliteit en klantgerichtheid van het eindprodukt en op efficiency.

In eerste instantie is de ontwikkeling gericht op het maken van routeprognoses en -evaluaties. Maatgevend voor de kwaliteit daarvan is onder andere de kwaliteit van de golfvelden, waarbij de structuur op grote schaal doorslaggevend is. Deze toetsing kan gebeuren aan de hand van de manuele analyses. Dat past ook geheel in de eerder gestelde randvoorwaarde voor de kwaliteit, namelijk gelijkwaardigheid met het manuele model. Daarnaast kan ook geverifieerd worden op bepaalde puntlokaties. Echter de vrij grote standaardfout van circa 20% in de waarnemingen maakt deze verifikatie moeilijk. De kwaliteit van de golfvelden hangt af van de kwaliteit van het model en van de kwaliteit van de ingevoerde windvelden. Deze windvelden dienen daarom ook gevalueerd te worden.

De volgende tests zijn uitgevoerd:

- Test op basis van gearchiveerde windvelden van het ECMWF, zowel 1000-mb als 10-m windvelden. Daarbij zijn modelversies met en zonder deiningberekening getoetst. Testperiode: februari 1981.
- Test op basis van gecorrigeerde operationele 1000-mb windvelden. Testperiode: 13 december '83 t/m januari '84.
- Proef waarbij de golfkaart manueel geanalyseerd is op basis van het numeriek berekende golfveld. Proefperiode: 15-19 februari 1984.
- Een operationele test van het model, waarbij de manuele golfanalyse uitgevoerd werd op basis van het numeriek berekende golfveld. Op basis van deze test zijn de windvelden opnieuw gecorrigeerd. Proefperiode: 15 oktober t/m 25 november '84.

Hierna worden de tests voor wind- en golfvelden besproken.

Windvelden

Het ECMWF levert twee typen windvelden:

- Een 10m windveld, dat berekend wordt uit het laagste rekenniveau middels

een logaritmisch windprofiel.

- Een windveld op het 1000-mb drukk niveau. Dit windveld wordt berekend door interpolatie of extrapolatie vanuit de dichtstbijgelegen rekenniveaus.

Beide windtypen zijn onderzocht op kwaliteit door ze te vergelijken met waargenomen winden op de posities van de weerschepen, over de periode februari 1981. Op basis hiervan zijn regressies bepaald teneinde de windvelden te corrigeren. Daarna is het golfmodel op beide, gecorrigeerde windtypen gedraaid. De resultaten verschilden slechts weinig. Bij het toetsen van de windvelden viel op dat de hogere windsnelheden bij de 10-m modelwind systematisch te weinig voorkomen. Voor de 1000-mb winden is deze verdeling veel beter. Op grond hiervan is besloten het gecorrigeerde 1000-mb windveld als input voor het golfmodel te gaan gebruiken.

In de operationele testfase van het model zijn de winden opnieuw vergeleken met waarnemingen, zowel op de posities van de weerschepen als ook op de posities van de windmaxima. Dat heeft geleid tot een verdere correctie van het 1000-mb windveld. In deze operationele testfase zijn zowel de analyse als de +12 uur prognose onderzocht. In de figuren 4.1 en 4.2 zijn de gecorrigeerde winden uitgezet tegen de waargenomen windsnelheden. De windrichtingen kwamen goed overeen met de waarnemingen en zijn daarom niet nader onderzocht.

De volgende regressies zijn berekend:

- analyse $Y = 0.87.X + 3.0$ met korrelatie 0.92

- +12 prognose $Y = 0.77.X + 5.4$ met korrelatie 0.83

Hierin is X de modelwind en Y de gecorrigeerde windsnelheid.

golfvelden

Voor de eerste test van het golfmodel over de periode februari 1981 werden de handanalyses allereerst kristisch geheranalyseerd. Vervolgens werden de berekende golfvelden met de handgeanalyseerde velden vergeleken. Daarbij werden ligging, vorm en hoogte van de velden getoetst. Op basis daarvan werden de golfvelden van zowel het model als van de handanalyses in vier klassen ingedeeld, namelijk goed, matig, slecht en zeer slecht. Hetzelfde werd gedaan met de windvelden. Het betrof in totaal 336 verschillende velden. In figuur 4.3 zijn de percentages voor model en handanalyse weergegeven. Het blijkt dat de percentages tussen model en handanalyses slechts weinig verschillen. De percentages voor de klassen 'slecht' en 'zeer slecht' zijn gering. Grote verschillen tussen model en handanalyse

zijn nader onderzocht. Mogelijke oorzaken hiervan zijn:

- In gebieden met weinig waarnemingen is een goede beoordeling moeilijk. Het lijkt erop dat het model in die gebieden een continuer verloop vertoont.
- Grote verschillen zijn praktisch altijd op grote verschillen in de windsnelheid terug te voeren.
- In de modelwinden is geen rekening gehouden met de stabiliteit. Daardoor zijn de modelwinden in onstabiele lucht aan de lage kant en in stabiele lucht enigszins aan de hoge kant.
- Door de grote roosterpuntsafstand en rekentijdstep worden detailstructuren door het model slecht of niet weergegeven. Bij de handmethode is dit beter mogelijk.
- Afzonderlijke deiningberekening is noodzakelijk. In de versie waarin dit niet gebeurt verdwijnt oude deining te snel. Bovendien is de golfhoogte te laag, gemiddeld 0.6 m met een standaarddeviatie van 1.2m. Met deining was het gemiddeld 0.1 m te laag en bedroeg de standaardfout 1.1 m. Golfvelden op de zuidelijke Noordzee worden in het algemeen slecht weergegeven wanneer er een sterke zuidcomponent in de wind aanwezig is. Dat is het gevolg van het geringe aantal roosterpunten en de grote roosterpuntsafstand in dat gebied. Een globale vergelijking met resultaten van het GONO model voor de Noorse Zee en noordelijke Noordzee, over de periode januari 1985, levert een redelijk goede overeenstemming.

De tweede test, op basis van operationele 1000-mb windvelden, bevestigde de konklusies uit de vorige test. De volgende opmerkingen zijn toe te voegen:

- In het algemeen stemt de ligging van modelmaxima overeen met die van de handanalyse. Verschillen treden soms op door verschillen in uitgangsanalyse van druk- en windvelden.
- Bij de presentatie van golfvelden wordt bij het model de totale golfhoogte (zeegang plus deining) weergegeven. Bij de handanalyse wordt een beter onderscheid gemaakt en is het ook mogelijk in elkaar overlopende zeegangs- en deiningvelden beter te presenteren. Dat maakt de interpretatie van de modelresultaten moeilijker.

De volgende proef betrof het manueel analyseren van de golfkaart, waarbij deze analyse gebaseerd werd op het door het model berekende golfveld en de scheepswaarnemingen. De zo ontstane golfkaarten werden vergeleken met de oorspronkelijke handanalyses. Opnieuw werden vorm, ligging en hoogte van de golfvelden vergeleken. Deze proef leidde tot de konklusie dat het

numeriek berekende golfveld bruikbaar is en dat de kwaliteit gelijkwaardig is aan die van de handanalyse.

Tenslotte werd een volledig operationele proef gedaan, waarbij gedurende de periode 15 oktober tot en met 25 november 1984 de golfkaart door de routeermeteoroloog opgetekend werd op basis van het numeriek berekende golfveld en de scheepswaarnemingen. Daarbij werd de 1200z analyse gebaseerd op de numerieke analyse en de 0000z analyse op de +12 uur prognose van het golfmodel. Uit deze proef bleek dat het noodzakelijk was het windveld opnieuw te corrigeren. Oorzaak is vermoedelijk de afvlakking van de windvelden door de diverse interpolaties van deze velden naar andere rekengrids.

Tijdens deze operationele testperiode kwamen twee tropische cyclonen voor. De eerste werd door het atmosfeermodel van het ECMWF slecht gerepresenteerd. Dat resulteerde ook in slechte golfvelden (maksimum van circa 6 meter, terwijl ongeveer 9 meter werd waargenomen). Bij de tweede cycloon werd het atmosfeermodel bijgesteld, waardoor de druk- en windveldanalyses veel realistischer waren. Dat resulteerde in een redelijk goede representatie van het golfveld.

Als eindkonklusie van deze verschillende tests kan gesteld worden dat het numeriek berekende golfveld goed bruikbaar is als basis voor de analyse van de golfkaart. Soms optredende grote verschillen zijn terug te voeren op verschillen in wind- en drukvelden. Het blijft van belang de kwaliteit van het model en van de windvelden voortdurend te bewaken. Het is daarnaast aanbevelingswaardig een mogelijkheid te creëren de drukvelden van het ECMWF model zonodig te corrigeren en op basis daarvan de windvelden bij te sturen. Vooral voor tropische cyclonen is dat van belang.

5. OPERATIONELE ASPECTEN

programma-set

Het operationele systeem bestaat uit een set programma's waarmee de golftoestand berekend kan worden:

OCEANINFO	dat de initialisatie verzorgt,
OCEANSTATUS(DTG1,DTG2)	dat de recovery files initialiseert,
OCEANWIND	dat de windvelden aanmaakt,
OCEANSEA	dat de golftoestand berekent, en
OCEANPLOT	dat de berekende wind- en golfvelden plot.

Deze programma's worden middels de job JOB/OCEANRUN opgestart en achtereenvolgens gedraaid. Figuur 5.1 toont de flowstructuur van de job, waarbij tevens de verschillende data-files waarmee de programma's communiceren, weergegeven zijn.

initialisatie

Initialisatie gebeurt door de programma's OCEANSTATUS en OCEANINFO. Middels OCEANSTATUS kan de datumtijdgroep van de run, etc. vastgelegd worden. OCEANINFO legt intrinsieke parameters vast, zoals rekentijdstap, rooster, etc.

OCEANSTATUS bevat de parameters DTG1 en DTG2. Er zijn verschillende mogelijkheden:

- DTG1=DTG2=0. In dit geval berekent OCEANSTATUS de datumtijdgroep van de laatste ECMWF serie en legt deze vast in de recovery files. Deze worden gelezen door OCEANWIND, OCEANSEA en OCEANPLOT als de meegegeven taskvalue gelijk nul is. Deze situatie wordt in de operationele job toegepast.
- DTG1 en DTG2 hebben een waarde jjmdduu (jaar, maand, dag, uur), waarmee begin- en eindtijd van de run vastgelegd worden in de recovery files. In dit geval dient bij de rekenprogramma's een taskvalue (jjmdduu) meegegeven te worden. Dit maakt lange runs (hindcasts) mogelijk, waarbij een onderbreking en herstart mogelijk is. Bij herstarten mag OCEANSTATUS niet opnieuw gedraaid worden. Middels de recovery files wordt steeds bijgehouden bij welke datumtijd de programma's zijn.
- OCEANSTATUS wordt niet gebruikt. In dit geval dient een taskvalue bij de programma's meegegeven te worden. Begin- en eindtijden worden nu bepaald

met behulp van de parameters TN en TM middels OCEANINFO. OCEANINFO legt de intrinsieke parameters vast. Daarvoor wordt de datafile CARD gelezen, waarin hoofdcommando's, voorafgegaan door een '*' gegeven worden, gevolgd door subcommando's en eventuele nieuwe parameterwaarden. In het volgende worden de diverse (sub)commando's besproken. Niet alle (sub)commando's behoeven uitgevoerd te worden.

*START

Dit commando initialiseert de belangrijkste variabelen:

rekentijdstap	DT	=	6	uur
save-tijdstap	DTS	=	6	uur
printtijdstap	DTPR	=	12	uur
rekenrooster	NX	=	64	
	NY	=	99	
gridpuntsafstand	DXY	=	500	km
begin rekestijd	TN	=	-24	uur
einde rekestijd	TM	=	24	uur

*RESTART

Bij de uitvoering van dit commando wordt nagegaan of de informatiefiler ATLANTIC/INFO aanwezig is. Zo ja, dan worden de parameters van deze file gelezen. Zo niet, dan treedt een foutmelding op.

*INPUT

Dit hoofdcommando geeft aan dat er subcommando's volgen waarmee bepaalde parameters gewijzigd kunnen worden.

ATLANTIC

Dit subcommando initialiseert de geometrie van de Atlantische Oceaan:

NX	:=	35	
NY	:=	25	
DXY	:=	300000	
WL	:=	-50.01	ligging van roosterpunt 1,1 op de aardbol.
NB	:=	-1.20	
DELTA	:=	0	Y-as parallel aan de 0-meridiaan.

Bij dit commando wordt tevens in het grid vastgelegd welke punten landpunten zijn en in welke punten mogelijk pakij's op kan treden. Het rekenrooster voor de Noordatlantische Oceaan is in figuur 5.2 weergegeven.

GRID

NX, NY, DXY, WL, WB, DELTA

Hierna volgt een kaart met gridparameters:

NX en NY het aantal punten in X- en Y-richting, DXY de roosterpuntsafstand, WL en NB de ligging van roosterpunt 1,1 op de aardbol en DELTA de meridiaan die samenvalt met de Y-as.

LAND

X,Y

Hierna volgen kaarten met coördinaten van landpunten, waarvoor de diepte nul is.

DEPTH

X,Y,D

Dit commando geeft aan dat er kaarten volgen met coördinaten van punten en de diepte op die punten, zodat een dieptekaart opgegeven kan worden.

ICE

X,Y

Hierna volgen kaarten met coördinaten van ijspunten, waarvoor de diepte -1 wordt. Voor elk opgegeven punt wordt gecheckt of het wel een ijspunt kan zijn. Daarvoor dient de oorspronkelijke diepte 100 te zijn. Deze check dient er voor het operationele programma zoveel mogelijk te beveiligen tegen fout opgegeven ijspunten.

TIMESTEP

DT, DTS, DTPR, TN, TM

Na dit commando kunnen tijdstappen voor de berekeningen, saven van files printuitvoer, minimum- en maximumtijd opgegeven worden.

MONITOR

M1,M2,M3,M4,M5

Hierna kan opgegeven worden welke velden in de berekening van het wind- en golfveld geprint worden.

*OUTPUT

Na dit commando volgen er commando's waarmee ter controle parameters en

roosters geprint kunnen worden.

PARAMETERS

Hierna worden de waarden van de diverse parameters geprint.

CONTOURMAP

Na dit commando wordt een contourmap van het rekengrid geprint, waarbij land door een * en ijs door een . wordt weergegeven.

DEPTHMAP

Hierna wordt een kaart met de dieptes geprint.

*SAVE

Dit commando geeft aan dat de informatiefile met de nieuwe parameters gesaved wordt, tenminste, als er bij de uitvoering van de commando's geen fouten geconstateerd zijn.

*EXIT

Na dit commando wordt het programma afgebroken.

Voorbeeld file CARD voor het aanmaken van de informatiefile ---/INFO

```
*START
*INPUT
  ATLANTIC
  TIMESTEP
  6.0, 6.0, 12.0, -24, 24
  MONITOR
  0, 0, 0, 0, 0
*OUTPUT
  PARAMETERS
  CONTOURMAP
*SAVE
```

Voorbeeld file CARD voor het wijzigen van de informatiefile ---/INFO.

```
*RESTART
*INPUT
  ATLANTIC
  ICE
  X1,Y1
  X2,Y2
  .....
  .....
  .....
  Xn,Yn
*SAVE
```

6. PRESENTATIE

Presentatie gebeurt door het programma OCEANPLOT, dat kaarten met windvelden en kaarten met golfvelden plot.

In de windveldkaarten worden windsnelheidscontouren geplot (vanaf 18 knopen, om de 4 knopen) en in elk roosterpunt de windvaan.

In de golfkaarten worden golfhoogtecontouren geplot (vanaf 2 meter, elke meter) en in elk roosterpunt een zeegangs- en/of deiningpijl. De contouren voor de golfhoogte zijn contouren voor de totale golfhoogte, dat wil zeggen zeegang plus deining.

De zeegangs- en of deiningpijlen zijn als volgt geconstrueerd:

- Als er zuivere zeegang aanwezig is, dat wil zeggen dat de zeegangsenergie minder is dan maximaal past bij de in dat punt heersende windsnelheid, dan heeft de zeegangspijl een gesloten schacht en twee flanken. De lengte van de pijl is evenredig met de hoogte van de zeegang.
- Als de zeegangsenergie groter is dan maximaal past bij de in dat punt heersende windsnelheid, dan is er sprake van deiningachtige zeegang. In dat geval bestaat de pijl uit een gestippelde schacht en twee flanken. De lengte van de pijl is evenredig met de hoogte van de (deiningachtige) zeegang.
- Als er deining aanwezig is met een energie die groter is dan de helft van de ter plaatse aanwezige zeegangsenergie, dan wordt er ook een deiningpijl geplot. Die bestaat uit een gestippelde schacht en slechts een enkele flank. De lengte van de pijl is evenredig met de hoogte van de deining. Als de deiningenergie minder is dan de helft van de zeegangsenergie, dan wordt er geen deiningpijl geplot.
- Een bijzonder geval doet zich voor wanneer het verschil in richting tussen de zeegang en deining minder dan 30 graden bedraagt. In dat geval is er eigenlijk moeilijk onderscheid te maken tussen de aanwezige zeegang en deining. Er is sprake van deiningachtige zeegang of zeegangachtige deining. In dat geval wordt de pijl voor deiningachtige zeegang geplot. De richting is die van de overheersende component. De lengte is evenredig met de totale golfhoogte.

Nadeel van deze presentatie is dat de contouren van de totale golfhoogte geplot worden, waardoor de golfvelden moeilijk van elkaar te scheiden zijn, hetgeen bij de manuele analyse wel mogelijk is. Echter door de pijllengtes in de roosterpunten evenredig te maken met de hoogte van zeegang en/of

deining, is altijd na te gaan hoeveel zeegang en hoeveel deining er aanwezig is.

In de figuren 6.1 t/m 6.6 zijn voorbeelden van computergolfkaarten gepresenteerd, samen met de bijbehorende manuele golfkaart en het computer windveld.

In de figuren 6.7 t/m 6.15 zijn enkele computergolfkaarten voor opeenvolgende tijdstippen gepresenteerd.

7. KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit rapport is beschreven hoe het golfmodel voor de oceanen werkt en hoe het getest is. Op basis van de uitvoerige tests van het model kan gekonkludeerd worden dat het model een kwaliteit bezit die gelijkwaardig is aan die van het manuele model. Daarmee is het model in het operationele produktieproces de komende jaren bruikbaar teneinde efficiënter te produceren.

Verbetering van het model is op de volgende punten wenselijk:

- De propagatie van de deining is voor verbetering vatbaar. Onderzocht zou kunnen worden of een hogere orde differentieschema verbetering oplevert en operationeel realiseerbaar is.
- Het is wenselijk een interactief computerprogramma te ontwikkelen en te implementeren, waarmee het mogelijk wordt op elke gewenste lokatie een volledig twee-dimensionaal golfspectrum te berekenen.
- Onderzocht zou kunnen worden of scheepswaarnemingen (wind en golven) in het model geïntegreerd kunnen worden en tot verbetering leiden.
- De kwaliteit van de windvelden van het ECMWF laat soms te wensen over. Met name bij tropische cyclonen is de kwaliteit slecht. Verbetering is mogelijk door de meteoroloog de drukvelden interactief bij te laten sturen en op basis daarvan windvelden te corrigeren, waarna het golfmodel opnieuw gedraaid kan worden. Met behulp van een eenvoudig advectiemodel kunnen de korrekties ook in prognostische velden doorwerken.

Dank ben ik verschuldigd aan R. Borgart en D.A. Reedijk voor het vergelijken van de computerresultaten met de manuele golfkaarten en voor de vele suggesties ter verbetering van het model.

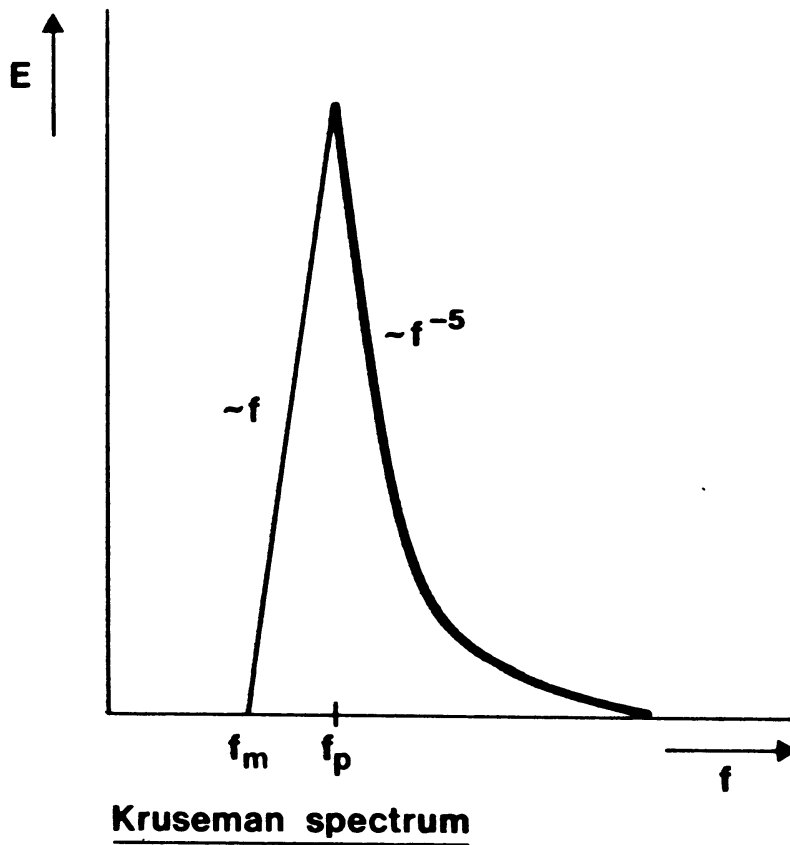
8. REFERENTIES

1. Bruinsma, J., P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, H.H. Peeck, M.J.M. Saraber en W.J.P. de Voogt : Description of the KNMI operational wave forecasting model GONO.
KNMI Wetenschappelijk Rapport No. 80-8 (1980).
2. Golding, B. : A wave prediction system for real-time sea state forecasting.
Quart. J. R. Met. Soc., 109, 393-416 (1983).
3. Groen, P., R. Dorrestein : Zeegolven.
(KNMI-publ. 111-11 ; 3e dr.) (1976).
4. Handbook on Wave Analysis and Forecasting.
WMO Report No. 446 (1976).
5. Haug, O. : A numerical model for prediction of sea and swell.
The Norwegian Met. Inst., Meteor. Ann., 5, No. 4 (1968).
6. Janssen, P.A.E.M., G.J. Komen, W.J.P. de Voogt : An Operational Coupled Hybrid Wave Prediction Model.
J. Geoph. Res., 89, No C3, 3635-3654 (1984).
7. Joseph, P.S., S. Kawai, Y.Toba : Ocean wave prediction by a Hybrid Model. Combination of single parameterized wind waves with spectrally treated swells.
Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, 28, 1, 27-45 (1981).
8. Kawai, S., P.S. Joseph, Y. Toba : Prediction of ocean waves based on the single parameter growth equation of wind waves.
J. Oceanogr. Soc. Japan, 35, 135-167 (1979).
9. Kawai, S., P.S. Joseph, Y. Toba : Prediction of ocean waves based on the single parameter growth equation of wind waves. II: Introduction of Grid Method.
J. Oceanogr. Soc. Japan, 37, 9-20 (1981).

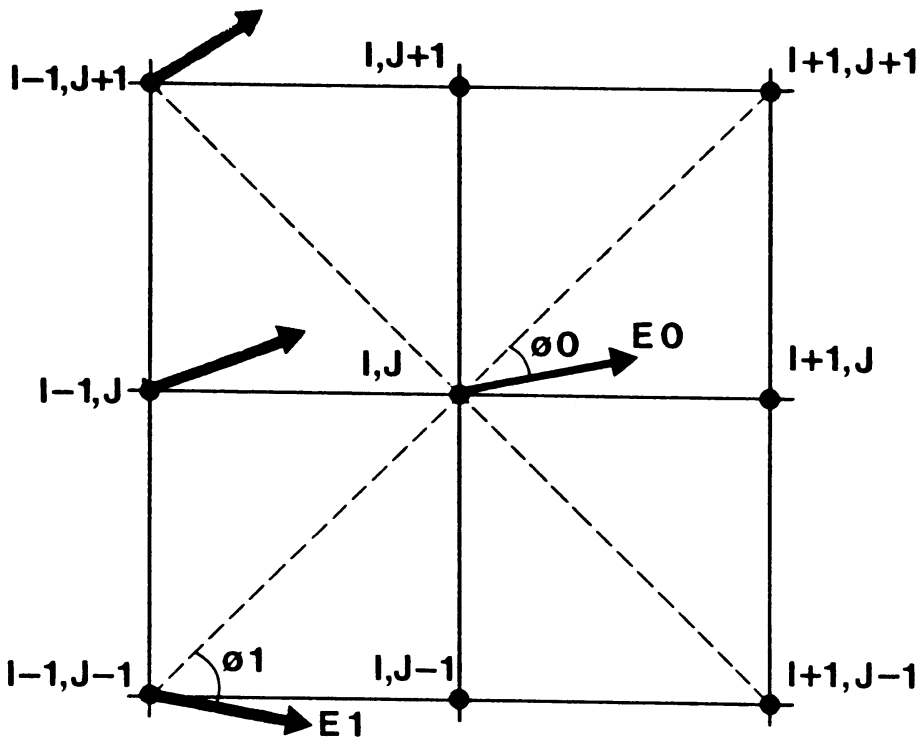
10. Sanders, J.W., : A growth stage scaling model for the wind-driven sea
D. Hydr. Zts., 29, 136-161 (1976).
11. Sanders, J.W., W.J.P. de Voogt, J. Bruinsma : Fysisch Golfonderzoek
Noordzee.
Sci. Rep. MLTP-2, Raad van Overleg Fys. Oceanogr. Onderzoek Noordzee,
De Bilt, Holland (1981).
12. SWAMP Group, Sea Wave Modelling Project : An intercomaprison study of
wind wave prediction models, Part 2, A compilation of results.
Publ. 161, R. Neth. Meteorol. Inst., De Bilt, Holland (1982).
13. SWAMP Group, Sea Wave Modelling Project : An intercomparison study of
wind wave prediction models, Part 1, Principal results and conclusions
Proceedings of the IUCRM Symposium on Wave Dynamics and Radio Probing
of the Ocean Surface, Miami, 1981, Plenum, New York (1983).
14. Verploegh, G. : Observation and analysis of the surface wind over the
ocean.
Mededelingen en Verhandelingen KNMI No. 89 (1967).



Figuur 3.1

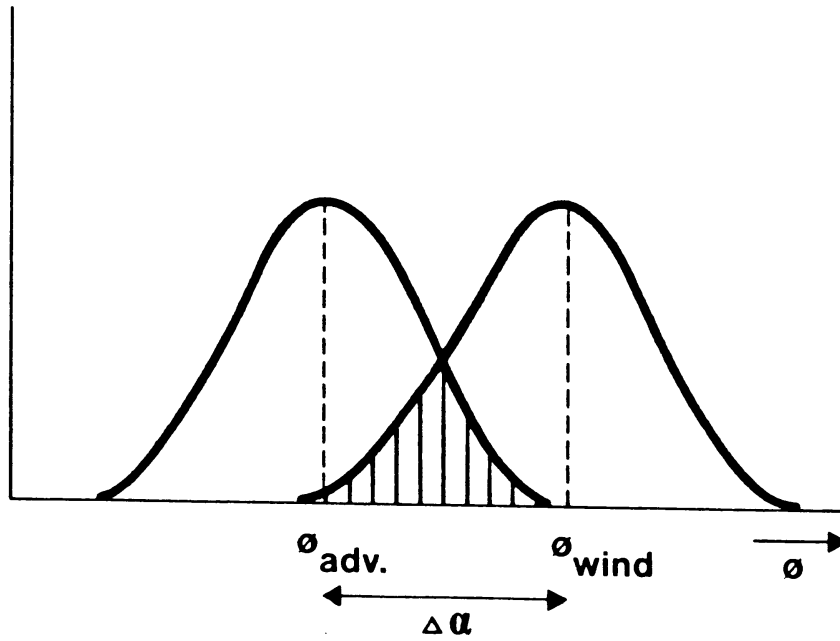


Figuur 3.2



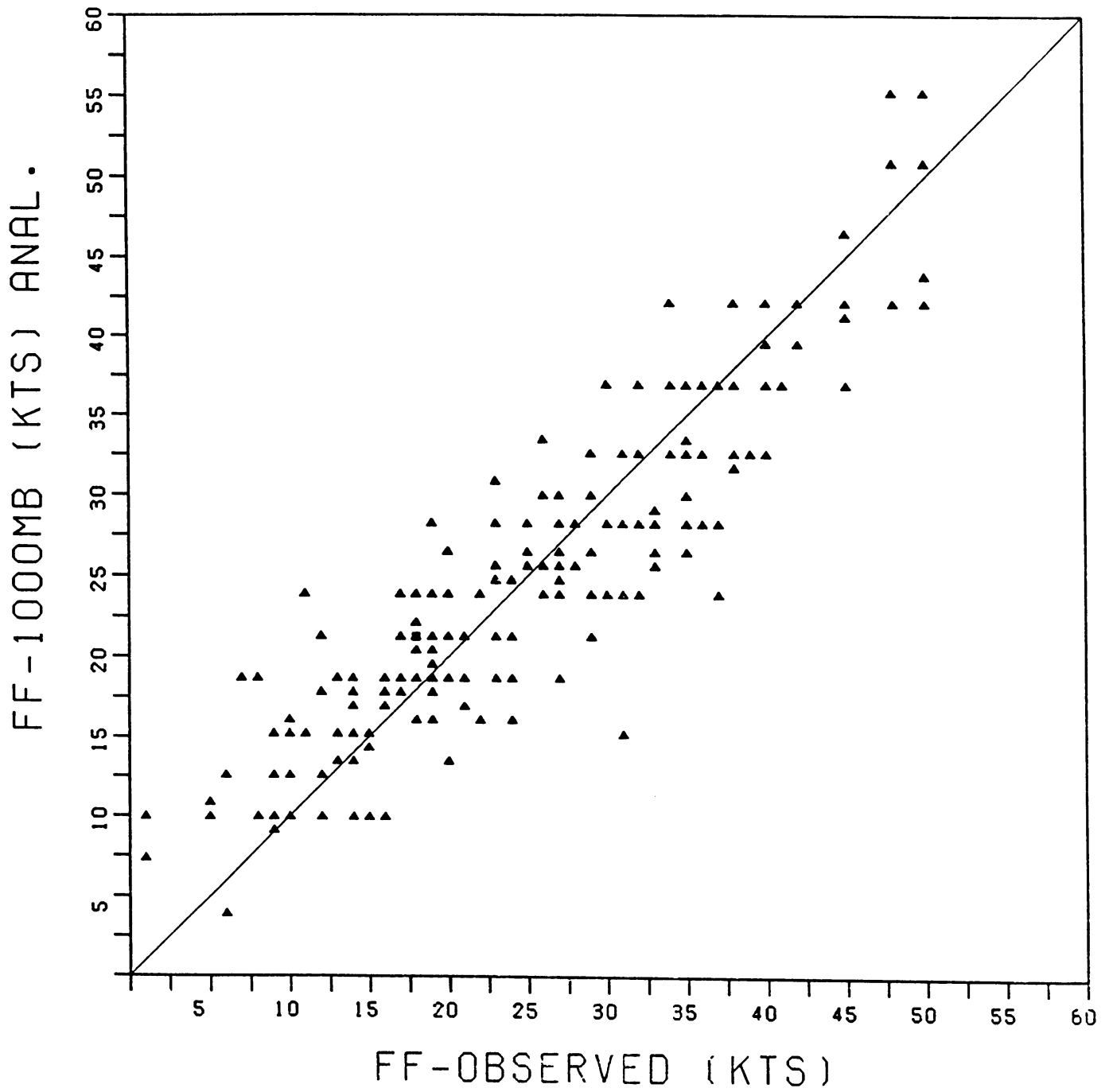
Advection van energie

Figuur 3.3

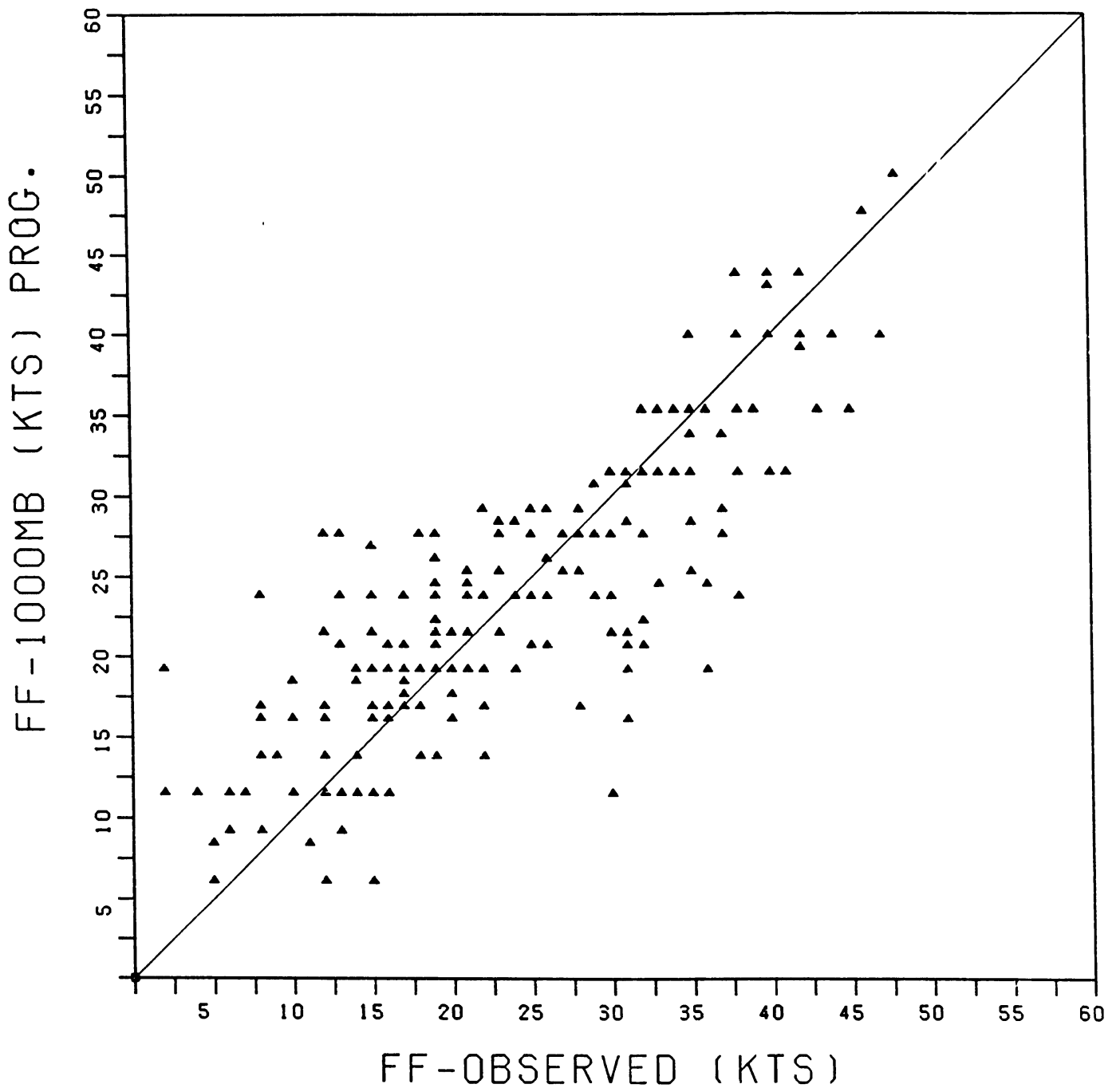


Interactie met wind

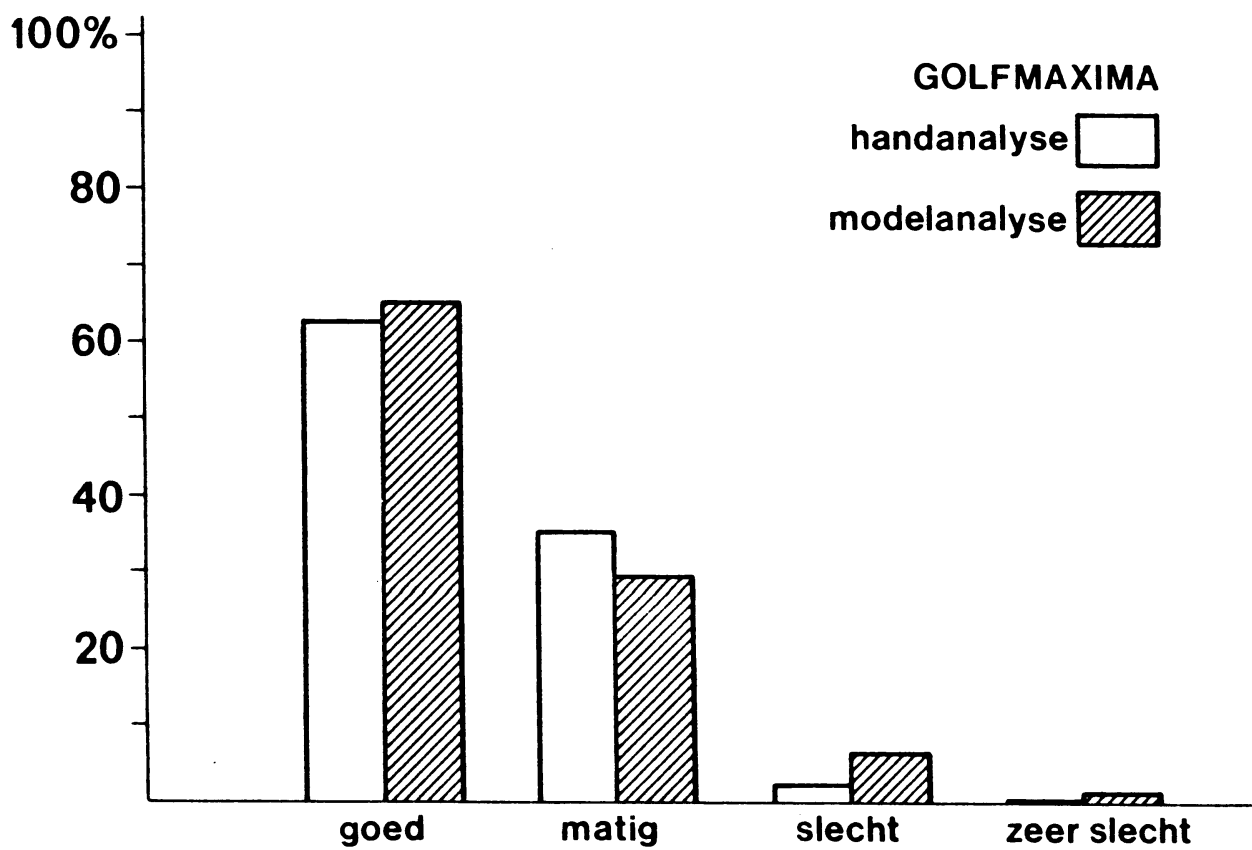
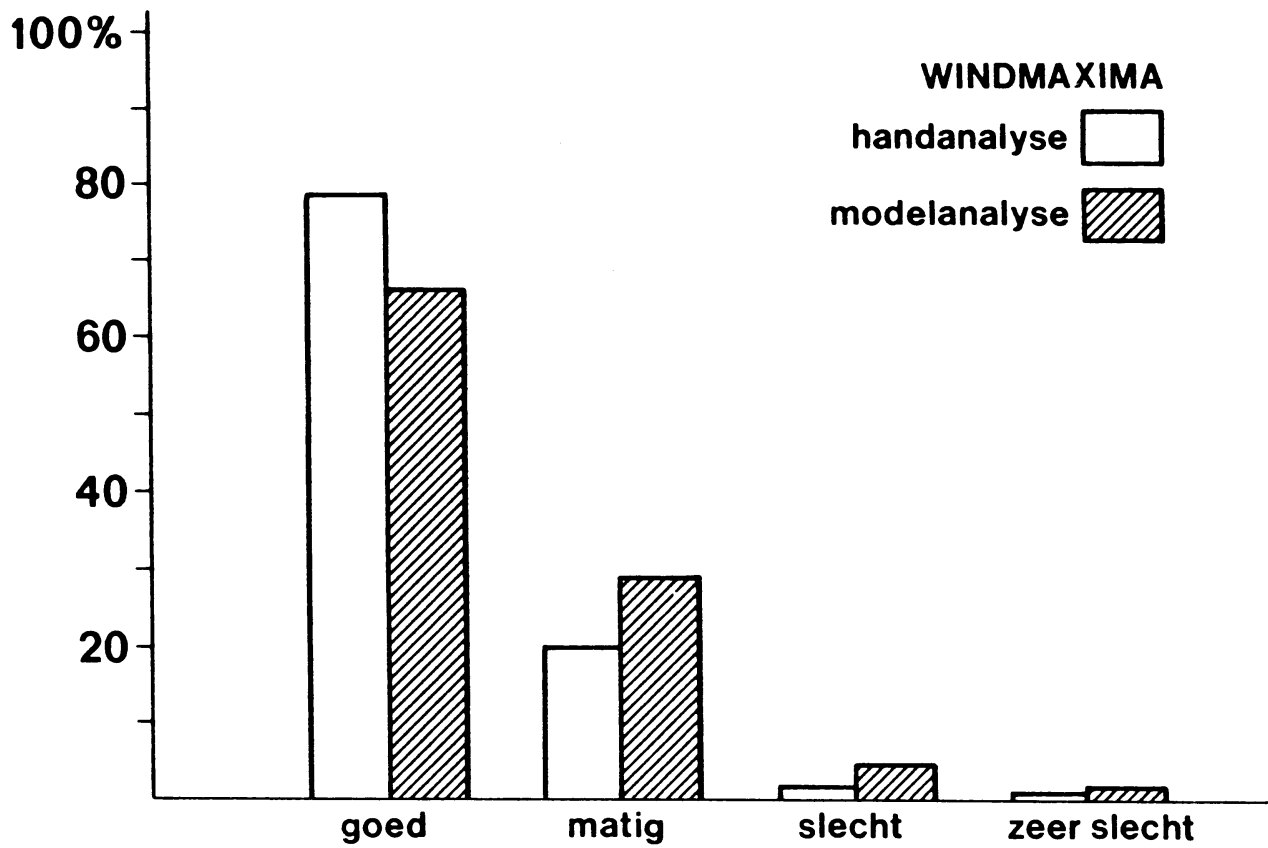
Figuur 3.4



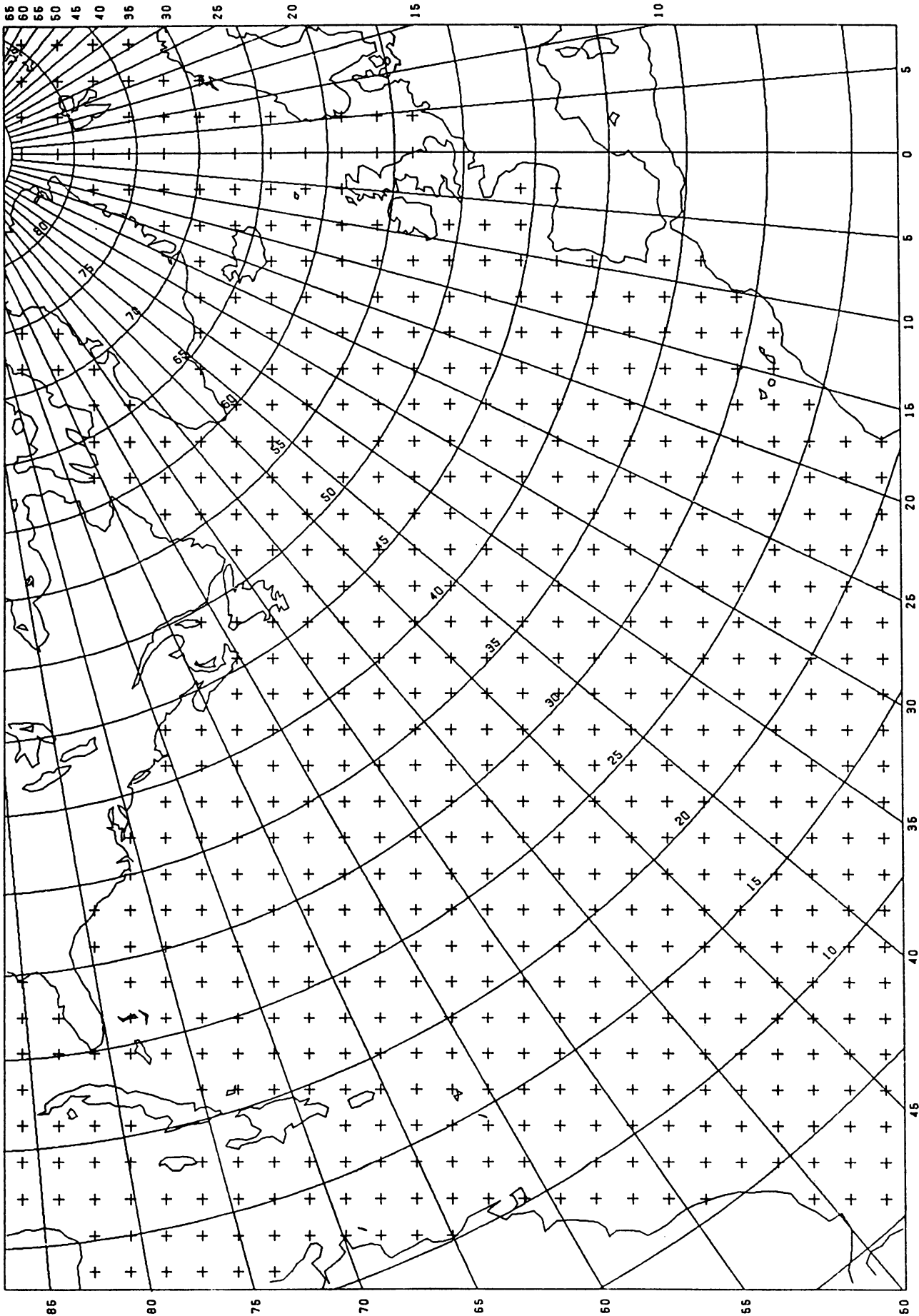
Figuur 4.1



Figuur 4.2

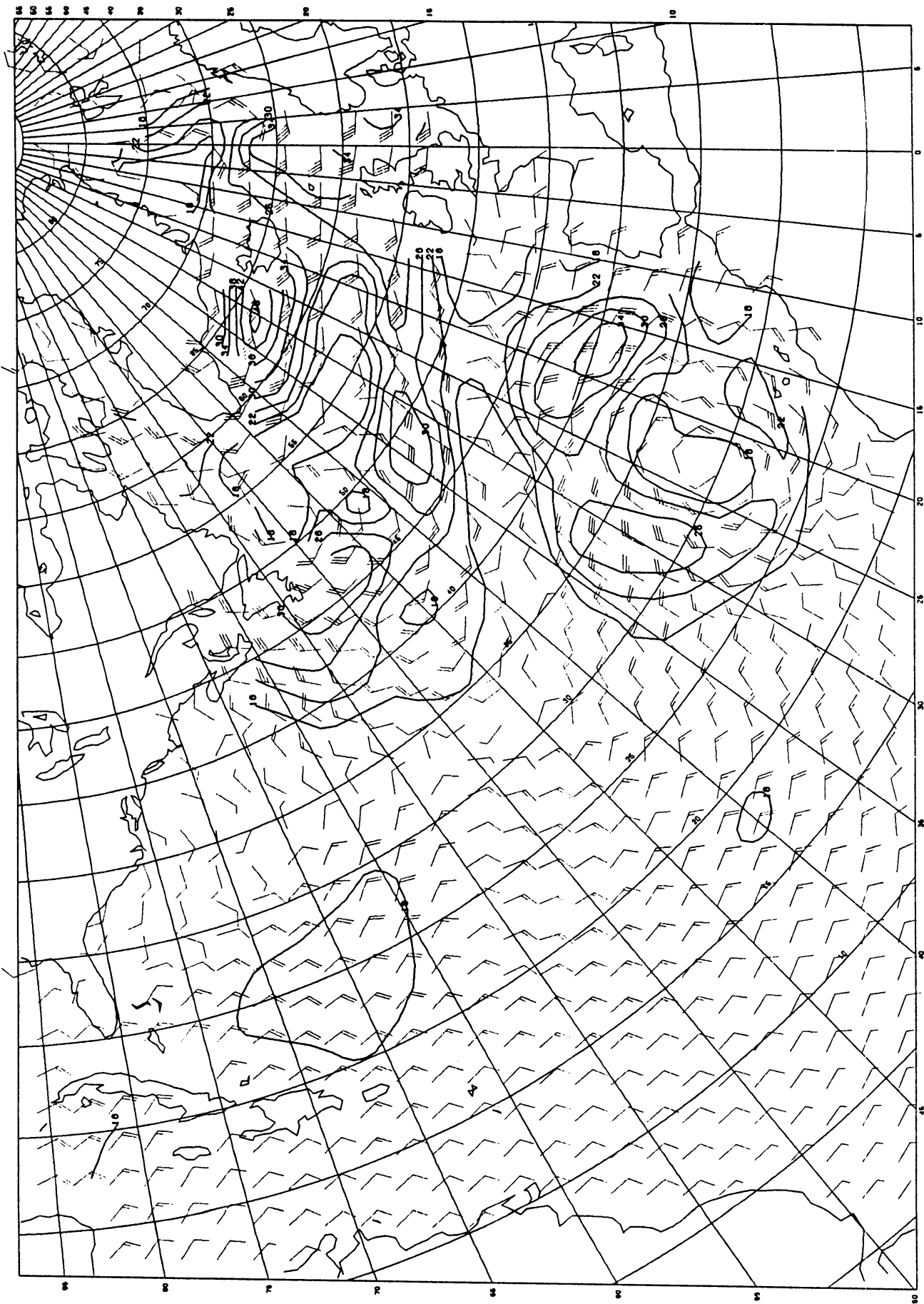


Figuur 4.3



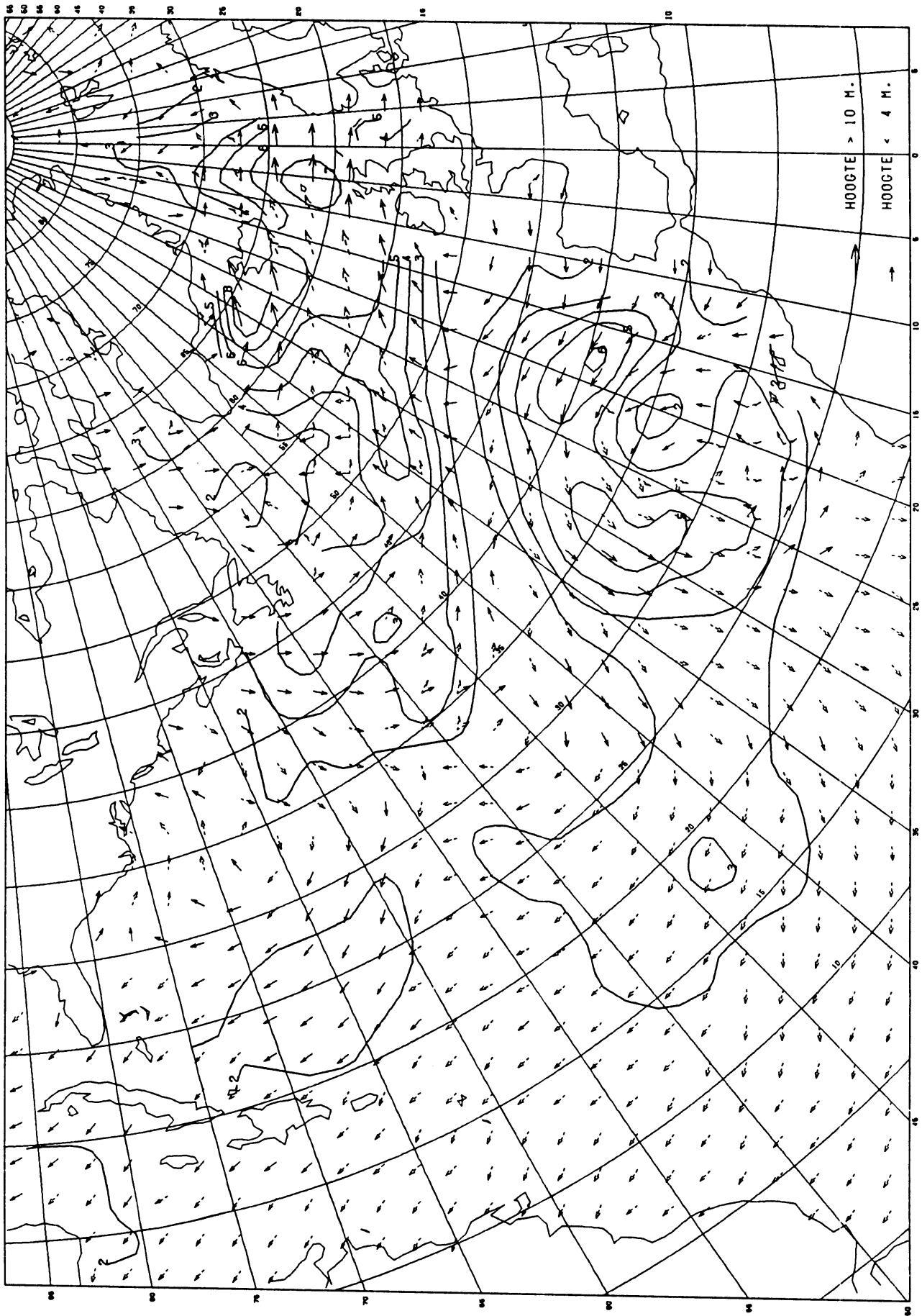
GRID FOR NORTH-ATLANTIC

figuur 5.2



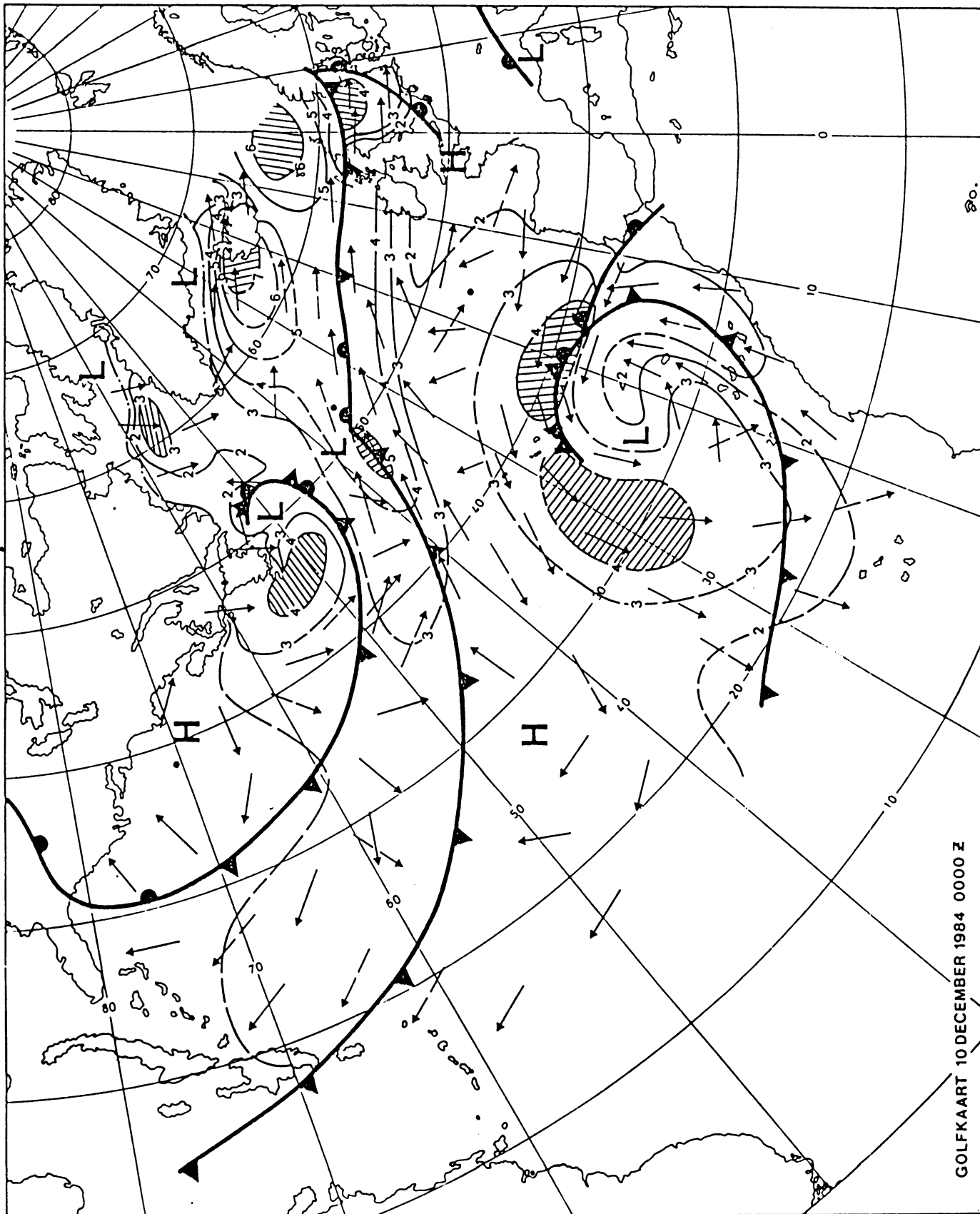
KNMI WINDCHART FOR 84121000 (FP = 0)

Figuur 6.1

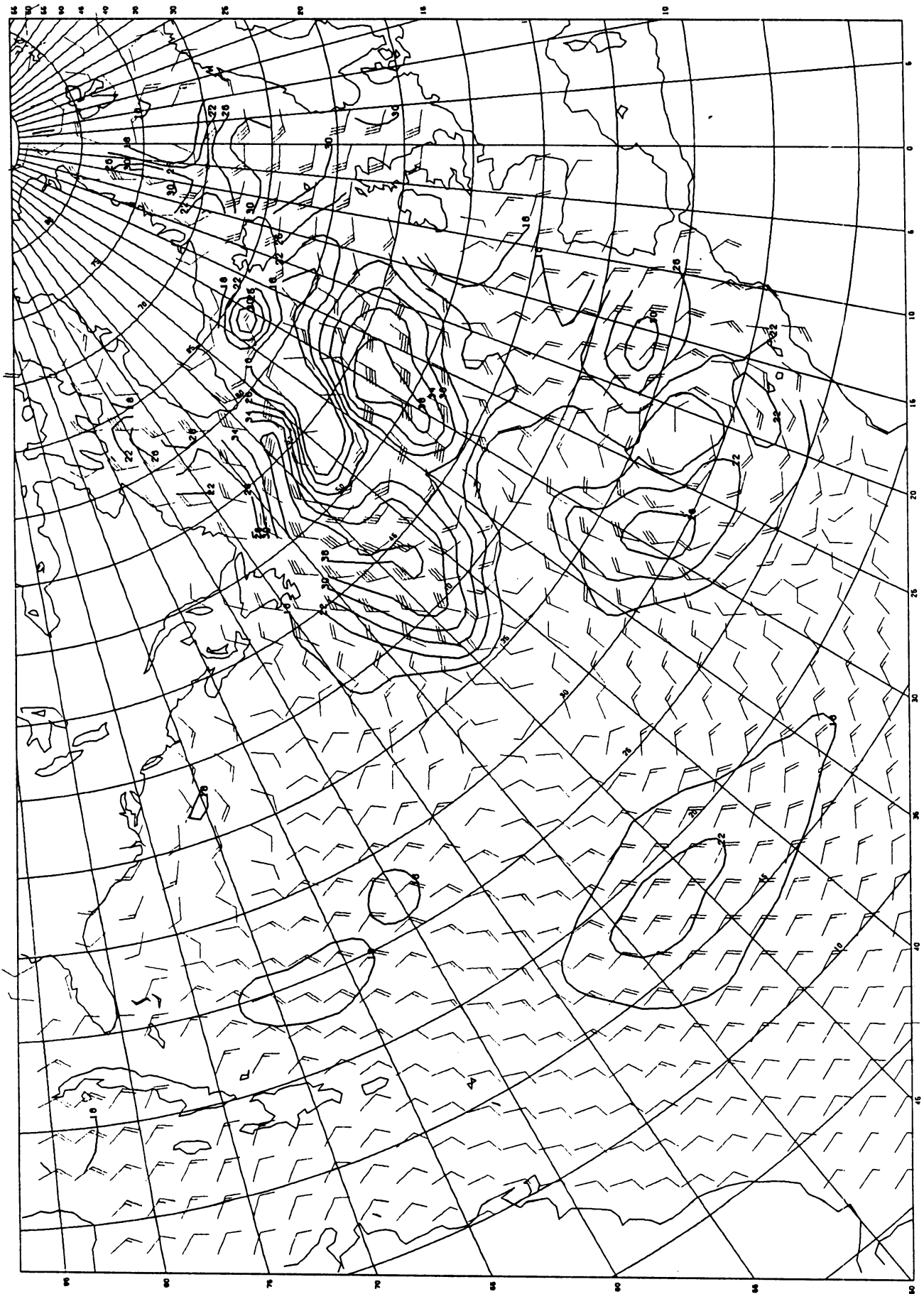


KNMI SEACHART FOR 84121000 (FP = 0)

Figuur 6.2

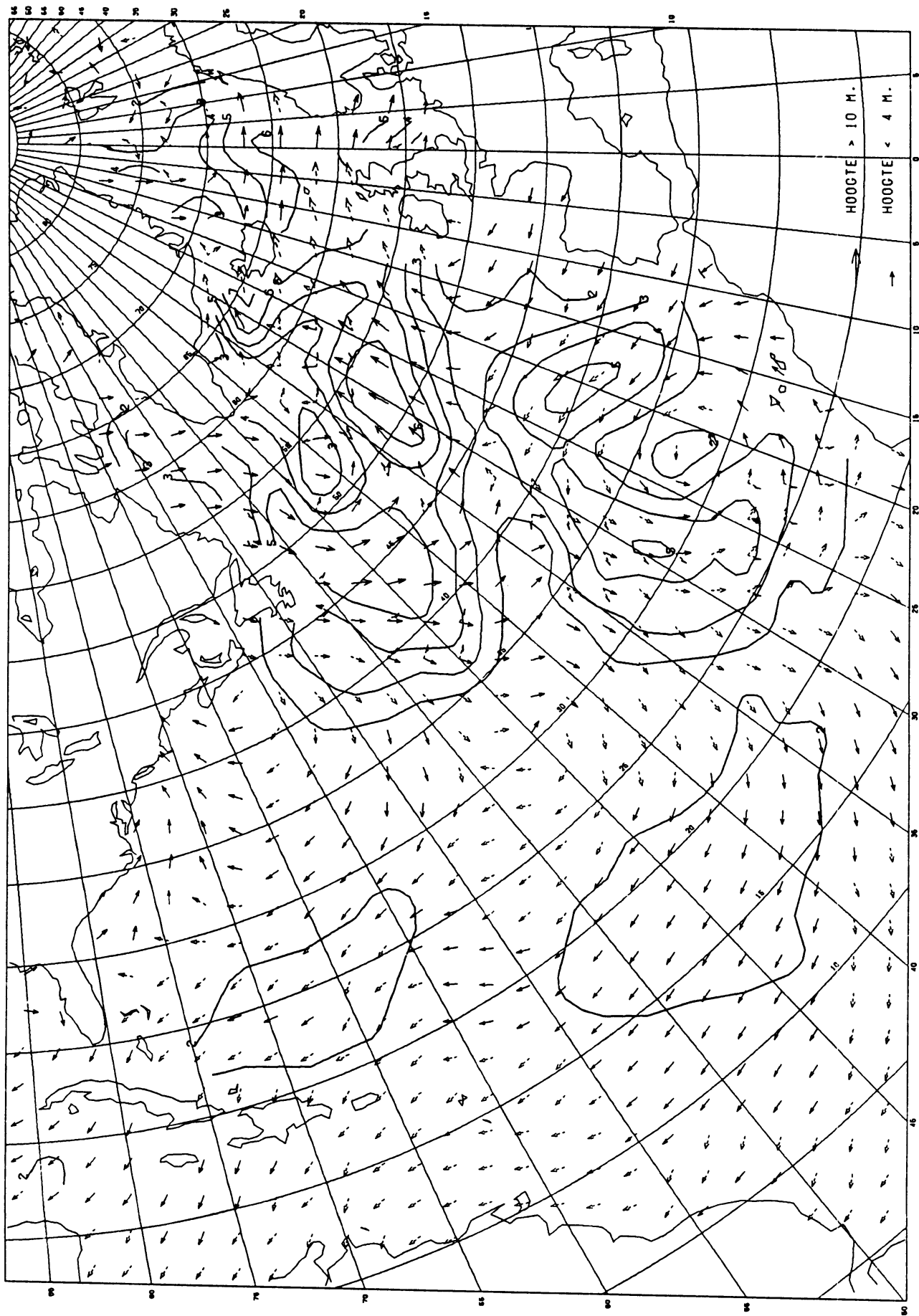


Figuur 6.3

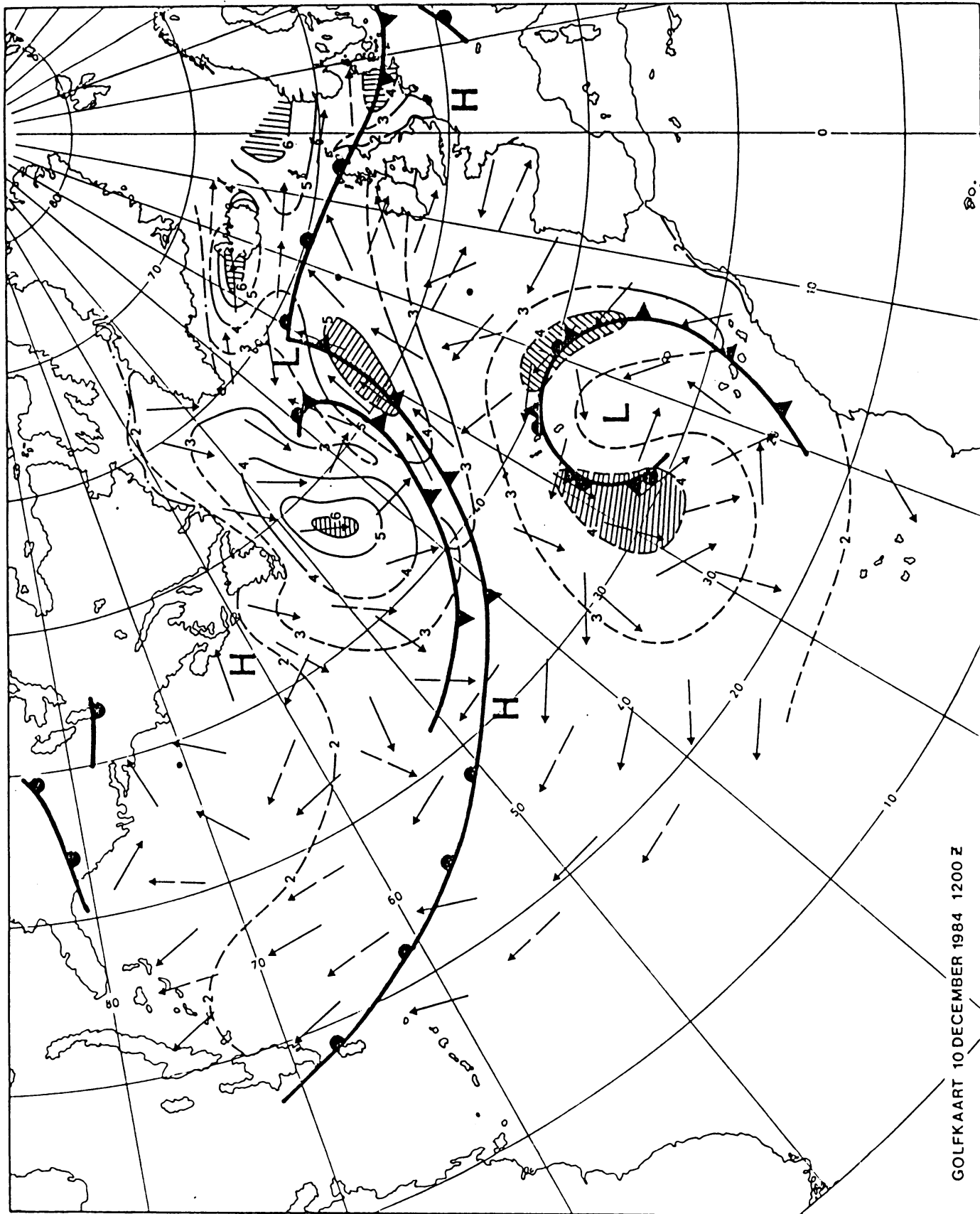


KNMI WINDCHART FOR 84121012 (FP = 0)

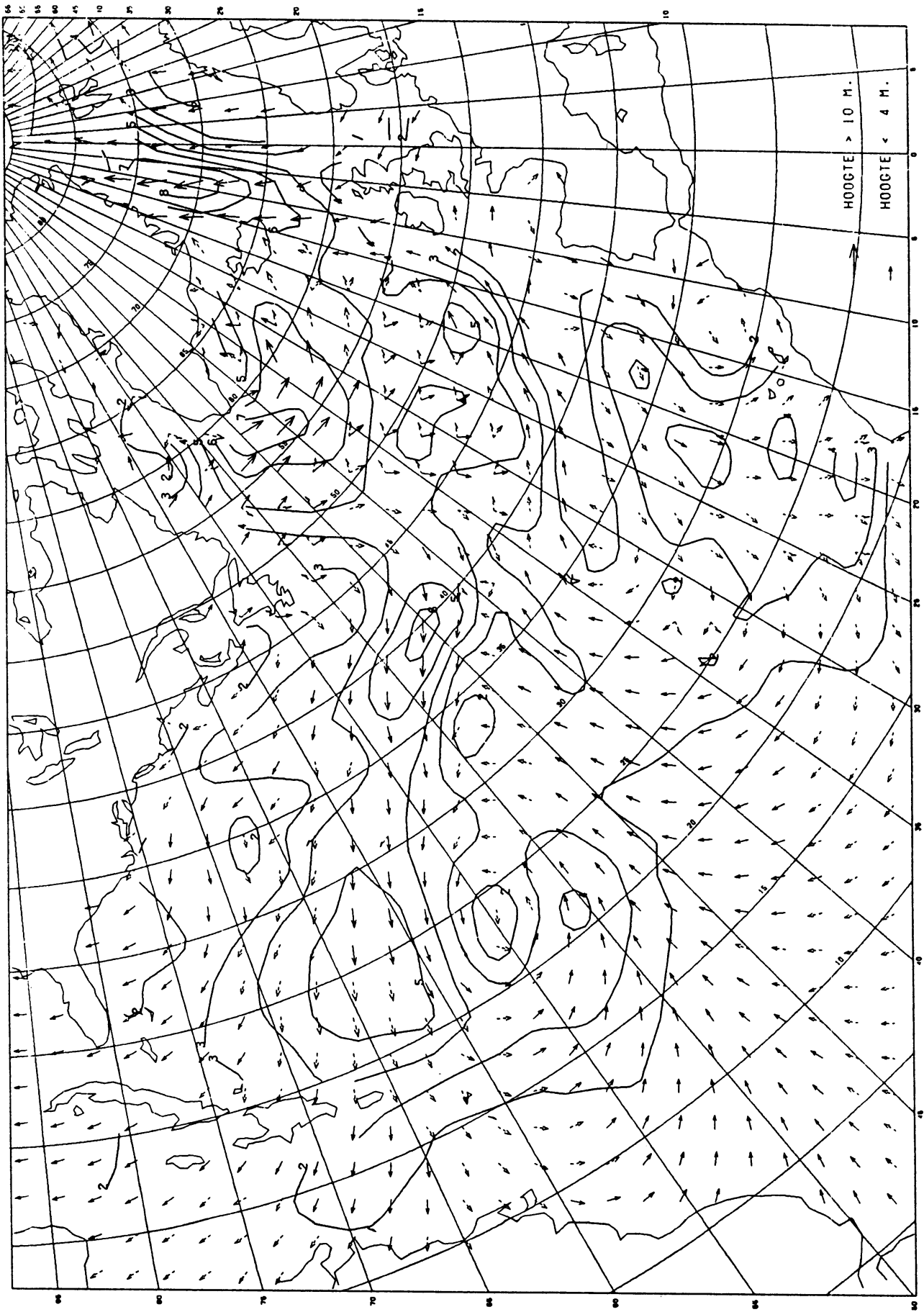
Figuur 6.4



Figuur 6.5

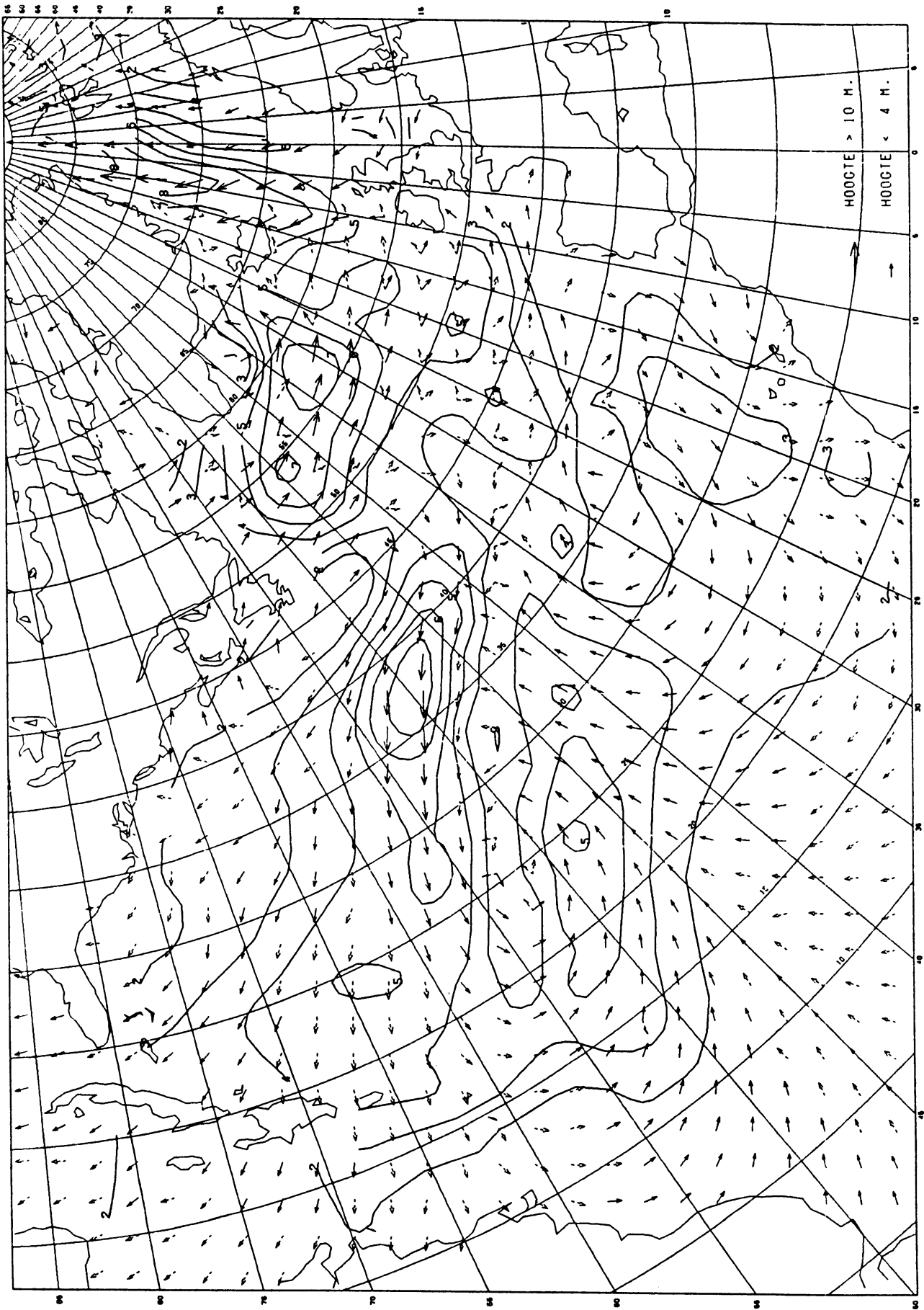


Figuur 6.6



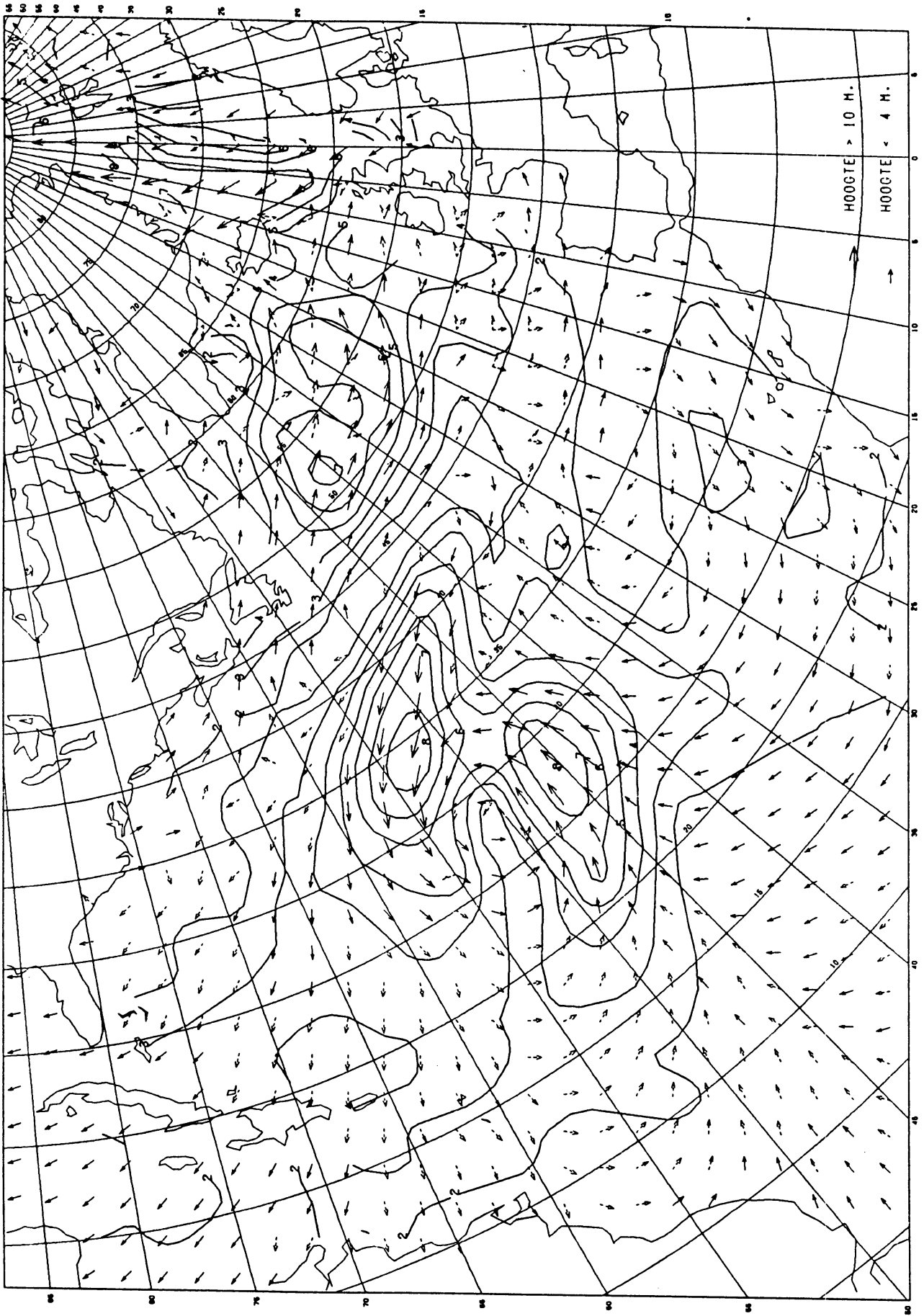
KNMI SEARCHART FOR 84121612 (FP = 0)

Figuur 6.7



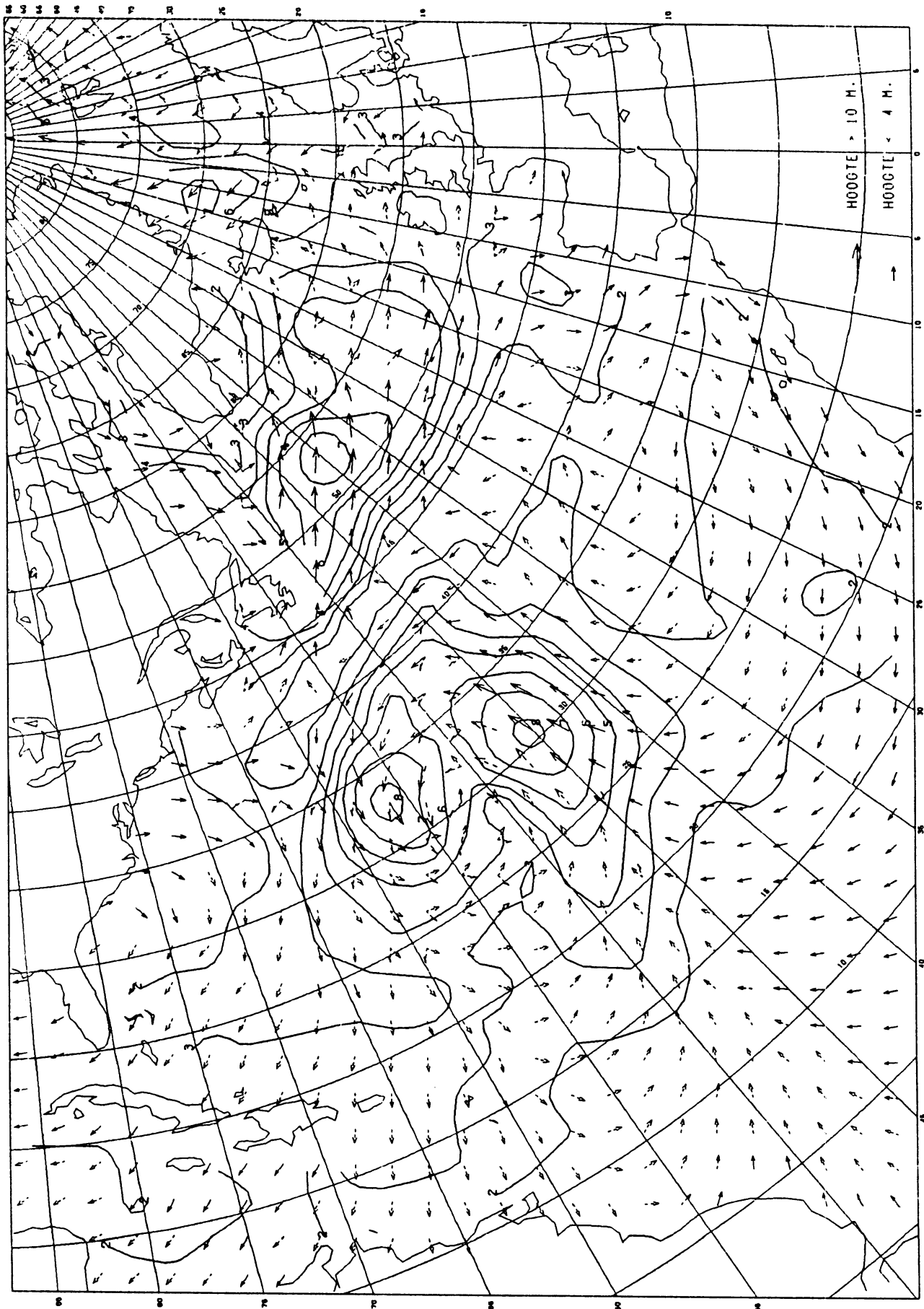
KNMI SEARCHART FOR 84121700 (FP = 0)

Figuur 6.8

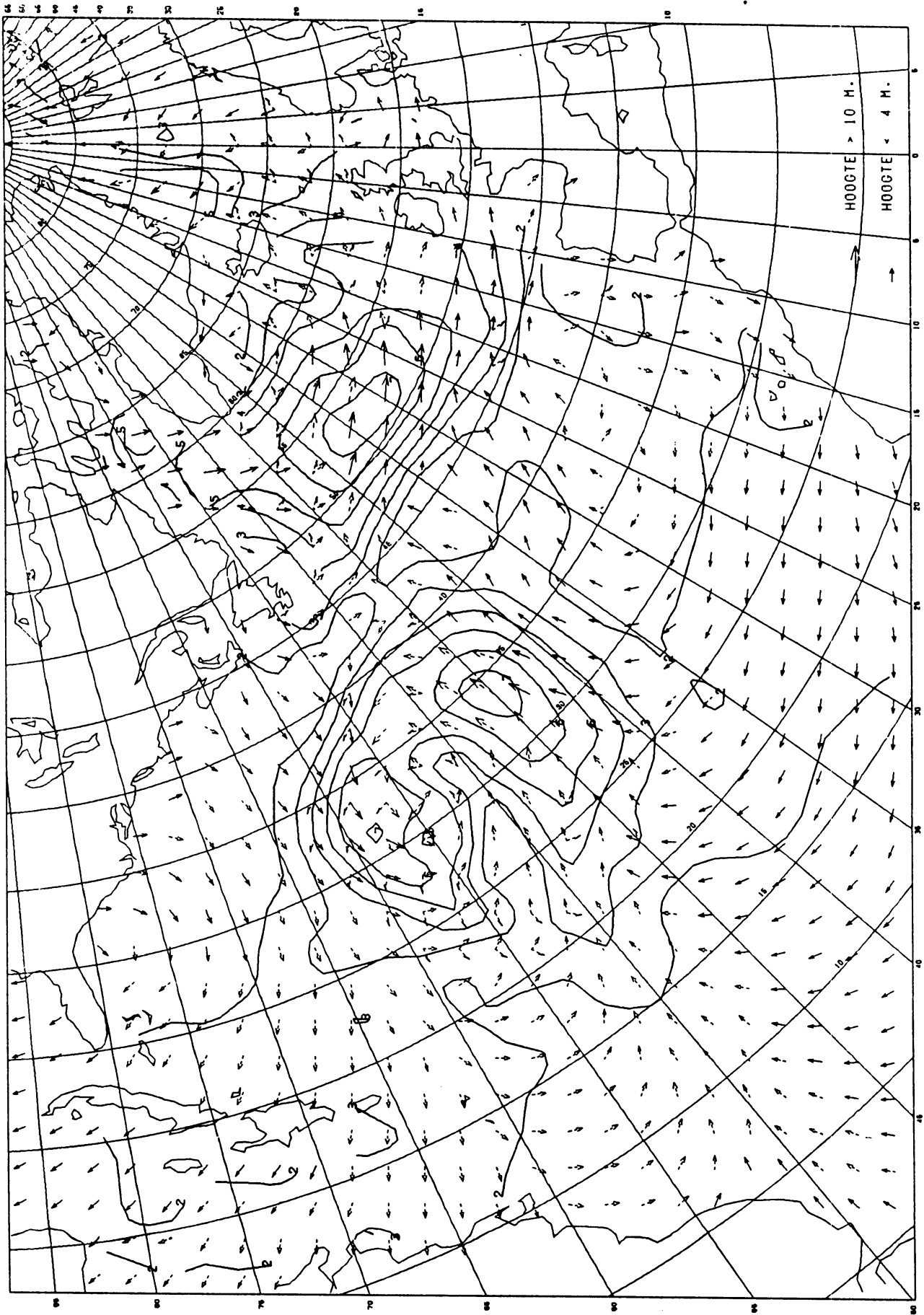


KNMI SEARCHART FOR 84121712 (FP = 0)

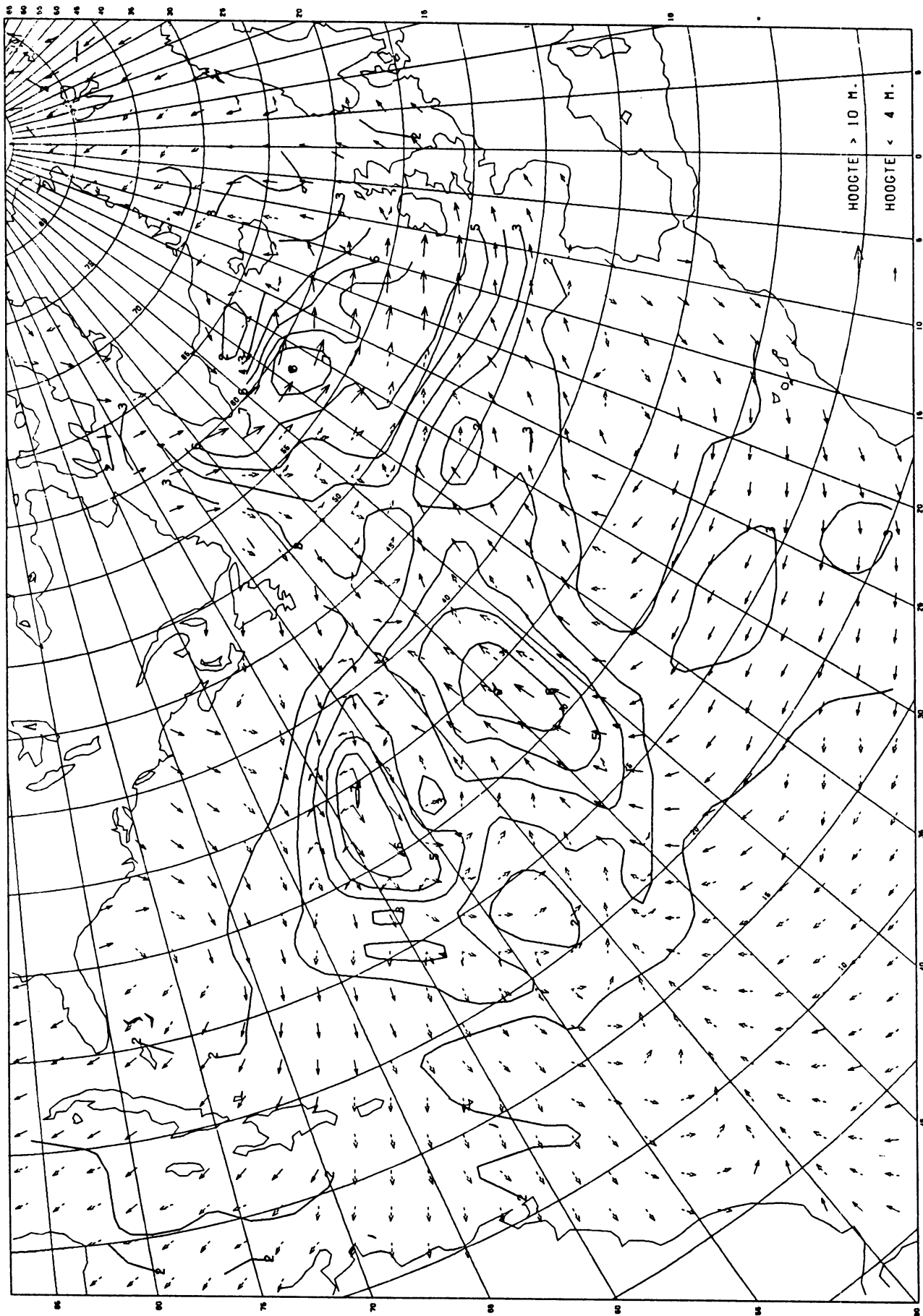
Figuur 6.9



Figuur 6.10

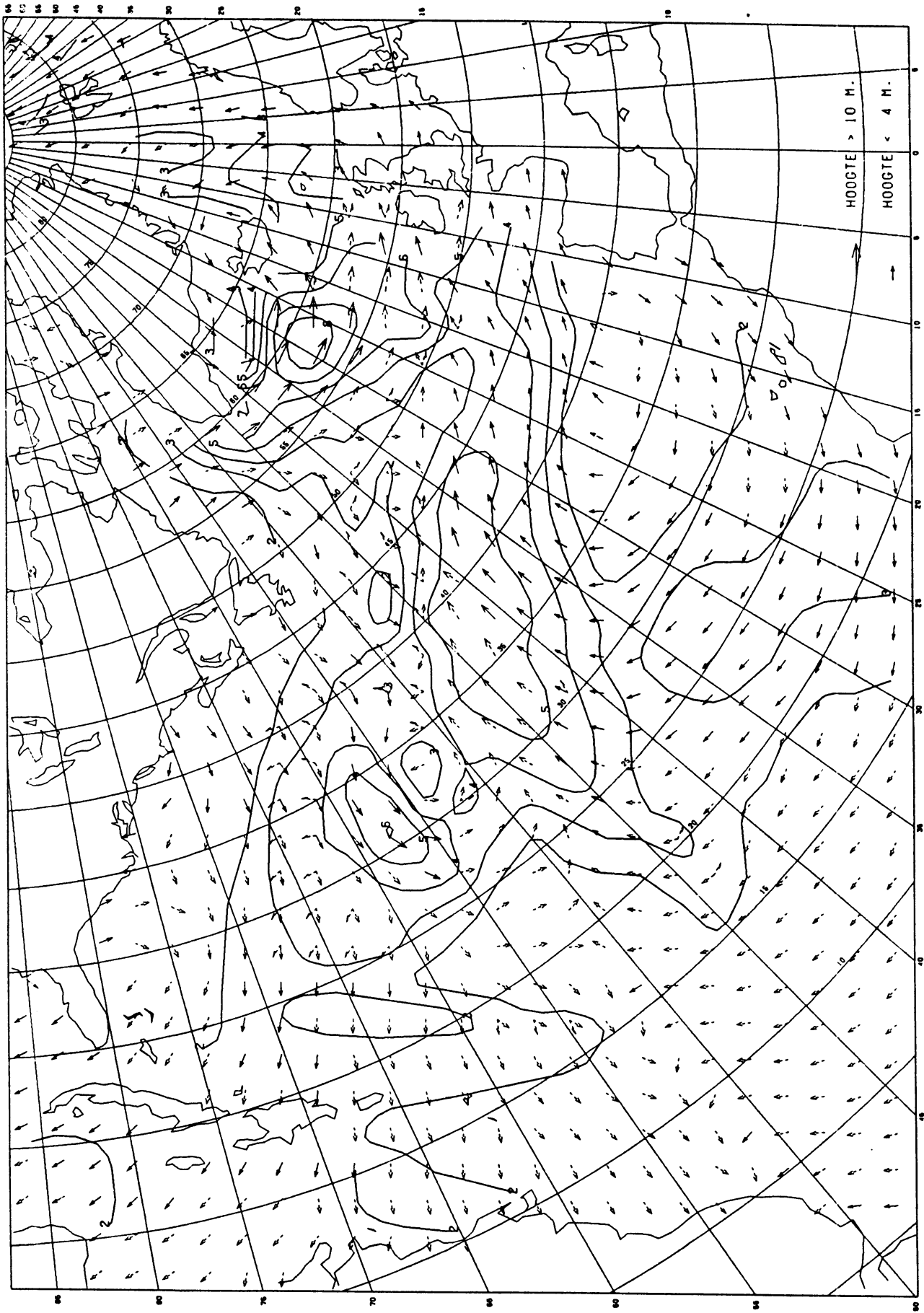


Figuur 6.11

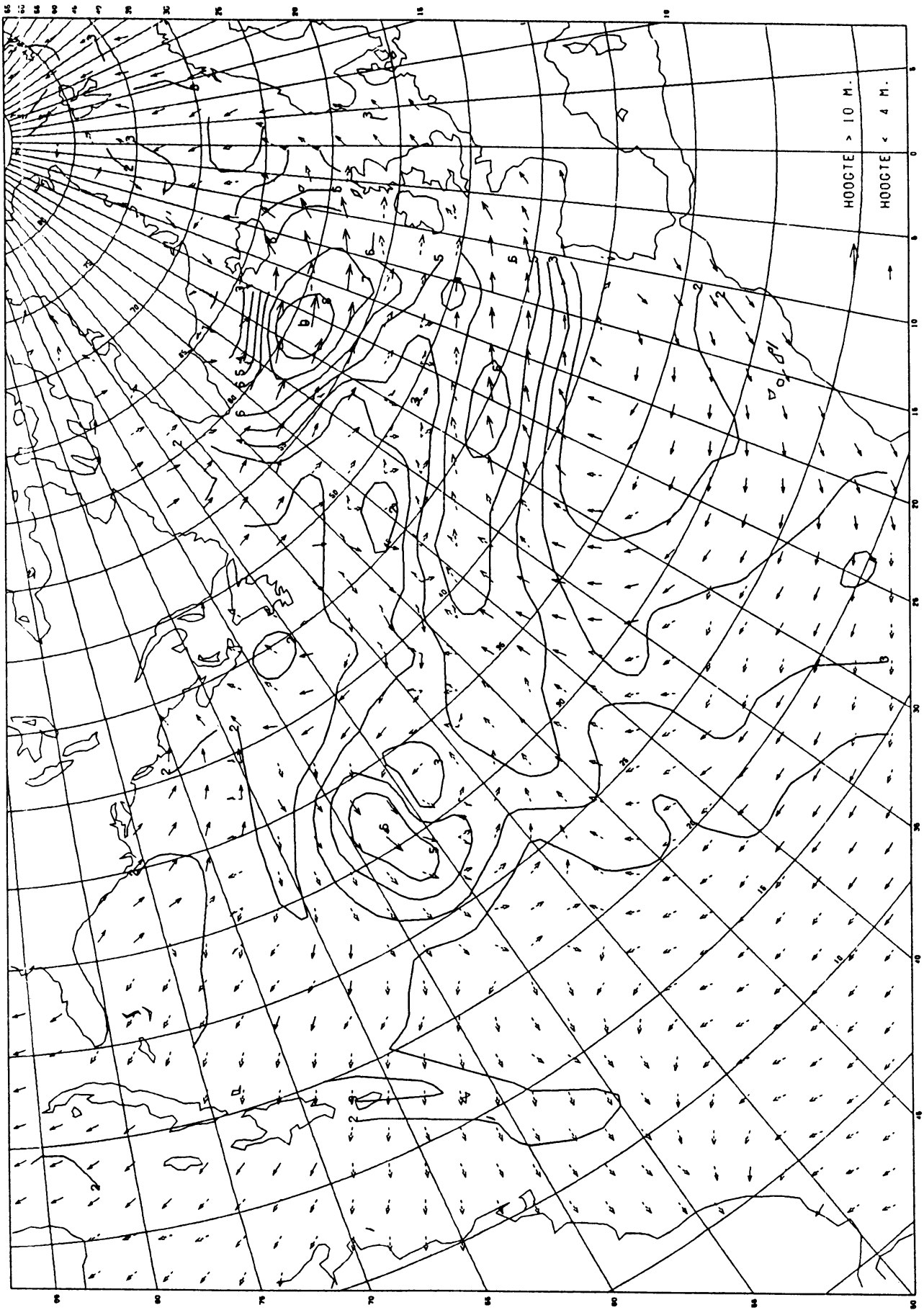


Figuur 6.12

KNMI SEARCHART FOR 84121900 (FP = 0)

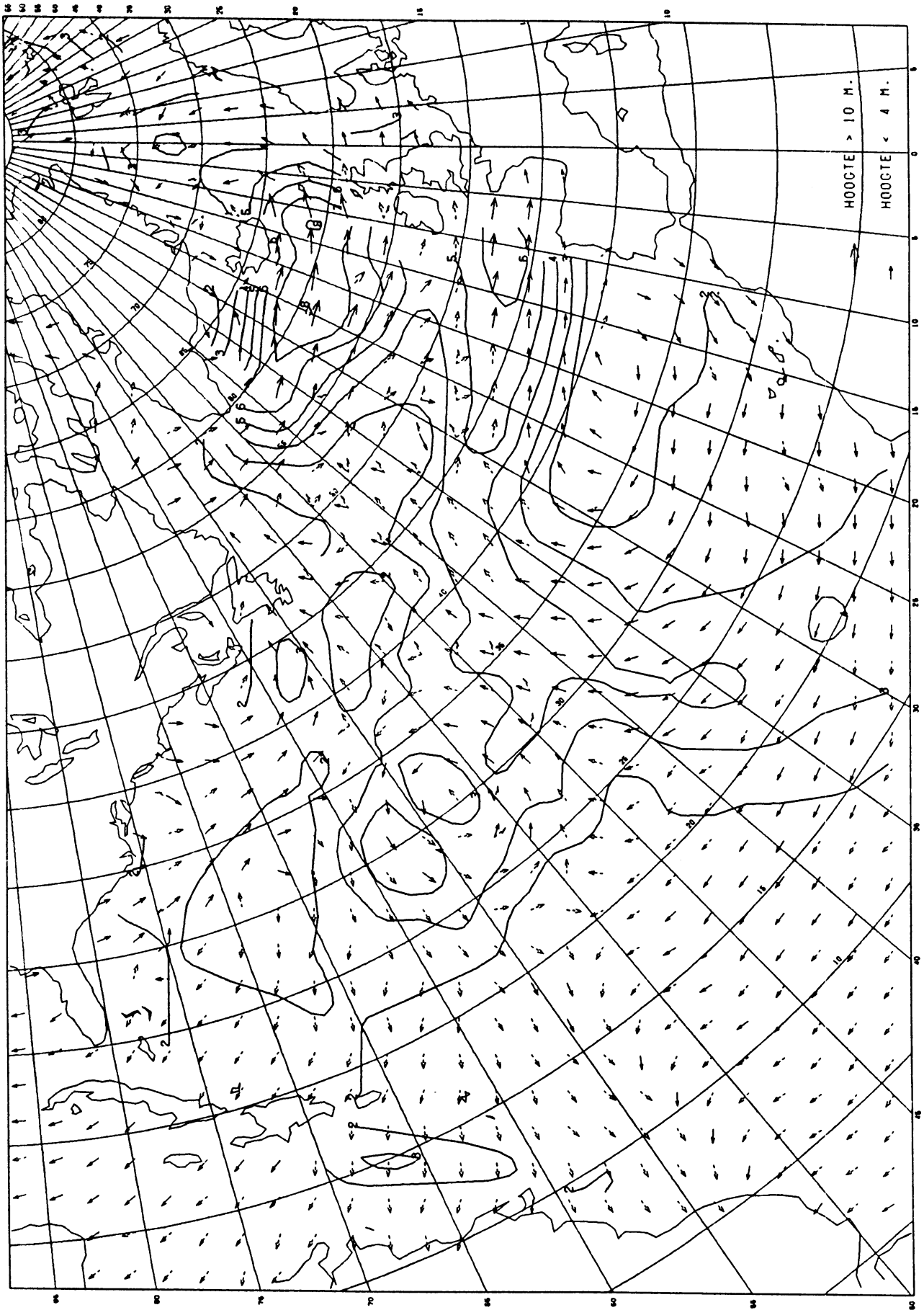


Figuur 6.13



KNMI SEACHART FOR 84122000 (FP = 0)

Figuur 6.14



KNMI SEARCHART FOR 84122012 (FP = 0)

Figuur 6.15