

**TEGNIEKE VIR SEISOENALE EN LANGTERMYN-REëNVAL
VOORSPELLING IN SUID-AFRIKA**

deur

J van Heerden

C J deW Rautenbach

M M Truter

**Leerstoel in Weerkunde
Departement Siviele Ingenieurswese
Universiteit van Pretoria**

ISBN: 1 86845 184 4

WNK Verslag Nommer: 306/1/95

INHOUDSOPGAWE

	Bladsy
Lys van Figure	1
Opsomming	4
Hoofstuk 1	
Projekbeskrywing, -agtergrond en -geskiedenis	
1.1 Inleiding	7
1.2 Doelstellings	8
1.3 Komponentbeskrywing	10
1.3.1 Seisoenale Reënval Tendense	10
1.3.2 Voorspelling tot 60 dae vooruit	11
1.3.3 Maandgemiddelde sirkulasie	11
1.3.4 Modelling	11
1.3.5 Ander	
Hoofstuk 2	
Seisoenale reënvaltendense (Komponent 1)	
2.1 ENSO faktore	13
2.2 ENSO korrelasie met reënval in Suid-Afrika	14
2.3 ENSO eienskappe vir tegniekontwikkeling	15
2.4 Die besluitnemingsproses	17
2.5 ENSO seisoenale voorspellings sedert 1986	18
Hoofstuk 3	
Voorspelling tot 60 dae vooruit en maandgemiddelde sirkulasie (Komponent 2 en 3)	
3.1 Agtergrond	22
3.2 ECWMF data analise	22
3.3 Globale modeluitvoer en groepanalises	24
3.4 Ontwikkeling van 'n statistiese voorspellingsmodel	24
3.5 Neurale netwerke en statistiese metodes	25
3.6 Die 30 tot 60 dae golf	26

INHOUDSOPGAWE (vervolg)

Bladsy

Hoofstuk 4

Modellering (Komponent 4)

4.1	Algemene sirkulasie modelle (ASM)	28
4.2	Die maandgemiddelde anomaliemodel	29
4.3	Die CSIRO-4 klimaatmodel	29
4.3.1	CSIRO-4: Eksperiment 1	30
4.3.2	CSIRO-4: Eksperiment 2	34
4.3.3	CSIRO-4: Eksperiment 3	36
4.3.4	Sinopsis van eksperimente 1,2 en 3	38
4.3.5	CSIRO-9: Eksperiment 4	40
4.3.6	Ander modelle	41

Hoofstuk 5

Produkte en rekenaarpakkette

5.1	Die geïndekseerde distriksreënval- en ENSO pakket	43
5.2	Oppervlak daaglikse lugdrukdata	44
5.2.1	Enkele resultate uit die Weerbulletin databasis	46
5.3	Reënvalindekse	47

Hoofstuk 6

Gevolgtrekkings en aanbevelings	48
Rolspelers	50
Erkennings	51

Bronnelys

AANHANGSEL A

AANHANGSEL B

AANHANGSEL C "Executive Summary"

LYS VAN FIGURE

- Figuur 1(a).** Maandgemiddelde See Oppervlak Temperatuur (SOT) anomalië in ($^{\circ}\text{K}$) oor die tropiese Stille oseaan (SO), of die Nino 4 gebied, gedurende die periode 1980 tot 1994.
- Figuur 1(b).** Soos fig.1(a) maar vir die Nino 3 gebied.
- Figuur 1(c).** Soos fig.1(a) maar vir die Nino 1 en 2 gebied.
- Figuur 2(a).** 850 hPa drukvlak wind anomalië van die maandgemiddeld in m/s oor die westelike tropiese SO gedurende die periode 1980 tot 1994 (Positiewe anomalië verwys na 'n sterker as normale oostewind.)
- Figuur 2(b).** Soos fig.2(a) maar vir die sentrale tropiese SO.
- Figuur 2(c).** Soos fig.2(a) maar vir die oostelike tropiese SO.
- Figuur 3(a).** Drie maand lopende gemiddeldes van die Suidelike Ossilasie Indeks (SOI). Data is afkomstig van die "Climate Analysis Center".
- Figuur 3(b).** Geïndekseerde waardes van uitgaande langgolf straling oor die sentrale tropiese SO.
- Figuur 3(c).** 200 hPa drukvlak windanomalië (maandgemiddeld) in m/s oor die sentrale tropiese SO. (Positiewe anomalië verwys na 'n sterker as normale westewind.)
- Figuur 4.** Geïndekseerde sonale wind (maandgemiddeld) vir die 50 hPa drukvlak bo Singapoer vir die periode 1980 tot 1994.
- Figuur 5.** Korrelasievelde tussen die gemiddelde SOI vir Julie, Augustus en September en die distrikreënval oor Suid-Afrika gedurende Desember.
- Figuur 6.** Saamgroepering van die 93 reënval distrikte in die 12 homogene reënval areas.
- Figuur 7.** Histogram van area 10 (Hoëveld) se reënval indekse vir die maande Desember tot Februarie en vir die periode 1921/22 tot 1993/94. Die warm fases van die ENSO (El Nino) word aangedui as swart ingekleurde blokkies en koue fases van die ENSO (LaNina) as blanko blokkies.
- Figuur 8.** Soos fig.7 maar vir area 9 met reënval vir die periode Oktober tot Maart.
- Figuur 9.** Soos fig.7 maar vir distrik 80 met reënval vir Desember.
- Figuur 10.** "Ensemble" voorspelling vir 9 Maart 1994 soos uitgevoer op die Britse "Unified Model". (a) Voorbeeld van "Ensemble" 2. (b) Voorbeeld van "Ensemble" 8.
- Figuur 11(a).** Model klimaat windvektore (kontrole lopie) vir die 350 hPa drukvlak vir Februarie soos bereken uit die CSIRO-4 model. Die lengte van die pyl is direk eweredig aan die grootte van die windvektor.
- Figuur 11(b).** Soos fig.11(a) maar uit die CSIRO-4 model met 'n $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalië noord-oos van Madagaskar. Die areas met 'n $+2^{\circ}\text{K}$ en $+5^{\circ}\text{K}$ anomalië is ingeteken met dik swart lyne (Eksperiment 1).

- Figuur 11(c).** Berekende 350 hPa drukvlak wind anomalie vir Februarie. Elke anomalie is die vektorverskil tussen die velde van fig.11(b) en fig.11(a) oftewel "+5°K SOT lopie minus die kontrole lopie" (Eksperiment 1).
- Figuur 12(a).** Horisontale snelheids divergensie (1×10^{-6} m/s) vir die 350 hPa drukvlak en Februarie CSIRO-4 model kontrolelopie (Eksperiment 1).
- Figuur 12(b).** Soos fig.12(a) maar vir die +5°K SOT anomalie CSIRO-4 model lopie (Eksperiment 1).
- Figuur 13.** CSIRO-4 model berekende reënval anomalie in mm/dag. Die anomalie = +5°K SOT lopie reënval minus die reënval van die kontrole lopie (Eksperiment 1).
- Figuur 14.** Soos fig.11(c) maar vir wind vektor anomalie op die 900 hPa drukvlak (Eksperiment 1).
- Figuur 15.** CSIRO model berekende wind vektor anomalie in m/s op die 350 hPa drukvlak vir Desember. SOT anomalie van +5°K oor die ekwatoriale SO word met dik swart lyne aangedui (Eksperiment 2).
- Figuur 16.** Windvektoranomalie op die 200 hPa drukvlak vir Desember 1991 soos bereken deur die Climate Analysis Center (CAC) Washington, uit waargenome data (Eksperiment 2).
- Figuur 17.** CSIRO-4 model berekende reënval anomalie vir Desember in mm/dag. Die anomalie = +5°K SOT anomalie lopie minus die kontrole lopie (Eksperiment 2).
- Figuur 18.** CSIRO-4 model berekende oppervlak lugdruk anomalie in hPa vir Desember. Die anomalie = +5 SOT anomalie lopie minus die kontrole lopie (Eksperiment 2).
- Figuur 19.** Soos fig.16 maar vir die oppervlak lugdruk anomalie (Eksperiment 2).
- Figuur 20(a).** Horisontale snelheids divergensie veld (1×10^{-6} m/s) op die 350 hPa drukvlak vir Desember van die CSIRO-4 model kontrole lopie (Eksperiment 2).
- Figuur 20(b).** Soos fig.20(a) maar vir die +5°K SOT anomalie oor die ekwatoriale SO (Eksperiment 2).
- Figuur 21(a).** CSIRO-4 model berekende windvektor anomalie op die 900 hPa drukvlak vir Februarie uit die 'dipool' eksperiment met 'n +2°K SOT anomalie noord-oos en 'n -2°K SOT anomalie suid van Madagaskar. Die area waarin die SOT anomalie voorkom word met dik swart lyne aangedui (Eksperiment 3).
- Figuur 21(b).** Soos fig.21(a) maar in dié geval met 'n 4°K SOT anomalie 'dipool' soos aangedui (Eksperiment 3).
- Figuur 21(c).** Soos fig.21(a) maar in dié geval met 'n 6°K SOT anomalie 'dipool' soos aangedui (Eksperiment 3).
- Figuur 22(a).** CSIRO-4 model windvektor anomalie op die 350 hPa drukvlak vir Februarie uit die 'dipool' eksperiment met 'n 2°K SOT anomalie (soos fig.21(a)). Die horisontale snelheidsdivergensie uitgedruk in (1×10^{-6} m/s), en bereken uit die 350 hPa drukvlak windvektore van die 'dipool' eksperiment, word op dieselfde drukvlak in kontoere aangedui (Eksperiment 3).

- Figuur 22(b). Soos fig.22(a) maar vir die 4°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).
- Figuur 22(c). Soos fig.22(a) maar vir die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).
- Figuur 23(a). CSIRO-4 model reënval anomalie resultate (data) vir Februarie met die 2°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment. Die anomalie = die 'dipool' lorie minus die kontrole lorie (Eksperiment 3).
- Figuur 23(b). Soos fig.23(a) maar vir die 4°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).
- Figuur 23(c). Soos fig.23(a) maar vir die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).
- Figuur 24. CSIRO-4 model 350 hPa drukvlak windvektor anomalie data (resultate) vir Februarie met die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment. Die horisontale divergensie van die Q-vektor word met kontoere aangedui (Eksperiment 3).
- Figuur 25. 'n Driedimensionele voorstelling van die sirkulasie patrone vir die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3). Die boonste skets dui op die primêre 350 hPa drukvlak horisontale windveld. Die onderste skets is dieselfde maar vir die 900 hPa drukvlak. Die middelste skets is 'n voorstelling van die vertikale beweging (dik swart pyle) sowel as die sekondêre sirkulasie op die 350 hPa drukvlak (dun swart lyne) en die sekondêre sirkulasie (dun stippel lyne) op die 900 hPa drukvlak. Die oop pyle dui sekondêre sirkulasie vanaf die suid-wes Indiese oseaan via ekwatoriaal Afrika na Suid Afrika aan.
- Figuur 26(a). CSIRO-9 model 200 hPa drukvlak windvektor anomalie data (resultate) in m/s vir Februarie met 'n 2°K SOT anomalie noord-oos van Madagaskar (Eksperiment 4).
- Figuur 26(b). Soos fig.26(a) maar vir die 900 hPa drukvlak (Eksperiment 4).
- Figuur 26(c). CSIRO-9 model water mengverhouding anomalie data (resultaat) in (kg/kg) vir Februarie met 'n 2°K SOT anomalie noord-oos van Madagaskar (Eksperiment 4).
- Figuur 27. CSIRO-9 model reënval anomalie data in (mm/dag) vir Februarie met 'n 2°K SOT anomalie noord-oos van Madagaskar (Eksperiment 4).
- Figuur 28. Die geografiese ligging van die roosterpunte benut vir die versyfering van die **daaglikse weerbulletin**.
- Figuur 29. Maandgemiddelde oppervlak lugdruk anomalie in hPa afkomstig van die **daaglikse weerbulletin** (Suid-Afrikaanse Weerburo); (a) Oktober, (b) November en (c) Desember 1988.
- Figuur 30. Soos fig.29 maar vir 1991.
- Figuur 31. Soos fig.29 maar vir (a) Januarie, (b) Februarie en (c) Maart 1989.
- Figuur 32. Soos fig.31 maar vir 1992.

OPSOMMING.

In hierdie opsomming word slegs daardie tegnieke wat suksesvol aangewend kan word, of wat wel belofte toon vir seisoenale reënvalvoorspellings, aangespreek. Die navorsing wat bygedra het tot ons kennis oor die gedrag van die atmosfeer vir seisoenale tydskele word ook behandel. 'n Meer volledige "Executive Summary" is in Engels beskikbaar as addendum tot hierdie verslag (Aanhangsel C).

Ten spyte van die relatief lae betroubaarheid graad van die reënvalvoorspellings wat daarop gebaseer word, is die vooruitskatting van die fase van die ENSO en die klimatologiese gevolge daarvan nog die enigste bewese seisoenale voorspellings tegniek. Dit was min of meer die situasie reeds voor die aanvang van hierdie projek. Die navorsing wat tydens hierdie projek uitgevoer was het hierdie stelling verder onderskraag. So ook uit die ondervinding wat opgedoen is met die aanbied van 'n tentatiewe langtermyn voorspellings adviesdiens wat gedurende die laaste paar jaar ontwikkel het. Dat die ENSO 'n baie belangrike verskynsel is word verder ook bevestig uit die talle groot internasionale navorsingsgroepe wat in die laaste jare gevorm is om hierdie verskynsel te ondersoek, waar te neem en te probeer voorspel.

Die uitstekende internasionale samewerking wat ontstaan het, het dit moontlik gemaak dat die voorspelling tegniek (stelsel), wat in paragraaf 2.4 beskryf word, ontwikkel kon word. Hierdie tegniek maak dit moontlik om tussen die vyfde en tiende van elke maand 'n seisoenale reënval tendens uit te reik. Die stelsel is veral toepaslik vir die periode Junie tot November elke jaar en is veral nuttig as daar redelike sekerheid bestaan oor watter fase die ENSO gaan aanneem.

Die navorsing oor maandgemiddelde sirkulasie en voorspelling vir tot 60 dae vooruit (komponente 2 en 3) het geen bruikbare voorspelling tegniek opgelewer nie. Die navorsingswerk oor groepanalises wat deur mnr J H Vermeulen begin was en tans deur mev W Jordaan in samewerking met Dr M S Harrison van die Britse Weerdiens voortgesit word, toon wel belofte vir voorspellings van sowat 'n maand vooruit.

Navorsing deur Triegaardt en Landman (1994) oor die rol wat langgolwe speel in die voorkoms van nat- en droë periodes oor Suid- Afrika word opgesom in paragraaf 3.2. Resultate toon aan dat wanneer 'n langgolf-rug suidwes, suid of suidoos van die land teenwoordig is, die straalstroom suidwaarts verplaas word tydens nat periodes. In droë periodes kom daar 'n langgolf-trog oor hierdie areas voor en is die bolug westewind sterker oor die land. 'n Geslote bolug hoogdrukstelsel en 'n oppervlak laagdrukstelsel in die Mosambiek Kanaal onderdruk reënval sterk.

Mnr W Landman (Suid-Afrikaanse Weerburo, SAWB) het gedurende 1993 in die VSA by die Lamont-Doherty Earth Observatory opleiding ontvang in die gebruik van "Canonical Correlation Analysis" en het 'n stogastiese reënvalvoorspelling model ontwikkel, waarvan die eerste resultate in 1994 beskikbaar gestel is.

Sedert 1993, in samewerking met die Universiteit van Winsconsin-Madison, is statistiese seisoenale reënval voorspellings tegnieke in ondermeer 'n neurale netwerk-

model (NNM) ontwikkel. Die mees suksesvolle NNM maak gebruik van die Suidelike Oseanisie indeks (SOI) en die 50 hPa sonale wind by Singapoer tydens die vorige somer as voorspellers (invoer). Die model oefenperiode was vir 1954-1978 en die onafhanklike verifikasie periode van 1979 tot 1993. Die NNM het daarin geslaag om 62% van die veranderlikheid in die onafhanklike datastel (1979-1993) te verklaar. Operasionele voorspellings met onder andere die NNM vir die hoëveld somerreën (Desember tot Februarie) vir die periode 1993-1994 was misleidend. Die reënval anomalie voorspel vir 1994-1995 was -46mm. In werklikheid is 'n reënvalanomalie van -88mm. in hierdie tydperk aangeteken. Verdere ontwikkeling van hierdie tegniek is daarom geregverdig.

Die stigting van die "South African Long-lead Forecast Forum (SALFF)" met lede uit die SAWB en die onderskeie universiteite is 'n positiewe stap. Seisoenale reënval-tendense kan nou op 'n gekoördineerde wyse geskied. Dit is net so belangrik dat die SALFF funksioneer sonder owerheidsvoorskrifte of inmenging en aantasting van die regte van die deelnemers.

Globale Algemene Sirkulasie Klimaat modelle het tans nie die vermoë om seisoenale reënvalvoorspellings te maak op dieselfde wyse as wat numeriese weervoorspellingsmodelle dit doen nie. Klimaat modelle is belangrik om die sirkulasie verandering as gevolg van randwaarde- of beginwaarde verandering na te vors. Die rol wat see oppervlak temperatuur (SOT) anomalie in sirkulasieverandering speel is deeglik nagevors. SST anomalie oor veral die Indiese Oseaan het baie aandag geniet. Gedurende die warm fase ENSO kom daar groot areas met positiewe SOT anomalie oor die Stille- en Indiese Oseane voor. Die atmosferiese sirkulasie veranderings soos gesimuleer deur klimaat modelle en wat intree as gevolg van die konvektiewe opstroming en verhitting (latente hitte vrystelling) bo hierdie warm gebiede kan as volg saamgevat word:

- Daar is 'n toename in westewind sirkulasie oor Suid- Afrika met 'n gevolglike ooswaartse uitbreiding van subsidensie.
- Die oppervlak sirkulasie oor die Mosambiek Kanaal ontvang 'n suidelike komponent met die gevolg dat baie minder van hierdie vogtige maritieme lug anti-siklonaal kan draai oor Mosambiek om uiteindelik suidwaarts oor Suid-Afrika te penetreer.
- Sinoptiese skaal atmosferiese versteurings kom wêreldwyd voor in die model sirkulasie in reaksie op die sterk konvektiewe- en temperatuur perturbasie wat ontstaan bokant die positiewe SOT anomalie.
- Die sirkulasie veranderings wat oor Suid-Afrika intree is 'n niet-liniêre gevolg van die primêre konvektiewe versteuring en daarom baie minder voorspelbaar.

Klimaatmodelresultate soos hierbo opgesom is van fundamentele belang as die waarde van voorspellings gebaseer op indirekte voorspellings metodes geëvalueer word. Gemoduleerde atmosferiese sirkulasieveranderings is gesimuleer deur die

CSIRO-4, 'n 4-vlak Algemene Sirkulasie Model (ASM) met 'n R21 spektrale resolusie. Gedurende 1995 was hierdie resultate bevestig met die meer gevorderde CSIRO-9 ASM. Hierdie model is beskikbaar gestel aan Suid-Afrikaanse navorsers deur die CSIRO (Division of Atmospheric Research, (DAR)) met samewerking van die UP.

Navorsing met die Britse 15-vlak voorspelling model (UKMO GCM) het getoon dat die Suid-Afrikaanse plato 'n fundamentele rol speel in die ontwikkeling van afsny laagdruk-stelsels. Hierdie stelsels is verantwoordelik vir die meeste oorstromings in Suid-Afrika. Verandering in SST rondom Suid-Afrika speel nie 'n deurslaggewende rol in die ontwikkeling van reënval oor die land in die korttermyn (5 dae) nie.

Ten spyte van die vordering wat plaaslik en elders gemaak is met navorsing oor seisoenale voorspellingstegnieke, lê hierdie veld nog braak. Die **voordele**, vir die Suid-Afrikaanse volkshuishouding, wat **kan** voortspruit uit die **min** wat reeds bereik is, is **enorm**. Die bydrae wat die Waternavorsingskommissie gemaak het en steeds maak is groot. Verdere ondersteuning, vir veral die modelleringspoging, in die nabye toekoms sal deurslaggewend wees vir die onderbou van enige langtermyn klimaat advies diens.

As deel van die navorsingspoging is twee rekenaarpakkette ontwikkel. Die eerste word gebruik om die Weerburo Distriksreënval te analiseer en grafies voor te stel. Op hierdie voorstelling word die fase van vorige ENSO verskynsels aangedui. Die tweede pakket bestaan uit twee komponente. Eerstens word dit aangewend om Weerburo Daaglikse Weerbulletin (Oppervlak lugdruk kaarte) te argiveer en tweedens om die geargiveerde data te analiseer in terme van gemiddeldes, afwykings, aantal drukstelsels ens. Beide hierdie pakkette en die data wat verwerk word, kan met groot vrug deur navorsers aangewend word.

Alhoewel daar nog baie werk wag het die projek vir die ontwikkeling van seisoenale reënval voorspellings (vooruitskouings) reeds ver gevorder. Groter kennis bestaan nou oor die verskynsels in die atmosfeer wat aanleiding gee tot klimaatsverandering. Verdere navorsing kan hierdie kennis uitbou. Ondersteuning deur die WNK en SNO kan daartoe bydra dat 'n Suid-Afrikaanse Klimaat Modeleringsgroep tot stand gebring word.

Laastens is dit belangrik dat die publiek opgevoed moet word oor die volgende aspekte:

- a) Hoe seisoenale en langtermyn reënvalvoorspellings benut behoort te word.
- b) Die risikos verbonde aan hierdie voorspellings (vooruitskouings)
- c) Reënvalvoorspellings word in terme van waarskynlikhede uitgedruk.

TEGNIEKE VIR SEISOENALE EN LANGTERMYN-REËNVAL VOORSPELLING IN SUID-AFRIKA.

HOOFTSTUK 1.

PROJEKBESKRYWING, AGTERGROND EN GESKIEDENIS.

1.1 INLEIDING.

Hierdie navorsingsprojek wat die besonder ambisieuse doelwit het om tegnieke te ontwikkel vir langtermyn reënval voorspelling het in 1990 aanvang geneem ingevolge 'n kontrak tussen die Waternavorsing-kommissie (WNK) en die Universiteit van Pretoria (UP). Die Suid Afrikaanse Weerburo (SAWB) was deurentyd 'n nie-kontraktuele vennoot en het die projek aktief ondersteun. Van die SAWB personeel het in die laaste jare navorsing gedoen ter wille van hoër grade aan UP. Van hierdie projekte het dan ook bygedra tot die navorsing vir die ontwikkel van *Tegnieke vir Seisoenale en Langtermyn-Reënval Voorspelling*.

Dit is opmerklik dat tydens die duur van hierdie projek daar in ander lande etlike groepe ontstaan het met die uitsluitlike doel om maandelikse klimaat analises te doen wat veral op seisoenale vooruitskouings gebaseer is. Feitlik al hierdie groepe spits hulle in die besonder toe om die ontwikkeling en verloop van die sogenaamde El Nino Suidelike Oosilase (ENSO) verskynsel dop te hou en te probeer voorspel. Twee groepe naamlik die "Climate Analysis Center" (CAC) in Washington en die "Bureau of Meteorology Research Centre" (BMRC) in Melbourne lewer produkte van uitstaande gehalte wat maandeliks deur ons groep bestudeer word. Daar moes gewaak word om nie die werk van hierdie twee groepe te dupliseer nie. In die Weerburo het daar ook 'n groep naamlik die "Research Group for Statistical Climate Studies (RGSCS)" gedurende 1994 tot stand gekom. Dit het gevolg op die opleiding wat Mnr W Landman by Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, New York gedurende 1993 ontvang het. Tydens sy opleiding en daarna was daar voortdurend noue skakeling met Mnr Landman.

In Suid-Afrika was daar ook uiteindelik vier groepe wat begin werk het aan die verskaffing van seisoenale reënval vooruitskouings. Afsien van die UP groep bestaan daar 'n groep by die "University of the Witwatersrand" (WITS) naamlik die "Climate Research Group" en het drs J A Lindesay en S Mason gedurende 1992/93 begin om persverklarings oor die saak uit te reik. So ook sedert 1992 deur dr M Jury van die "Departement of Oceanography, University of Cape Town" (UCT). Die Suid Afrikaanse Weerburo het ook gedurende 1992/93 begin om langtermyn reënval vooruitskouings te verskaf. Ongeag die aanvanklike beroep van die Hoofdirekteur van die SAWB, Mnr G C Schulze was langtermyn reënval voorspelling in 1994 nog ongekoördineerd uitgereik. Die rede hiervoor kan onder andere toegeskryf word aan

die optrede van die Suid-Afrikaanse media wat op soek is na die geringste verskil tussen die voorspellings om sodoende kontroversie aan te blaas. Dit lei tot algemene vermaak en ongelukkig ook tot 'n verlies aan die geloofwaardigheid van al hierdie groepe.

Daar bestaan wel semi-formele skakeling tussen bogenoemde vier navorsingsgroepe wat uitgebou kan word sodat die hele poging tot langtermyn reënval voorspelling nie ontaard in 'n misleidende bontpraterij nie. Die WNK en die SAWB speel hier 'n leidende rol. Dit egter nodig dat navorsing oor langtermyn tendense voortgesit word op 'n gekoördineerde wyse op nasionale grondslag. Die UP groep het nie geslaag om befondsing te verkry vir voortgesette navorsing op hierdie terrein nie. Dit is ook duidelik dat die Stigting vir Navorsingsontwikkeling (SNO) tans besig is om sy befondsingsbeleid te hersien. Daarom is dit duidelik dat veral universiteite vir die volgende paar jaar moeilik met hierdie navorsing sal kan voortgaan. Daar sal gepoog word om minstens die infrastruktuur wat opgebou is te behou en, waar moontlik, die navorsing op 'n ad hoc basis voort te sit.

Die eerste poging tot 'n "amptelike" langtermyn reënval voorspelling in Suid-Afrika is geloods gedurende Oktober 1986 deur 'n span van die SAWB waarvan die projekteier 'n lid was. Dit was die eerste voorspelling van die aard wat gebaseer was op wetenskaplike navorsing en waarneming. Daar was natuurlik altyd baie sulke voorspellings deur ander persone, hoofsaaklik sonder sukses en gegrond op allerlei wetenskaplik onaanvaarbare metodes. Sedert 1986 het die langtermyn reënval voorspellingspoging voortgegaan op 'n losse basis en het die SAWB tot in die vroeë 1990's die saak in die hande van die universiteite gelaat. Te oordeel aan die geweldige toename in navrae asook die toetrede deur ander navorsers is dit duidelik dat die diens wat gelewer was nie sonder 'n mate van sukses was nie.

Daarom word daar vertrou dat hierdie projek, as heel belangrikste resultaat, die begin sal wees tot 'n gekoördineerde langtermyn voorspellingsdiens. As weerkundiges sou gewag het vir die ontwikkeling van die numeriese voorspellings modelle voordat die eerste weervoorspellings gewaag was, sou daar vandag beswaarlik 'n voorspellingsdiens gewees het.

1.2 DOELSTELLINGS.

Suid-Afrika is 'n relatief droë land. Slegs 'n klein gedeelte van Suid-Afrika, naamlik die oostelike kus en berge kry dieselfde of meer reënval as die wêreldgemiddeld van 1000 mm per jaar. Verder is die graanproduserende dele van die land gevestig in die hoëveld en op breedtegrade wat die gebied onderhewig maak aan periodieke droogtes. Hier kom reënval hoofsaaklik voor uit konvektiewe wolke en aangesien die area geen betekenisvolle winterreën of sneeu ontvang nie begin die somer normaalweg met uitgedroogte gronde en riviervat swak vloei. Dit vergelyk swak met ander wêrelddele soos die Verenigde State van Amerika (VSA), sentraal- en oos-Europa ens. Hierdie basiese watertekort wat die land ondervind maak dit noodsaaklik om indien moontlik vas te stel wat die langtermyn reënvaltendense, indien moontlik, gaan wees. Sukses hiermee verseker dat beter beplanning in die landbou moontlik

is en lei ook tot beter bestuur van waterhulpbronne. Met hierdie agtergrond het die projek dit ten doel gehad om *"tegnieke te ontwikkel vir langtermyn en seisoenale reënval voorspelling"*.

Die sentrale doel van hierdie projek, soos dit gedurende die laaste 4 jaar in vorm gekondenseer het, kan egter as volg opgesom word:

Om 'n tegniek of tegnieke te ontwikkel wat aangewend kan word om die reënval tendens of anomalië reeds voor die aanvang van die somerreën seisoen te kan voorspel.

Om hierdie doelwit te kan bereik is verskeie metodes gebruik waar toepaslike inligting uit die nasionale en internasionale weerkundige databasis benut is. Daar is gelet op sekere weerkundige verskynsels en benaderings wat uiteindelik gevorder het tot die gebruik van gesofistikeerde numeriese algemene sirkulasie modelle. Die navorsingspoging is georden deur die navorsing in vier komponente in te deel. Veral die komponente wat te make het met die sogenaamde ENSO sowel as klimaat modellering het baie aandag geniet. Al was daar nie positiewe resultate uit al die komponente nie het ondersteuning vanuit die SAWB, ander Universiteite en navorsingsinstellings bygedra en verseker dat navorsing op al die komponente gedoen is.

'n Verdere intermediêre doelwit ter bereiking van die sentrale doel was die opstel van sekere databasisse. Hieronder resorteer die berekening van die SAWB se distrikreënval, waarmee die projekspan die SAWB se klimaatafdeling bygestaan het. Die verwerking van hierdie datastel deur die SAWB en die verdere streeksindeling wat deur die navorsingspan (UP) opgestel is, vorm deel van die projek se databasis. Hiermee saam gaan 'n rekenaar pakket wat die distrik reënval analiseer en grafies voorstel op 'n rekenaarskerm of laserdrukker. Verwantskappe met die ENSO vorm deel van die pakket.

As deel van die projek is die daaglikse 12h00 UT Weerbuletin wat deur die SAWB uitgegee word versyfer vir die ses somermaande en vir die periode van 1960 tot 1992. Hierdie Daaglikse Weerbuletin is een van die beste grafiese produkte wat die SAWB publiseer en besondere waarde word aan die gehalte van die analise geheg juis omdat die analise van hierdie kaart deur die jare altyd toevertrou was aan 'n weervoorspeller met lang ondervinding. Afgesien van die navorsingsprodukte wat uit die analise van hierdie datastel kom, vorm die datastel en die rekenaar pakket wat daarmee saamgaan een van die produkte van hierdie projek.

'n Verdere doelstelling, was om 'n sisteem daar te stel wat 'n gekoördineerde nasionale langtermyn tendens voorspelling moontlik kon maak. Hiermee is slegs gedeeltelik geslaag. Individue in die onderskeie navorsingspanne maak van hul goeie reg gebruik om individueel dienste aan te bied en te lewer. Dit was nooit ons doel om hierdie aktiviteit te striem nie, eerder om dit te koördineer. Wat wel bereik is, is dat

die vernaamste rolspelers gereeld met mekaar konsulteer en deel in navorsingswerk.

Alhoewel nie direk daarop gemik nie het die projek die geleentheid aan studente gebied vir hoër akademiese kwalifikasies. Daar was twee MSc(Weerkunde) grade toegeken waarvan die inhoud van die verhandeling 'n direkte impak op hierdie projek gehad het. Daar was en is 'n hele aantal studente wat as deel van hul BSc(Hons.)(Weerkunde) grade projekgekoppelde navorsingstake gedoen het of steeds doen. Daar is tans een ingeskrewe PhD student wat die voorspelbaarheid van langgolwe in die atmosfeer ondersoek. Minstens drie Meestersdiploma studente aan die Technikon Pretoria het toepaslike verhandelings afgehandel wat deur die projekteier gemodereer was. Daar was ook twee SAWB Tegnieke verhandelings waaraan ons deel het. Al hierdie produkte vorm deel van die breër resultate en suksesse rondom hierdie projek.

1.3 KOMPONENT BESKRYWING.

In die oorspronklike en goedgekeurde projekvoorstel aan die WNK is die doelwit van hierdie projek as volg uiteengesit:

"Die doelstellings van hierdie projek behels navorsing wat daarop gemik is om tegnieke te ondersoek en te ontwikkel wat moontlik benut kan word om reënval anomalie oor Suid-Afrika, vir periodes van twee weke tot etlike maande vooruit te kan voorspel."

Daar was vier hoofnavorsingsrigtings of -komponente geïdentifiseer wat elk moontlik kon lei tot 'n eiesoortige voorspellingstegniek. Die tipe data en analise wat beplan is het ook 'n natuurlike indeling voorgestel.

1.3.1 Komponent 1.

Seisoenale Reënval Tendense

Ten aanvang van die projek was die projekteier reeds vertrouwd met navorsing oor die verband tussen die El Nino Suidelike Ossilasie (ENSO) verskynsel en die reënval oor Suid-Afrika. Die ENSO, wat op sy beurt moontlik etlike maande vooruit voorspelbaar was, sou die basis vorm van 'n tegniek om seisoenale reënvaltendense te voorspel. 'n Omvattende literatuurbydrae oor die verwantskappe tussen Suid-Afrika se reënval en die ENSO was reeds aan die opbou (by Lindesay 1986-90, Harrison 1983-86, Van Heerden 1988, Schulze 1983-89, Nicholson 1986-87, Jury 1991-94).

1.3.2 Komponent 2.

Voorspellings tot 60 dae vooruit

In die voorsomer word die atmosferiese sirkulasie oor Suid-Afrika gedomineer deur middelbreedte weerstelsels. In die midsomer tree invloed van die trope sterk op die voorgrond. Navorsers (Van Heerden et al 1988, Triegaardt et al 1991, Taljaard 1981-86, Tyson 1981-91, Harrison 1983-86) het waargeneem dat goeie somerreën dikwels gepaard gaan met die penetrasie van tropiese lug ver suidwaarts oor Suid-Afrika. Daar was voorsien dat indien die fase van die ENSO in verband gebring kan word met hierdie verskynsel, 'n tegniek ontwikkel kan word wat reënval voorspellings van tot 60 dae vooruit moontlik sal maak.

1.3.3 Komponent 3.

Maandgemiddelde Sirkulasie

Navorsing deur (Triegaardt 1985-91, Terblanche 1987) sowel as vroeë werk deur Taljaard (1967-1989) gerugsteun deur 'n magdom ander plaaslike en internasionale literatuur het die belang van staande golwe in die atmosferiese sirkulasie beklemtoon. Daar is voorsien dat die voorspelling van hierdie golwe 'n nuttige langtermyn voorspellingstegniek mag oplewer.

1.3.4 Komponent 4.

Modellering

Gedurende 1989 toe hierdie projek beplan was, is voorsien dat numeriese modelle waarskynlik, op die lang duur, die heel beste kans het om suksesvolle langtermyn voorspellings te produseer. Dit was voorsien ten spyte van die feit dat algemene sirkulasiemodelle, wat vir weervoorspellings gebruik word, se oplossings om baie redes na integrasie van sowat 14 dae begin divergeer. Kragtige algemene sirkulasiemodelle is dan ook waarskynlik die heel beste manier om navorsing te doen oor die prosesse wat die klimaat van die aarde stabiliseer of verander. Dit is moontlik aangesien hierdie modelle gebou word op die wette van die fisika, soos weerkundiges dit verstaan (Holton 1992, Gordon 1992, Hunt and Gordon 1991, Washington and Parkinson 1992).

1.3.5 Ander

Afgesien van hierdie vier goed gedefinieerde komponente het daar van tyd tot tyd ander navorsingsvelde ontstaan wat moontlik kon lei tot voorspellingstegnieke. Projek personeel het hierdie velde ondersoek en, aangewend.

Die vernaamstes hieronder was:

- Wydverspreide en ernstige oorstromings (vloede).
- Die mid-somerdroogte.
- Die na-yl voorspellingstegniek (groepanalise).
- Reënval indekse.
- "Chaos" en intransiviteit.
- Kayano en Kousky se metodes (30-60 dae golwe).

Die ondersoek was baie wyd en het navorsing oor 'n baie wye spektrum gestimuleer. Al is die bewese suksesvolle tegnieke min, is die projekspan vandag in die besondere bevoorregte posisie om 'n belangrike bydrae te kan maak in enige toekomstige operasionele langtermyn voorspellingsdiens.

HOOSFTUK 2

SEISOENALE REËNVALTENDENSE (KOMPONENT 1)

Een van die twee navorsingskomponente waarop die meeste navorsing gedurende die afgelope vier jaar gedoen is, is die verband tussen die ENSO verskynsel en die reënval oor Suid-Afrika.

2.1 ENSO Faktore.

Dit word aanvaar dat die leser reeds vertrou is met die basiese beskrywing van die ENSO en die rol wat hierdie verskynsel in die algemene sirkulasie van die aarde speel.

Hier kan net opgesom word dat die ENSO 'n globale skaal atmosfeer- oseaan-sirkulasie sisteem is wat 'n normale komponent vorm van die atmosfeer en oseaan se hooftaak om die stralingsenergie wanbalans tussen die trope en polêre wêrelddele en daarmee saam die temperatuurverskille tussen hierdie dele, teen te werk. Dit word bewerkstellig deur die sinoptiese skaal lugdruksisteme wat ontwikkel en groei in die sterk westewindstroming wat ontstaan as gevolg van die noord-suid temperatuur gradiënt. Hierdie sinoptiese skaal hoog- en laagdrukstelsels, waarin koue en warm fronte voorkom, veroorsaak sterk meridionale vloei in hul ontwikkeling en volwasse fases sodat groot noord-suid uitruiling van energie plaasvind. Sodoende word die langtermyn temperatuurbalans oor die aarde gehandhaaf.

Die ENSO verskynsel is van globale omvang maar word ten beste waargeneem deur die verandering in seeoppervlak temperatuur (SOT) en atmosfeer sirkulasieverandering oor die tropiese gedeelte van die Stille Oseaan (SO). Tydens die warm fase ENSO word ontsaglike hoeveelhede energie in veral die tropiese Stille Oseaan gestoor en gedurende koue fase ENSO word dit deur die atmosfeer onttrek. Globale verskuiwings in die algemene sirkulasie gaan hiermee gepaard.

In figure 1 tot 4 word die fase verandering in hierdie parameters wat waargeneem word oor die SO tydens die fases van die ENSO geïllustreer. Een van die belangrikste parameters is die Suidelike Oosilatie Indeks (SOI), fig.3(a). Kenmerkend hier is die duidelike *negatiewe (koue ENSO fases)* en *positiewe (warm ENSO fases)* SOI. Indien fig.3(a) vergelyk word met die See Oppervlak Temperature (SOT) in die Nino 1,2 (fig.1(c)), Nino 3 (fig.1(b)) en Nino 4 (fig.1(a)) word die inverse verband tussen die SOT en SOI duidelik waargeneem. Dit is ook duidelik uit fig.2(a), fig.2(b) en fig.2(c) dat 'n *negatiewe oostelike oppervlak windkomponent* en uit fig.3(c) dat 'n *negatiewe westelike bolug windkomponent* voorkom by *warm ENSO fases*.

Oor Suid-Afrika word veral tydens warm fase ENSO waargeneem dat die sirkulasie

sterk herinner aan winter tipe sirkulasie met die straalstroom noordwaarts verplaas. Gedurende die koue fase ENSO dring vogtige tropiese lug ver suidwaarts oor Suid-Afrika in en is die straalstroom aansienlik suidwaarts verplaas. In die algemeen ondervind Suid-Afrika onder normale reën met die warm fase en andersom met die koue fase ENSO. Hierdie fases volg mekaar egter nie noodwendig op eenvoudige sikliese reëlmaat nie. Daarom is voorspelling van die fase van die ENSO problematies en kan uitspraak gewoonlik eers teen die suidelike lente gemaak word.

In die bronnelys verskyn 'n groot aantal publikasies wat die verband tussen die Suidelike Ossilasie (SO), die sogenaamde El Nino, La Nina sowel as die sogenaamde Kwasi Twee-jaarlikse Ossilasie of "Quasi Bi-annual Oscillation (QBO)" en reënval oor suidelike-Afrika behandel. Van die baanbrekerswerk deur Walker en Bliss (1930), deur die vername werk deur van Loon et al (1967-92) tot moderne modelleringstudies deur Hunt en Gordon (1989-94) en van Heerden (1994) word die belangrikheid van die ENSO vir die prognose van reënval beklemtoon.

2.2 ENSO Korrelasie met Suid-Afrika Reënval.

As eerste stap het die projekspan die verskillende fases van die SO gekorreleer met reënval oor Suid Afrika. Dit is gedoen deur die bekende Suidelike Ossilasie Indeks (SOI) oorspronklik gebruik deur Troup (1965), Trenberth (1976-87) en deeglik beskryf deur Schulze (1989), te korreleer met die SAWB Distrik Reënval. Laasgenoemde is verwerk deur die projekspan en later deur die SAWB en vorm deel van die projek databasis.

In fig.5 word die korrelasie tussen die gemiddelde SOI vir die maande Junie, Julie en Augustus en die Distrik Reënval vir die opvolgende Desember aangedui. Die filosofie wat deurgaans gevolg was is dat hier nie gesoek word na verwantskappe alleen nie, maar verwantskappe wat bruikbaar is as voorspellers. Daarom was daar gebruik gemaak van die klassifikasie van Schulze (1989) en is net die uiterste fases van die ENSO ondersoek en gestip in Figuur 5. In Figuur 5 is dit duidelik dat daar betekenisvolle positiewe korrelasie bestaan tussen die SOI vir Junie, Julie, Augustus en die Desember reënval, veral oor die sentrale dele van die land.

Die area van sterk korrelasie tussen die SOI en die reënval wissel sterk van maand tot maand. Hierdie **maandelikse verandering** oor Suid-Afrika was reeds deur Van Heerden et al (1988), Lindesay (1986) asook Nicholson (1986) beskryf en was die groot beswaar teen die gebruik van die SOI as voorspeller alleen. Groot beswaar bestaan ook daarteen om die SOI en die reënval vir die hele seisoen te gebruik. Die projekspan is oortuig dat sonder wetenskaplike verklaring vir die maand tot maand variasie in die korrelasie, die SOI alleen nie 'n betroubare voorspeller sal wees nie, al sou 'n ander meer gesofistikeerde statistiek gebruik word.

Tot dusver kon geen algemeen aanvaarbare verklaring gevind word vir die groot maandelikse variasie in die korrelasies nie. Dat die verskuiwing van maksimum maandelikse reënval en die oorskakeling van middelbreedte stelsels na dominant tropiese invloede in die sirkulasie oor Suid-Afrika belangrik is, word aanvaar. Ons

navorsing kon egter nie daarin slaag om die onderlinge aandrywingskragte oteenseglik bloot te lê nie.

As dit so is dat die area van goeie korrelasie skuif saam met die dominant middelbreedte stelsels, soos beweer deur Van Heerden et al (1988), sou dit beteken dat voorspellings, vir 'n spesifieke gebied, gebaseer op die fase van die SOI net betroubaar sal wees indien dit moontlik is om vooraf te bepaal wanneer die westewind bolugsirkulasie oor Suid-Afrika degenereer. Triegaardt (1994) , Taljaard (1986) en Terblanche (1988) het bevind dat die straalstroom posisie oor of suid van Suid-Afrika die beweging van drukstelsels sterk beïnvloed. Met die straalstroom suid van die land verbeter die reënkanse en andersom. Dit is tans nog nie moontlik om vooraf te bepaal wanneer die verandering gaan intree nie, ook nie tot watter mate dit die reënval sal beïnvloed nie. Dit bly dus wentel om die problematiek van voorspelling van sirkulasieverandering.

Die projekspan het daarom besluit om nie statistiese modelle om die SOI alleen te bou nie. Intussen het belangrike navorsing deur S Mason (1992), Hastenrath (1985-89) en ander die rol van die sogenaamde "Quasi Bi-annual Oscillation (QBO)" in die ENSO siklus beskryf. Die QBO is die ossilasie in die laer stratosferiese (50 en 30 hPa) winde oor die trope en word gewoonlik bereken deur die anomalie in die wind op 50 of 30 hPa oor Singapoer te bereken. Navorsers beweer dat indien die QBO in sy oos/wes fase is, tesame met die ontwikkeling van die warm/koue fase ENSO, dan is die negatiewe invloed van die ENSO op ons reënval groot/klein. Die projekspan het gebruik gemaak van hierdie werk om modelle te bou vir seisoenale voorspellings wat in paragraaf 2.4 beskryf word.

2.3 ENSO Eienskappe vir Tegnisk Ontwikkeling.

Dit kan met reg gesê word dat die enigste betroubare voorspelling wat oor Suid-Afrika se reënval gemaak kan word, die groot veranderlik daarvan is. Om die geografiese verspreiding van die ENSO reënval verband te illustreer word gebruik gemaak van die verdere distriksreënval indeling (Area 1 tot 12 van Fig.6) sowel as die indeling van warm en koue ENSO fases deur Schulze (1989). Sedertdien was daar die 1991/92 ENSO wat gepaard gegaan het met een van Suid-Afrika se grootste droogtes ooit en die 1992/93 somer (Jury and Lutjiharms (1993), van Heerden (1993)) wat ook deur die projekspan en ander navorsers as 'n warm fase ENSO beskou word. In fig.7 word die hoogsomer (Desember tot Februarie) reënval vir Area 10 (Hoëveld) as histogramme van reënvalindekse aangestip. Let ook op dat die fases van die ENSO aangedui word. Die indeks is die gebruiklike:

$$INDEKS = (RE\ddot{E}NVAL - GEMIDDELD) / (STANDAARD AFWYKING)$$

Die benaderde persentasies van die normaal word ook aangedui. Let op dat daar 7 droë seisoene was wat met warm fases ENSO en 10 nat seisoene wat met die koue fase ENSO gepaard gegaan het. 'n Droë/nat seisoen word as sulks beskou as die reënval minder/meer as een standaard afwyking van die normaal is (kleiner as 80%, groter as 120%). Fig.8 illustreer die geval vir Area 9 en in hierdie geval somerreën

(Oktober tot Maart). Fig.9 illustreer dieselfde verbande maar vir 'n individuele distrik (80) en Desember se reënvalindeks. Die ooglopende verband tussen die fase van die ENSO en die reënvalindeks is duidelik. Daar kom egter teenoorgestelde gevalle voor en die groot veranderlikheid in die reënval van jaar tot jaar word duidelik deur hierdie figure illustreer.

Die projekspan is oortuig dat **werklik betroubare** seisoenale voorspellings van reënval vir enige spesifieke area, gebaseer op die fase van die ENSO, tans nie moontlik is nie. So 'n voorspelling het dus 'n **lae waarskynlikheid** om realisties te wees. Die waarskynlikheid om 'n korrekte afleiding hieruit te maak kan egter beraam word. Belangrike en baie bruikbare **advies** kan egter verkaf word indien dit duidelik word na watter fase (warm of koud) die ENSO beweeg. Om so 'n adviesdiens moontlik te maak en 'n tegniek daar te stel gebruik die projekspan belangrike data wat direk onttrek word van die rekenaars van die Climate Analysis Centre (CAC) in Washington. Verder word die maandelikse publikasies van die Bureau of Meteorology Research Centre (BMRC- Australia) bestudeer.

Eerste navorsingsresultate waar die versyferde oppervlak analyses uit die Daaglikse Weerbulletin gebruik, word dui aan dat die aantal groot amplitude stelsels (sinoptiese skaal hoog- en laagdrukstelsels) suid van die land asook die meridionale/zonale indekse tydens die suidelike lente **nie 'n goele** aanduiding is van wat die ENSO gaan doen nie. Die eerste indruk wat verkry is dui daarop dat daar moontlik 'n 30 dae golf deur die oppervlak drukvelde beweeg. 'n Bewering wat reeds deur Van Loon (1983-87) en Van Heerden (1989-92) gemaak was.

Afgesien van bogenoemde word gekonsulteer met ander Suid- Afrikaanse navorsers asook met personeel van die SAWB. Vooruitskouings (advies) is moontlik, mits besluit kan word of 'n warm of koue fase van die ENSO aan die ontwikkel is. Dit moet ook duidelik gestel word dat uit die navorsing wat deur die projekspan gedoen is, asook uit die werk van Schulze (1989), dit juis tydens die ontwikkelingsfase of begin van die ENSO siklus is dat die grootse effek op Suid-Afrika se reënval intree en voorspellings die grootste kans op sukses het.

In kort dus:

DIE WARM FASE ONTWIKKEL:

Onder-normale reën is waarskynlik oor die oostelike en sentrale dele van Suid-Afrika.

DIE KOUE FASE ONTWIKKEL:

Bo-normale reën is waarskynlik oor die kontinentale dele van Suid-Afrika.

AS GEEN DUIDELIKE FASEVERANDERING VOORSPEL WORD NIE:

Geen betroubare uitspraak is moontlik nie. Reënval binne een standaard afwyking van die normaal is die waarskynlikste. **Voorspelling het lae betroubaarheid.**

IN DIE GEVAL VAN 'N VOORTSLEPENDE WARM (KOU) ENSO FASE:

In hoofsaak moet normale reënval in die totaal verwag word met groot geografiese verskille in die reënvalsyfers. **Voorspelling het 'n baie lae betroubaarheid.**

2.4 Die Besluitnemingsproses.

Alvorens 'n seisoenale voorspelling (adviesdiens) deur die projekspan verskaf word, word die volgende besluitneming prosedure behandel. Daar moet klem gelê word dat hier met waarskynlikhede te make is en nie direkte voorspellings nie. Hierdie besluitneming proses is gedurende die laaste vier jaar deur die projekspan beproef. Die meeste analyses en vooruitskattings van die toekomstige fase van die ENSO berus gewoonlik op die analise van 'n aantal klimaat- en oseaan indekse of veranderlikes waarvan die meerderheid hierbo behandel is.

Hierdie aanduidings (parameters) word deeglik en maandeliks in die analyses van CAC en BMRC behandel. Die projekspan maak van die skema soos opgesom in Tabel 1 gebruik waarin die belangrikste van hierdie verskynsels aangestip word. Gedurende Oktober 1994 is besluit om maandeliks te vergader sodat die menings van alle navorsers deeglik onder die loep geneem kan word. 'n Forum naamlik "The South African Long-Lead Forecast Forum (SALFF)" is op 31 Oktober 1994 in die lewe gebring.

Tabel 1 word maandeliks voltooi sodra die data op die CAC rekenaars in Washington beskikbaar is. Op hierdie wyse word die verloop van sake dopgehou. Alleen wanneer 60% tot 70% van die aanduidings konsekwent op 'n faseverandering dui kan so 'n faseverandering verwag word. Hierdie taak word met groot sorg gedoen en die periode Augustus tot einde Oktober is veral belangrik. Eers wanneer die waarskynlikste fase (warm, koud of geen) vir die somer bepaal is, kan ondersoek word of daar enige uitspraak gegee kan word oor die moontlike areas wat die swaarste getref kan word.

Om hierdie taak te vergemaklik word die rekenaar pakket wat histogramme van die distriks reënval uitdruk gebruik. Beskou fig. 7, 8 en 9. In elk van hierdie gevalle kan eenvoudig net getel word hoeveel reënval anomalieë voorgekom het tesame met fases van die ENSO. Daar kan ook onmiddelik uitspraak gelewer word tot hoe 'n mate die spesifieke area vir daardie tydinterval (maand of groepering van maande) in die verlede deur die ENSO beïnvloed is. Eenvoudige statistiek en sigbare grafiese voorstellings word gebruik om die waarskynlikheid te bepaal van "of" en "hoe intens" die reënval moontlik geaffekteer kan word. Hierdie grafika lewer ook direk uitspraak oor watter waarskynlikheid aan die realisasie van die voorspelling gehef kan word. In die geval soos in fig.7 uiteengesit was daar altesaam 16 mid-somers wat tydens

die warm fase ENSO onder-normale tot normale reënval gehad het. As daar redelike sekerheid bestaan dat so 'n warm fase op pad is, is die waarskynlikheid op onder-normale tot normale reënval goed. Van hierdie reënvalle was daar egter slegs 7 gevalle wat as droog beskou kan word. Indekswaardes kleiner as -100 oftewel minder as 80% van die normaal word as afsnypunt aanvaar. Hierdie syfer moet ook in die voorspelling (advies) wat verskaf word ingewerk word.

2.5 ENSO Seisoenale Voorspellings sedert 1986.

Seisoenale reënval voorspellings gebaseer op die verwagte fase van die ENSO is en sal waarskynlik onderhewig bly aan lae waarskynlikhede en so ook onbetroubaar bly ten opsigte van area gebonde tendense. Dit is te wagte aangesien geeneen van die metodes wat tans gebruik word die dag tot dag sinoptiese sirkulasie veranderinge in ag kan neem nie. Nogtans is die suksesse wat behaal is belangrik. Gedurende die afgelope vier jaar het dit duidelik geword dat indien 'n tendens in die reënval teen Oktober elke jaar met meer as 'n net 50% kans op realisasie korrek voorspel kan word, dit vir landbou, waterbenutting en die industrie van enorme waarde kan wees.

Navorsers van die projekspan was sedert 1986 verantwoordelik vir sulke voorspellings hoofsaaklik gebaseer op deelversamelings van bogenoemde prosedure, en was nogtans redelik suksesvol.

Die vernaamstes was:

- *Die warm fase ENSO's van 1986/87, 1991/92 sowel as die koue fase ENSO van 1988/89 was korrek voorspel.*
- *Die reënval tendens vir die somer reënval area was in al drie gevalle korrek voorspel.*
- *In die tussenjare was voorspellings van normale reënval essensieel korrek afgesien van die 1987/88 seisoen wat deur twee groot oorstromings gekenmerk was.*
- *Die voorspelling van normaal- tot bo-normale reënval vir die 1992/93 somerseisoen was korrek behalwe vir 'n paar distrikte in die Laeveld.*

Maar:

- *Daar kon geen vroegtydige uitspraak oor die intensiteit van die 1991/92 droogte gemaak word nie.*
- *Die projekspan aanvaar dat blote geluk moontlik 'n belangrike rol kon gespeel het in bogenoemde sogenaamde "suksesse". Nogtans word aanvaar dat die tegniek (stelsel) wat hier gebruik was nuttig is. Daar word vervolgens aanbeveel dat:*

Skemas soortgelyk aan hierdie gebruik word om ENSO gebaseerde reënval tendense voor te berei en dat nuwe kennis wat bekom word in die stelsel ingewerk word.

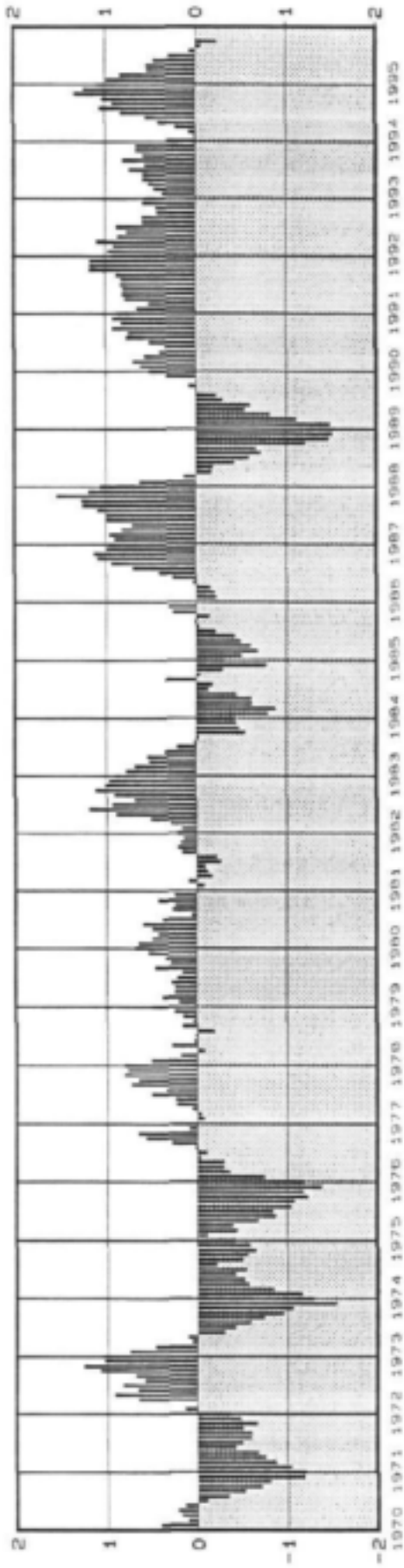
Die ENSO bly steeds die enigste bewese suksesvolle basis vir seisoenale reënval voorspelling.

Tabel 1. 'n Klassifikasieskema vir die fase van die ENSO vir die doel van besluitneming. SOT = See oppervlak temperatuur, SO = Stille Oseaan, ULS = Uitgaande langgolf straling en QBO = "Quasi Bi-annual Oscillation".

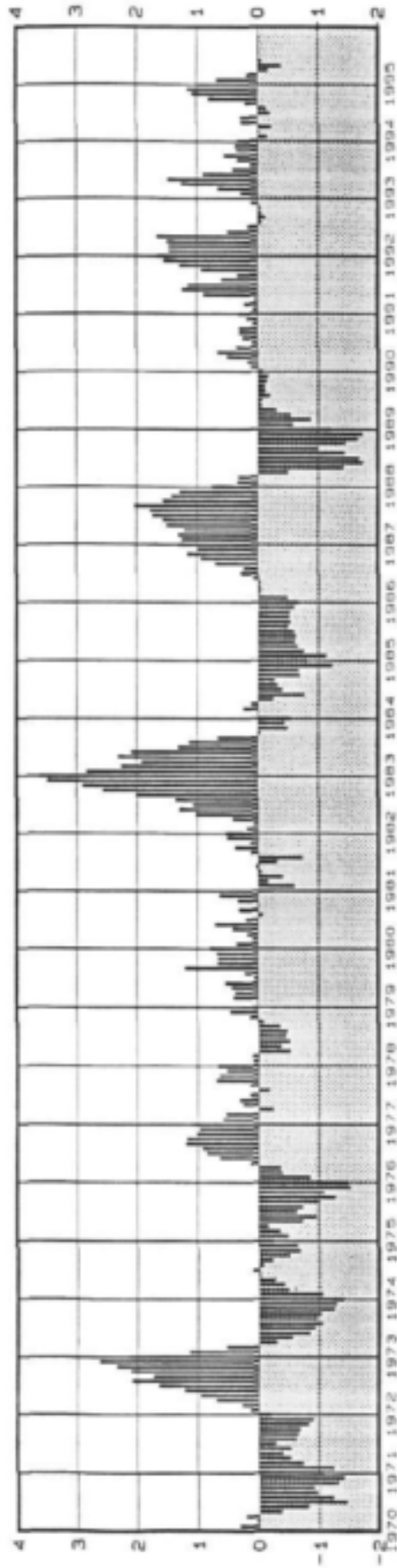
OSEAAN EN ATMOSFERIESE KENMERK VIR ENSO FASE IDENTIFIKASIE	ENSO FASE W=Warm K=Koud O=Geen	
SOI lopende gemiddeld (buite standaardafwyking)	Negatief	W
	Naby Nul	O
	Positief	K
SOT anomalië in die oostelike SO	Positief	W
	Geen	O
	Negatief	K
SOT anomalië in die sentrale SO	Positief	W
	Geen	O
	Negatief	K
SOT anomalië in die westelike SO	Positief	K
	Geen	O
	Negatief/Normaal	W
Diepte termoklien in die oostelike SO	Bo-normaal	W
	Normaal	O
	Onder-normaal	K
ULS relatief tot die sentrale SO	Sentraal+Oos	W
	Swak	O
	Weswaarts	K
850 hPa oostewind anomalie (oostelike tropiese SO)	Swakker Oos	W
	Normaal	O
	Sterker Oos	K

Tabel 1. 'n Klassifikasieskema vir die fase van die ENSO vir die doel van besluitneming.
SOT = See oppervlak temperatuur, SO = Stille Oseaan, ULS = Uitgaande langgolf straling en QBO = "Quasi Bi-annual Oscillation".

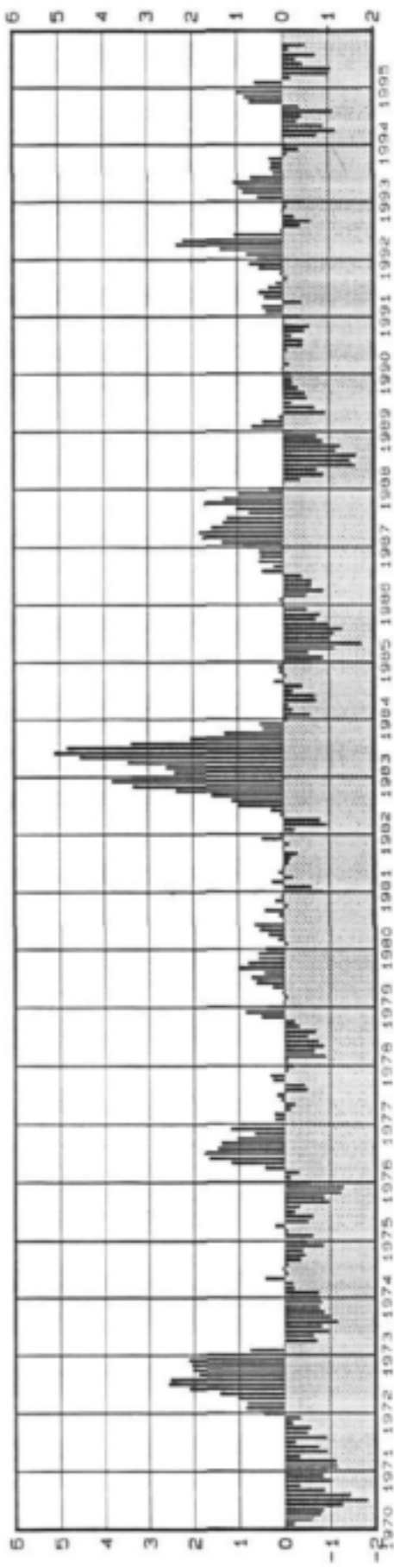
OSEAAN EN ATMOSFERIESE KENMERK VIR ENSO FASE IDENTIFIKASIE	ENSO FASE W=Warm K=Koud O=Geen	
200 hPa westewind anomalie (tropiese SO)	Swakker Wes	W
	Normaal	O
	Sterker Wes	K
SOT anomalie Sentrale Indiese Oseaan	Positief	W
	Normaal	O
	Negatief	K
"Quasi Bi-annual Oscillation (QBO)"	Oos fase	W
	Geen Fase	O
	Wes fase	K
Konsensus onder Navorsers	Warm fase	W
	Geen fase	O
	Koue fase	K
Model voorspellings	Warm fase	W
	Geen fase	O
	Koue fase	K



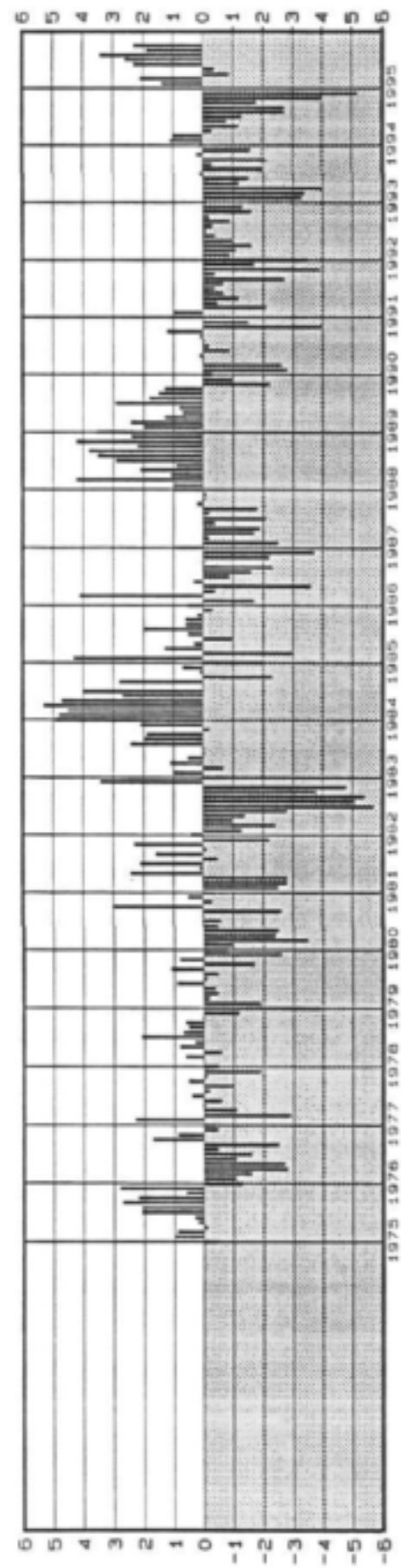
Figuur 1(a). Maandgemiddelde See Oppervlak Temperatuur (SOT) anomalie in ($^{\circ}\text{K}$) oor die tropiese Stille Oseaan (SO), of die Nino 4 gebied, gedurende die periode 1970 tot 1995.



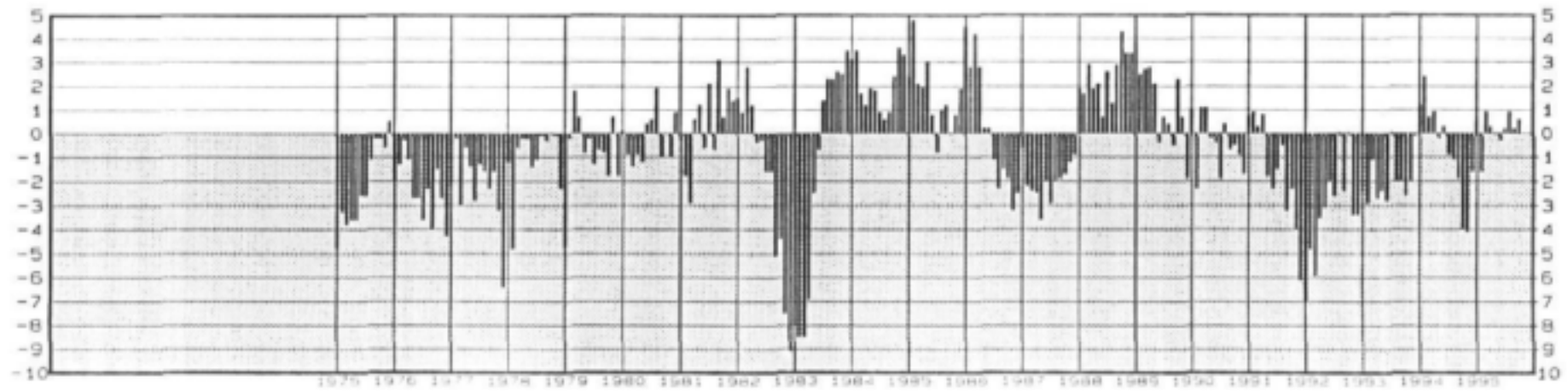
Figuur 1(b). Soos fig.1(a) maar vir die Nino 3 gebied.



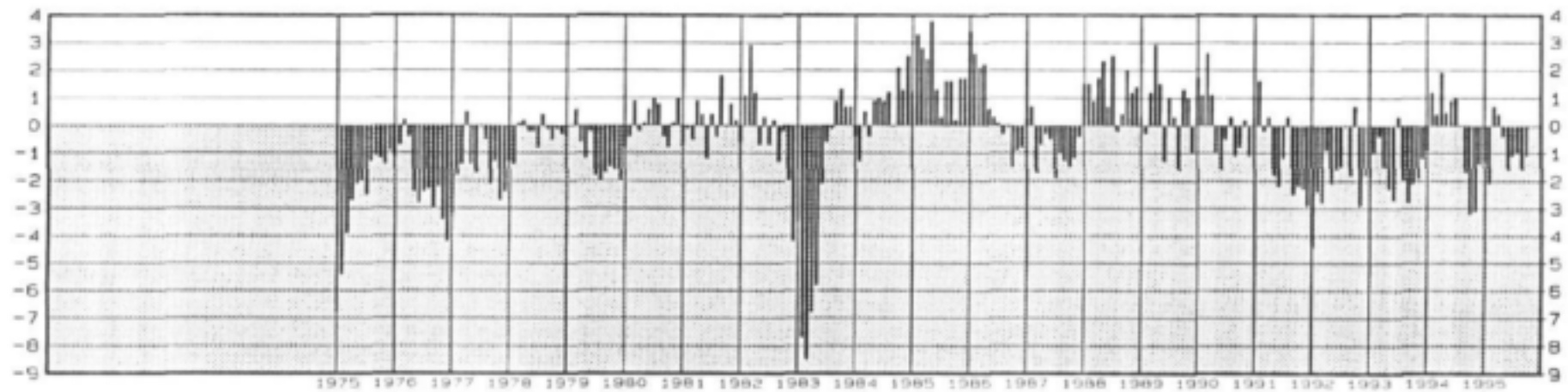
Figuur 1(c). Soos fig.1(a) maar vir die Nino 1 en 2 gebied.



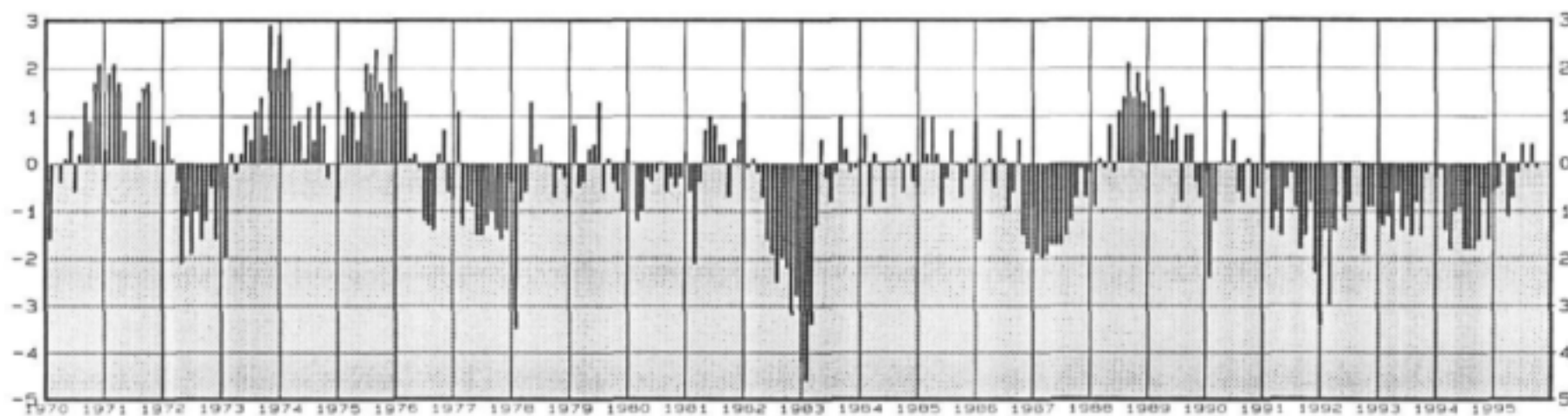
Figuur 2(a). 850 hPa drukvlak wind anomalie van die maandgemiddeld in m/s oor die westelike tropiese SO gedurende die periode 1975 tot 1995 (Positiewe anomalie verwys na 'n sterker as normale oostewind.)



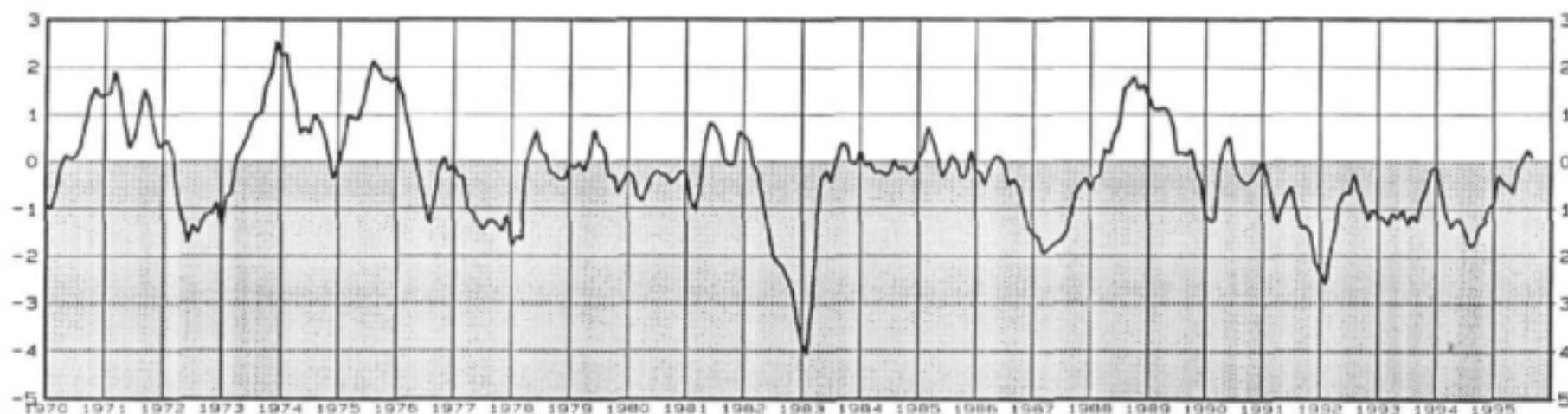
Figuur 2(b). Soos fig.2(a) maar vir die sentrale tropiese SO.



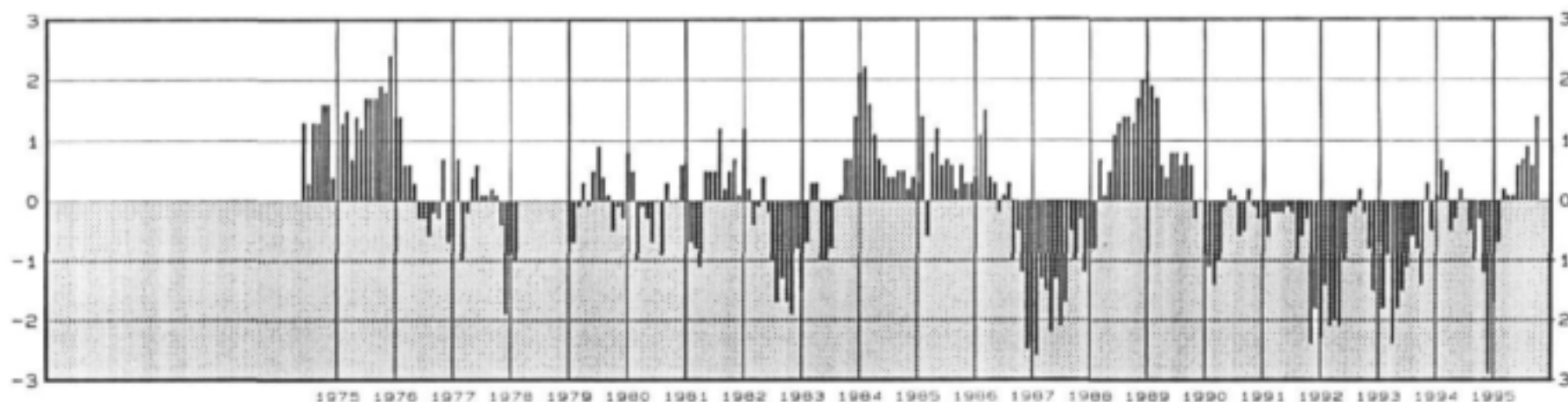
Figuur 2(c). Soos fig.2(a) maar vir die oostelike tropiese SO.



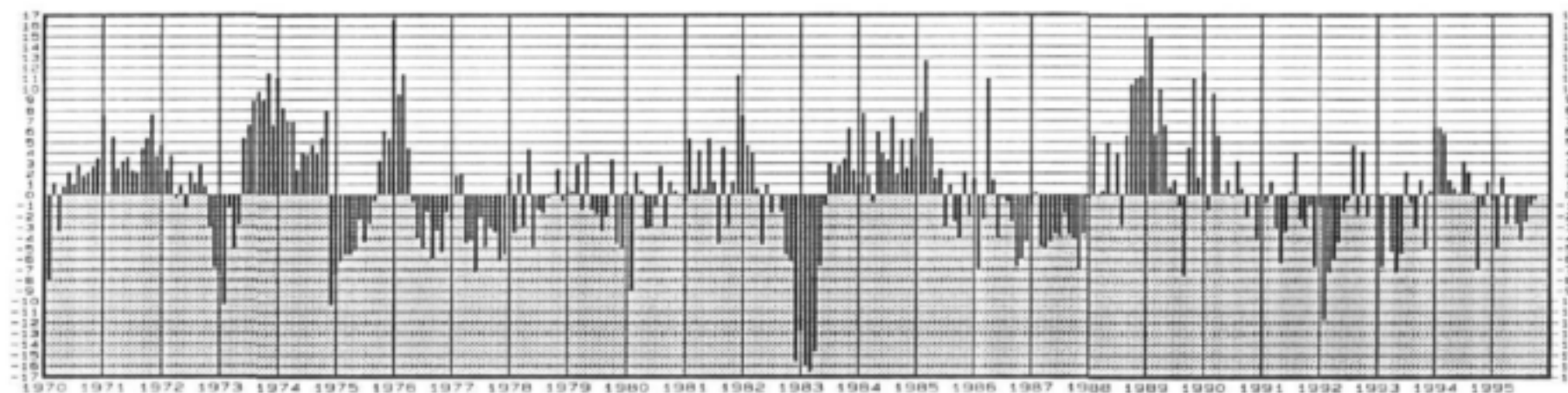
Aangetekende SOI waardes



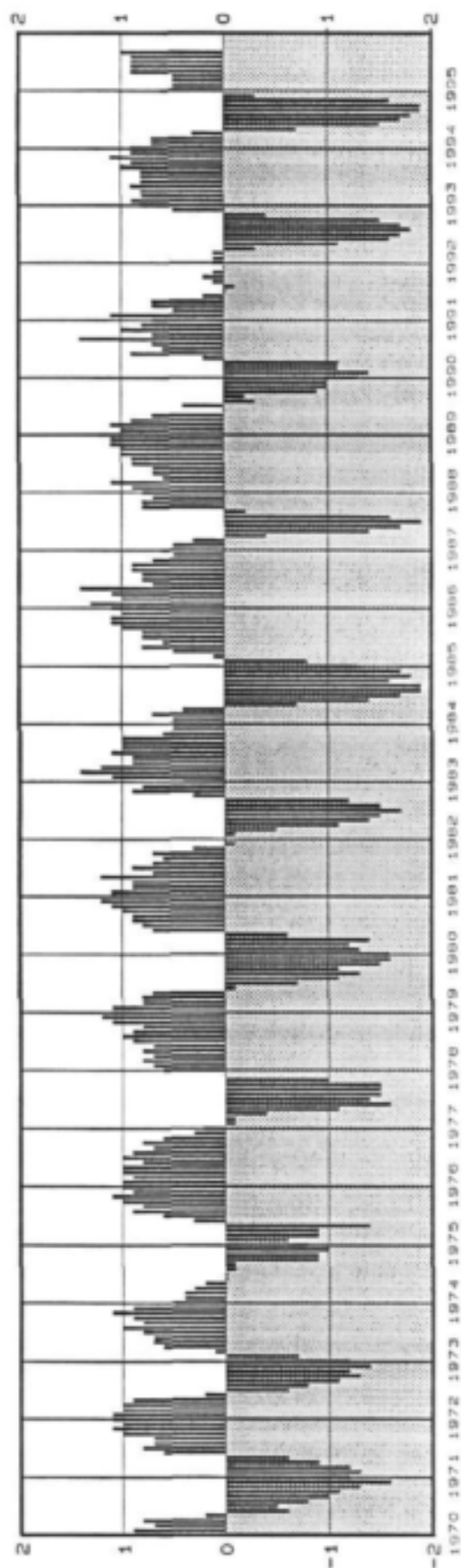
Figuur 3(a). Drie maand lopende gemiddeldes van die Suidelike Osislasie Indeks (SOI). Data is afkomstig van die "Climate Prediction Center".



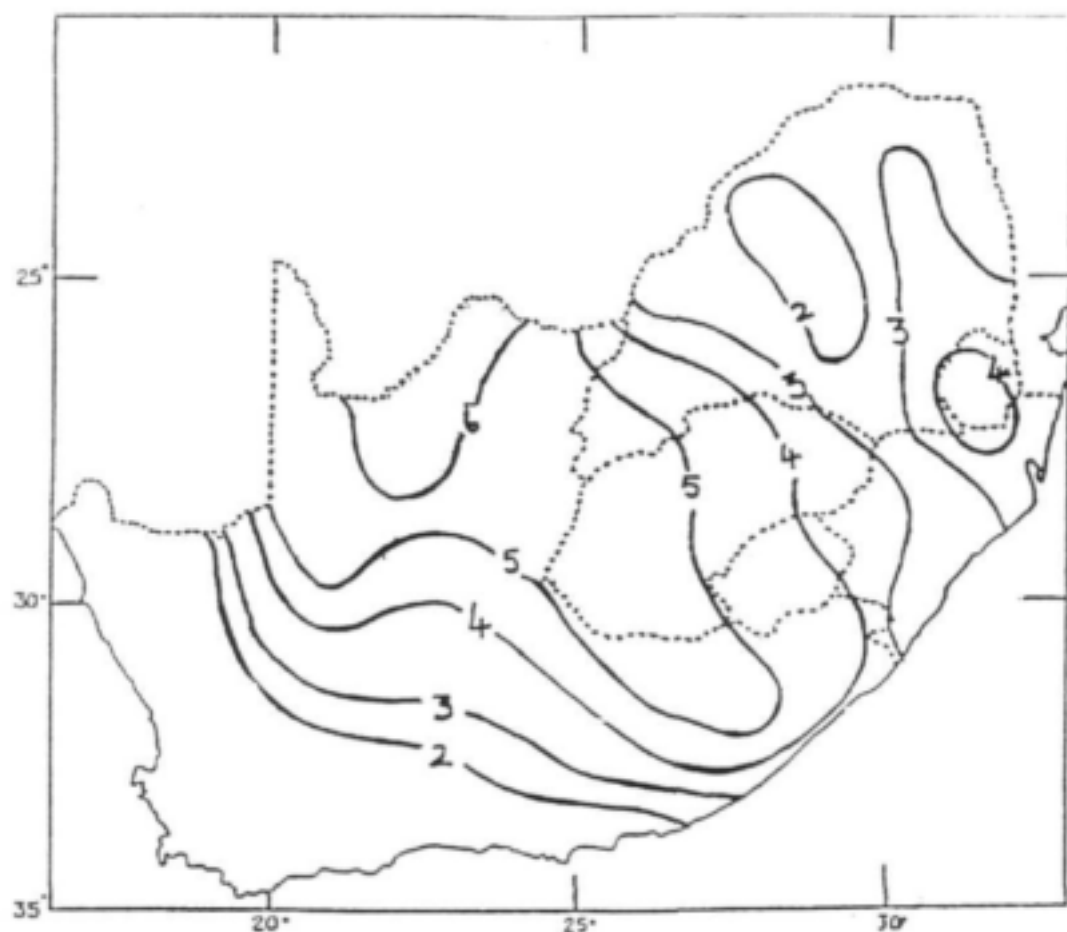
Figuur 3(b). Geïndekseerde waardes van uitgaande langgolf straling oor die sentrale tropiese SO.



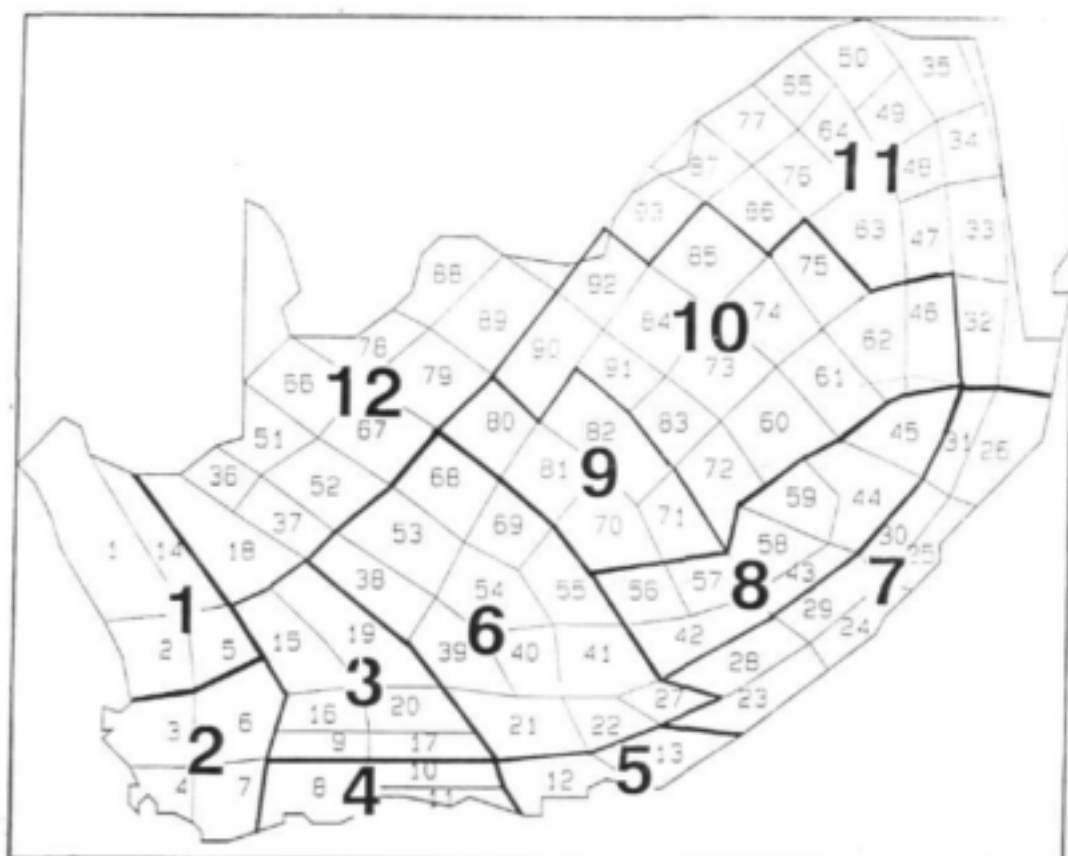
Figuur 3(c). 200 hPa drukvlak windanomalie (maandgemiddeld) in m/s oor die sentrale tropiese SO. (Positiewe anomalie verwys na 'n sterker as normale westewind.)



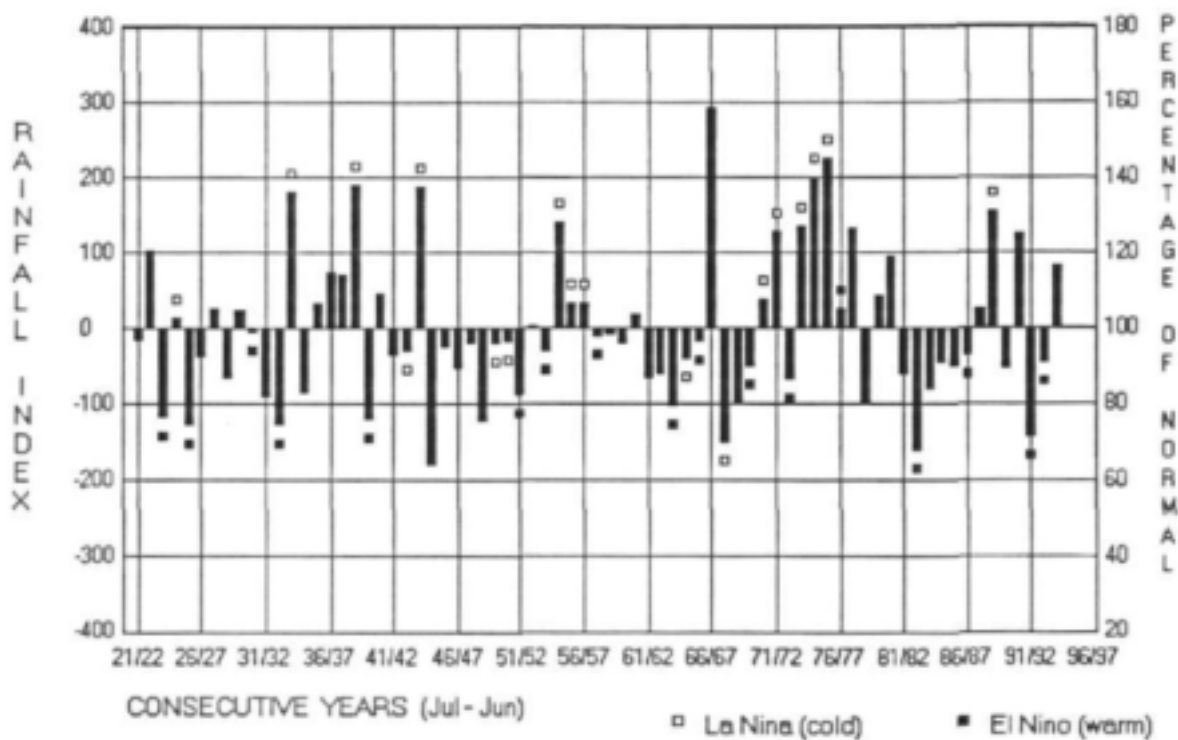
Figuur 4. Geïndekseerde sonale wind (maandgemiddeld) vir die 50 hPa drukvlak bo Singapoer vir die periode 1974 tot 1995.



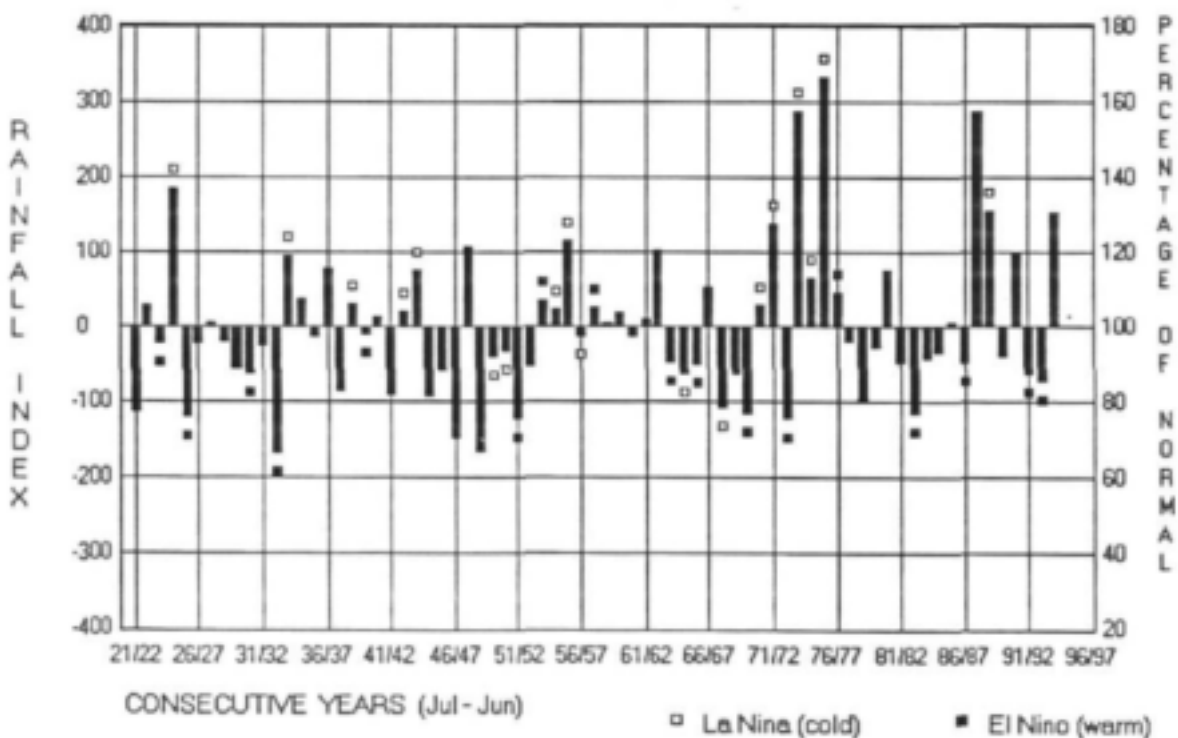
Figuur 5. Korrelasieveld tussen die gemiddelde SOI vir Julie, Augustus en September en die distrikreënval oor Suid-Afrika gedurende Desember.



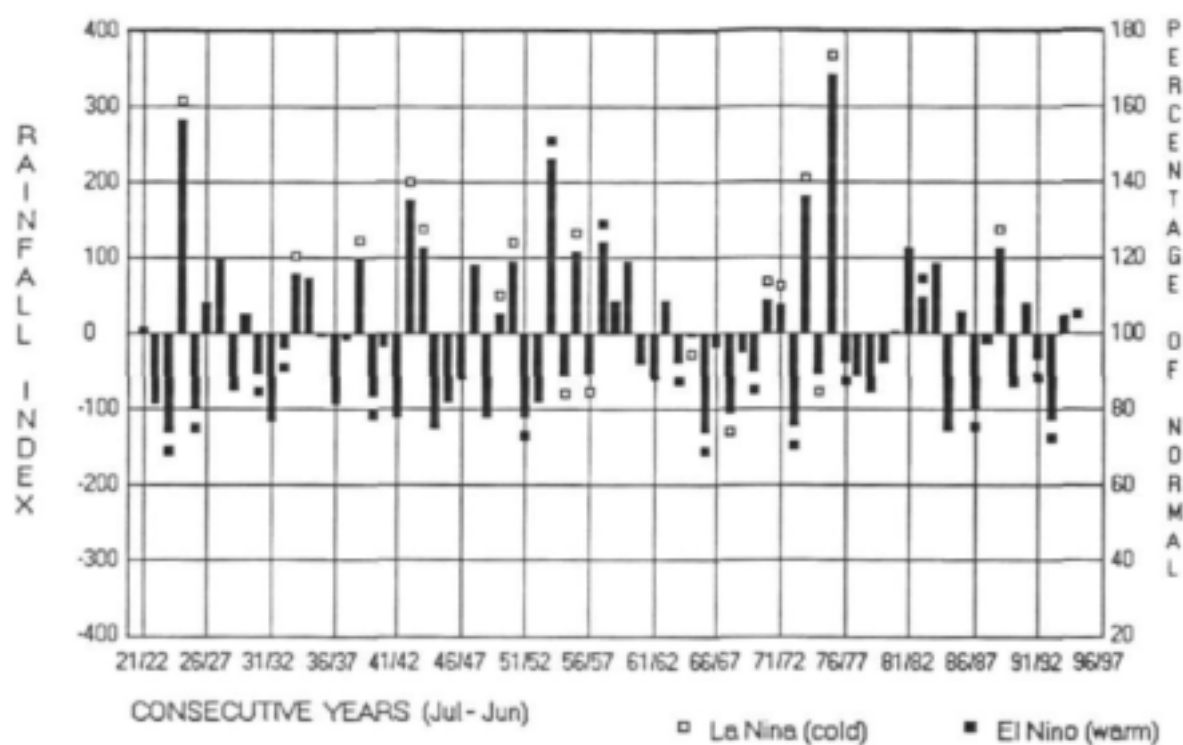
Figuur 6. Saamgroepering van die 93 reënval distrikte in die 12 homogene reënval areas.



Figuur 7. Histogram van area 10 (Hoëveld) se reënval indekse vir die maande Desember tot Februarie en vir die periode 1921/22 tot 1993/94. Die warm fases van die ENSO (El Nino) word aangedui as swart ingekleurde blokkies en koue fases van die ENSO (LaNina) as blanko blokkies.



Figuur 8. Soos fig.7 maar vir area 9 met reënval vir die periode Oktober tot Maart.



Figuur 9. Soos fig.7 maar vir distrik 80 met reënval vir Desember.

HOOFSTUK 3

VOORSPELLING TOT 60 DAE VOORUIT EN MAANDGEMIDDELDE SIRKULASIE (KOMPONENT 2 EN 3)

3.1 Agtergrond.

Die inhoudelike van hierdie twee komponente omvat die ondersoek na metodes om voorspellings te maak tot 60 dae vooruit, deur die analise van hemisferiese en globale datastelle met behulp van spektrale analise en ander metodes. Die maandgemiddelde sirkulasie word ook gebruik om vas te stel of daar genoegsame behoudende eienskappe in die gemiddelde sirkulasie bestaan vir die ontwikkel van 'n voorspellingstegniek. Daar was aanvanklik beplan om veral die uitstekende datastelle wat van die "European Centre for Medium Range Weather Forecasting (ECMWF)" aangekoop was te benut vir hierdie doel. Daar sou ook datastelle vanaf Australië en elders aangeskaf word.

Die SAWB het die ECMWF datastel beskikbaar gestel en ook 'n rekenaar stelsel in werking gestel wat ons in staat gestel het om met die analise te begin. Fourier analyses is uitgevoer op maandgemiddelde velde bereken uit die ECMWF datastel. Daar was ook begin om **verbande** tussen die amplitude en fasehoeke van oorwegend golfgetalle 3, 4 en 5 golwe in die 1000, 500 en 300 hPa geopotensiaal velde uitgedruk in geopotensiële meter (gpm) en die **reënval** oor Suid-Afrika te soek. Aanvanklike resultate was egter onbevredigend.

Gedurende 1991 het die SAWB van rekenaarstelsel verander. Die gevolg hiervan was dat vir 'n lang periode die datastelle sowel as die programmatuur wat ontwikkel was moeilik bekombaar geraak het. Die situasie het vererger toe dit vir die projekspan duidelik geword het dat die nuwe rekenaars by die SAWB oorbenut is. Dit het dit vir die SAWB personeel feitlik onmoontlik gemaak om ons by te staan met addisionele data onttrekking en uitvoer van analise programme. Hierdie situasie het feitlik onveranderd voortgeduur tot in 1993 toe verdere opgradering aan die SAWB se rekenaarstelsels gekom het. Intussen is daar beplan om die hele stelsel aan te pas om op die CONVEX C-120 te loop. Die taak het laer prioriteit geniet aangesien klimaat modellering lopies voorrang geniet het.

3.2 ECMWF Data Analise.

Intussen het 'n ywerige navorsingspan om Mnr D O Triegaardt by die SAWB ontwikkel wat onafhanklik baie aspekte, wat vir komponent 2 en 3 beplan was, begin navors het. Onder sy bekwame leiding was daar reeds teen einde 1992 aansienlike vordering gemaak met die volgende navorsing:

- Opstel van maandgemiddelde sirkulasievelde uit ECMWF analyses op 'n lopende grondslag met die doel om die rol van semi-stasionêre golwe op die weer oor Suid-Afrika te ondersoek.
- Die ondersoek na die rol van staande golwe as onderliggende aandrywingskragte van droë en nat periodes in die somermaande is voltooi in 1994.
- Minstens vier Pretoria Technikon Meestersdiploma studente het onder Mnr Triegaardt se leiding begin met navorsingswerk oor suidelike-Afrika sirkulasiepatrone en hierdie werk is voltooi teen die einde van 1993.

Aangesien daar reeds 'n bekwame SAWB span was wat aandag aan hierdie twee komponente gee was daar op 'n Loodskomitee vergadering besluit dat die projekspan lae prioriteit aan hierdie komponente moet gee.

Hoofstuk 4 bespreek die sirkulasiepatrone wat deur die onderskeie Algemene Sirkulasie Modelle (ASM) bereken word. Die mate waarin hierdie modelle daarin slaag om verklaring te gee vir reënval en sirkulasie anomalië moet gemeet word aan waargenome sirkulasie abnormaliteite in nat en droë periodes. Triegaardt en Landman (1994) wat voortbou op vroeëre werk deur Taljaard et al (1966-91), Tyson (1981-91), Terblanche (1987-88) en Schulze (1984) doen 'n deeglike studie van hierdie sirkulasiepatrone. Die volgende belangrike kenmerke word geïdentifiseer:

NAT PERIODES:

- 'n Langgolf rug (golfgetal 3-4) is teenwoordig suid-wes, suid of suid-oos van Suid-Afrika.
- Daar is 'n afname in die sterkte van die westewind oor Suid-Afrika. (30-40°S)
- Positiewe druk/geopotensiaal anomalië kom suid-wes, suid en suid-oos van Suid-Afrika voor.
- Bogenoemde drie verskynsels gaan dikwels gepaard met 'n afsny-laag oor Suid-Afrika.
- Divergente bolugsirkulasie oor Suid-Afrika wat windaf voorkom van 'n bolug trog oor die weskus.

DROë PERIODES

- 'n Langgolf trog is suid-wes, suid of suid-oos van Suid-Afrika.
- Westewinde is sterker as normaal oor en suid van Suid-Afrika. Noordwaartse verplasing van die straalstroom kom voor.
- 'n Goed ontwikkelde oppervlakte trog kom voor suid van Suid-Afrika.

- 'n Geslote bolug hoog oor Suid-Afrika is kenmerkend van subsidensie oor Suid-Afrika. (Onderdruk reënval in teenwoordigheid van ander gunstige faktore.)
- 'n Diep oppervlak laag of Tropiese Sikloon kom voor in die Mosambiek Kanaal.

In Hoofstuk 4 tree hierdie eienskappe dikwels na vore in die analise van model resultate.

3.3 Globale Modeluitvoer en Groepanalise.

Mev W Jordaan van die SAWB het finansiële ondersteuning van die WNK ontvang om met modellerings navorsing oor die rol van langgolwe in die sirkulasie van die suidelike halfrond voort te gaan. Vir hierdie doel is sy ook geregistreer as 'n PhD student aan die Universiteit van Pretoria (UP). Die navorsingswerk word ondersteun deur die Britse Weerdiens en Mev Jordaan was toegelaat om onder die leiding van Dr M S Harrison sekere model-lopies te voltooi met behulp van die "Unified Model" op die Cray rekenars van die Britse Weerdiens. Hierdie take is einde 1995 afgehandel.

Die navorsing is gerig om te bepaal of langertermyn dinamiese modelle die langgolwe in die atmosfeer suksesvol kan hanteer. In wese word van 'n "ensemble" van model lopies gebruik gemaak om die voorspelbaarheid van die langgolf te bepaal. Nege voorspellings vir 'n 30 dae periode vooruit word gekombineer. Die navorsing toon dat vir die periode tussen 16 en 30 dae daar aansienlike verskille tussen die model lopies ontstaan. Groepanalises toon twee tot drie verskillende oplossings. Figuur 10 illustreer die verskille tussen twee sulke "ensemble" groeperings. Die oplossings verskil drasties en hanteer die langgolwe verskillend. Alhoewel die tegniek baie potensiaal het wil dit voorkom asof periodes vir langer as 14 dae vooruit vir eers problematies gaan wees. Die waarskynlikheid van 'n spesifieke sirkulasiepatroon kan moontlik bepaal word uit die aantal eensoortige prognosis waaruit die groep bestaan. Dit sal nodig wees om die tegniek oor 'n betreklike lang periode te evalueer. Mev Jordaan het haar PhD tesis by UP ingehandig gedurende November 1995.

3.4 Ontwikkeling van 'n Statistiese Voorspellingsmodel.

Mnr W Landman wat reeds belangrike navorsing onder leiding van Mnr D O Triegaardt begin het was gedurende 1993 uitgenooi om aan Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, New York opleiding te ontvang in die opstel van 'n Reënval Analisestelsel en die voorspelling van reënval anomalië deur middel van hoofkomponent analise. Mnr Landman het sy navorsing begin deur die reënval-, ruimte- en tyd verspreiding oor Suid-Afrika te ondersoek met behulp van hoofkomponent analise (Principle Component Analysis). Daarna volg verdeling van die SAWB Distrikreënval in 7 homogene groepe. Kanoniese Korrelasie Analise (Canonical Correlation Analysis CCA) word op elke area uitgevoer waarna 'n CCA Voorspellingsmodel ontwikkel word. Landman (1994) som sy voorspelling resultate

as volg op:

- Dit is wel moontlik om die reënval vir individuele maande te voorspel met behulp van CCA.
- Beter resultate kan verwag word as die somerseisoen onderling opgedeel word.
- Die SOT oor die Indiese Oseaan (noord-oos van Madagaskar) is die beste voorspeller vir reënval oor Suid-Afrika, gevolg deur die tropiese Stille Oseaan SOT.
- SOT anomalie oor die suidelike Atlantiese Oseaan het potensiaal as voorspeller.

Na sy terugkeer het mnr Landman dadelik begin om 'n voorspellingstelsel gebaseer op sy metodes in werking te stel. Die SAWB (RGSCS) groep produseer vandag maandeliks seisoenale voorspellings gebaseer op hierdie tegnieke. Daar bestaan goeie skakeling met mnr Landman en ons is hoopvol dat sy tegniek suksesvol sal wees. Tot nou toe is die tegniek egter ongetoets en die resultate vir die volgende paar jaar sal met belangstelling dopgehou word. Mnr Landman is tans geregistreer vir die MSc graad in Weerkunde aan UP en sy MSc verhandeling sal handel oor hierdie tegniek.

3.5 Neurale Netwerke en Statistiese Metodes.

(University of Wisconsin Madison en Universiteit van Pretoria)

Neurale netwerke is 'n relatief nuwe tegniek en het die vermoë om sekere funksies van die menslike brein na te boots. Die tegniek is veral geskik vir patroon herkenning en vaar beter as ander statistiese metodes waar daar vele veranderlikes ter sprake is wat 'n invloed op 'n enkele uitkoms het. Neurale netwerke kan gesien word as 'n hoogs parallelle, vinnige berekenings tegniek wat statisties werk op 'n "mog het treffe" beginsel om probleme op te los wat nie andersins oplosbaar is nie. (Vryelik vertaal uit Nelson en Illingworth, 1992)

Die "Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin Madison (Hasternrath en Greischar)" het aangebied om die projekspan by te staan met die ontwikkeling van so 'n neurale netwerk model sowel as ander statistiese tegnieke en het uiteindelik al die statistiese- en Neurale Netwerk Modelle (NNM) ontwikkel. Die projekspan was verantwoordelik vir reënvalanalise en voorspellingsevaluering. Modelle wat getoets was, is stapsgewyse multi-regressie (SMR), Liniêre Diskriminant Analise (LDA) en Neurale Netwerk Modelle (NNM). Modelvoorspellings was gebaseer op die Augustus- September waardes van die SOI, die vorige Januarie tot Maart waardes van die 50 hPa sonale wind by Singapoer (U50), 'n indeks van die Oktober- November oppervlak westewind langs die Indiese

Oseaan Ekwator (UEQ) en laastens 'n indeks van die SOT in die suidwestelike Indiese Oseaan (UKT). Liniêre korrelasie was benut om die onderlinge verbande tussen hierdie sirkulasie parameters asook met die Hoëveld reënval (Area 10, Desember tot Februarie - fig.6) te bepaal. Hierdie geskikte verbande (voorspellers) vorm vervolgens die basis vir toepassing in stapsgewyse multi-regressie (SMR), Neurale Netwerk Modelle (NNM) en Liniêre Diskriminant Analise (LDA). Hierdie modelle is almal beskikbaar in die MATLAB pakket onder 'n UP lisensie. Die datastel vir die periode 1954-1978 het gedien as oefen-periode vir die neurale model. Die datastel vir die periode 1979-1993 was benut om die neurale model se voorspellings te evalueer.

SMR modelle wat onderling van U50/UEQ, U50/UEQ en UKT gebruik maak slaag daarin om meer as 50% van die variansie in die onafhanklike datastel te verklaar.

Resultate bepaal met die LDA modelle was swak. Die resultate bepaal met 'n NNM wat as invoer die SOI en U50 gebruik was baie belowend. Hierdie NNM het daarin geslaag om 62% van die variansie in die onafhanklike datastel te verklaar en toon belofte vir toepassing in operasionele seisoenale reënval voorspelling. 'n Belangrike voordeel is dat die SOI en U50 beskikbaar is op 'n maandelikse basis sodat voorspellings reeds teen Oktober gemaak kan word.

'n Voorspelling vir Desember 1993 - Februarie 1994 tydens die ontwikkeling van hierdie stelsel was misleidend. Die voorspelling wat op 6 Oktober 1994 bereken was met behulp van die SMR en NNM kan opgesom word as:

VOORSPELLING VIR DIE HOËVELD DESEMBER 1994-FEBRUARIE 1995

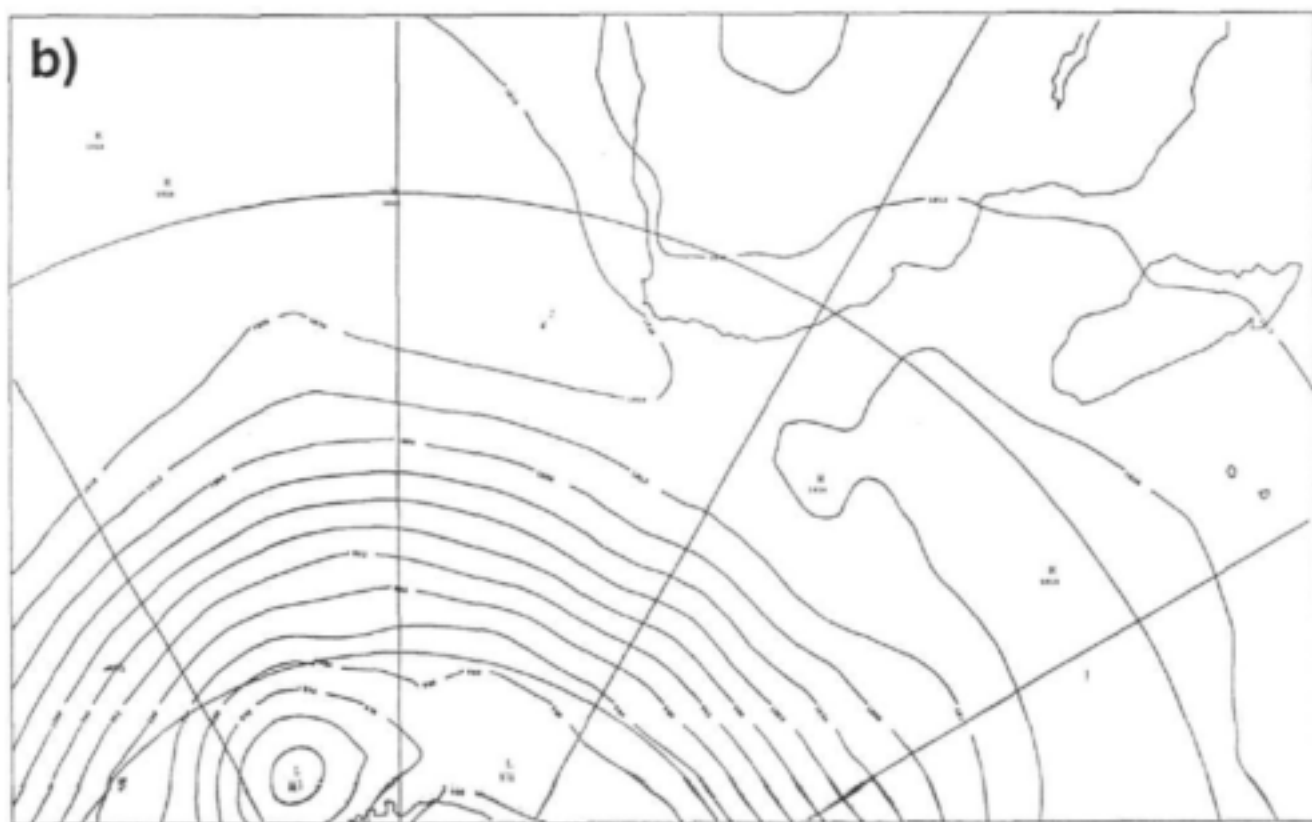
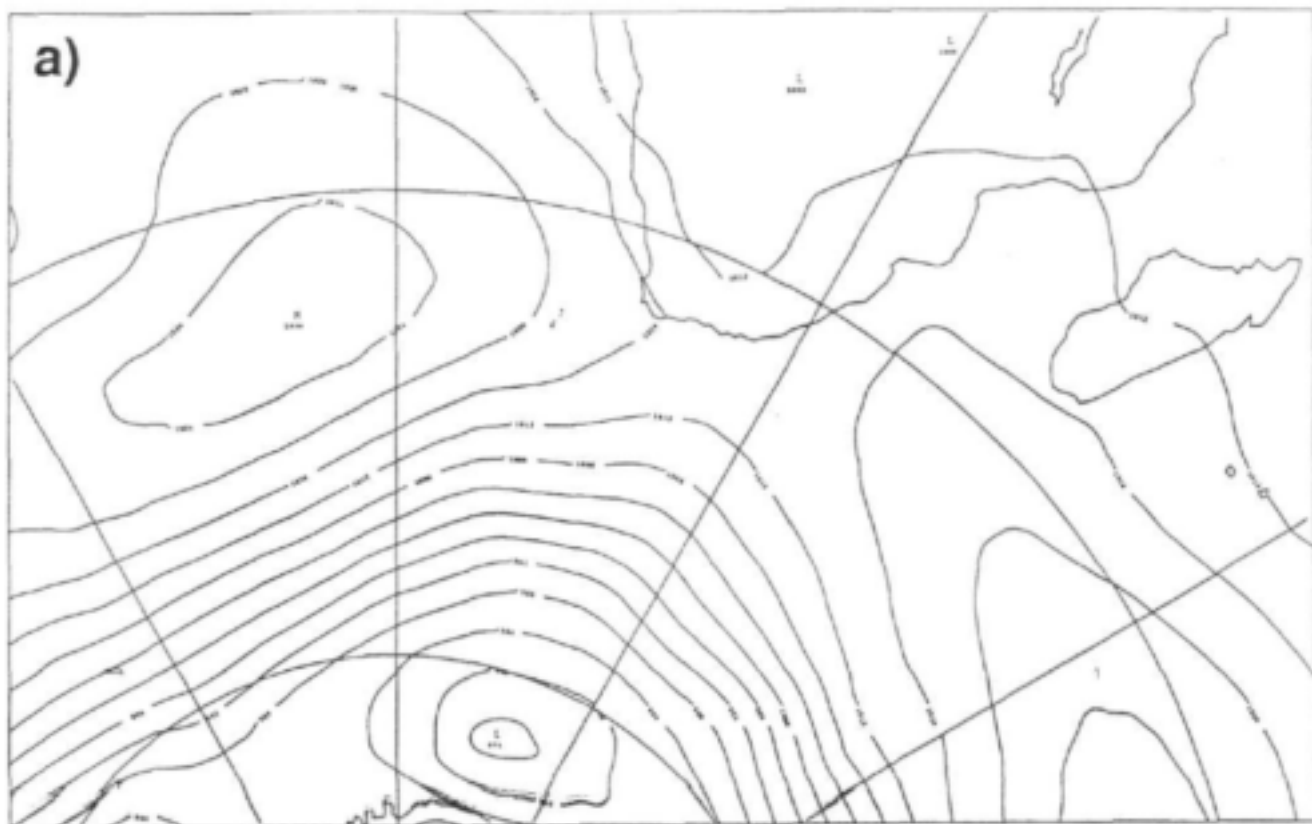
Model	Voorspeller	Anomalie voorspel (mm)	Gemiddeld (1954-78)	Standaard Afwyking (mm)	Werklike Anomalie (mm)
NNM	SOI+U50	-46	305	77	-88
SMR	SOI+U50	-71	305	77	-88

Hierdie voorspellings is soortgelyk aan die wat modelle gemaak het vir die mid-somers van 1981-82, 1984-85, 1985-86, 1989-90 en 1992-93. In Figuur 7 word aangetoon dat al hierdie somers onder normale reënval gehad het, maar negatiewe afwyking binne die standaard afwyking.

Die neurale netwerke model toon genoegsame belofte sodat aanbeveel kan word dat voortgegaan moet word om hierdie tegniek verder uit te bou. Die SAWB groep onder die leiding van mnr Landman kan moontlik in samewerking met die projekspan hieraan aandag gee, veral om die tegniek toepaslik te maak op 'n streeksbasis.

3.6 Die 30 to 60 Dae Golf.

Die projekspan het beplan om die voorspelbaarheid van die 30 tot 60 dae pertubasies wat in die algemene sirkulasie voorkom, te ondersoek. Geen vordering is hiermee gemaak nie.



Figuur 10. "Ensemble" voorspelling vir 9 Maart 1994 soos uitgevoer op die Britse "Unified Model". (a) Voorbeeld van "Ensemble" 2. (b) Voorbeeld van "Ensemble" 8.

HOOFSTUK 4

MODELLERING (KOMPONENT 4)

4.1 Algemene Sirkulasie Modelle (ASM).

Aansienlike vordering word gemaak met statistiese modelle en neurale netwerke vir die uitreik van langertermyn reënval voorspelling. Die projekspan bly egter oortuig dat vir so lank as wat hierdie modelle nie die *nie-liniêre dinamiese- en fisiese* prosesse wat in die atmosfeer voorkom in ag neem nie, dit op die lang duur onbevredigende resultate sal lewer.

Wat nooit uit die oog verloor moet word nie is dat die meeste prosesse wat in die atmosfeer voorkom *nie-liniêr* gekoppel kan word aan die belangrike aandrywingskragte wat in die atmosfeer voorkom en wat ook van tyd tot tyd verander. Tydens die warm fase ENSO ontstaan sterk konvektiewe opwaartse beweging bo die positiewe SOT anomalië oor die sentrale tropiese SO. Die reaksie van die atmosfeer op hierdie vertikale pulse is dus *nie-liniêr* sodat die versteuring wat in die algemene sirkulasie ontstaan dwarsdeur die troposfeer op soms onverwagte wyse realiseer. Afsien hiervan is die gedrag van die atmosfeer op die sinoptiese- en mesoskaal feitlik gaoties (Nina Hall and Tim Palmer, 1992). Voorspellings wat gebaseer is op die wette van die fisika (Natuurwette) en wat vervat is in weerkundige rekenarmodelle, algemeen bekend as Algemene Sirkulasie Modelle (ASM) is hoogstens geldig vir 14 dae vooruit. Om die gedrag van die atmosfeer op seisoenale en langer tydskaal te kan verstaan het weerkundiges die ASM aangepas sodat dit die totale energie (Kineties, Potensiaal en Intern) behou. Hierdie modelle is algemeen bekend as Algemene Sirkulasie Klimaat Modelle of Klimaat Modelle.

Klimaat modelle kan nie as prognostiese modelle gebruik word nie. Dit wil sê 'n klimaat model kan nie vir byvoorbeeld 10 jaar geloop word en die Januarie sirkulasie wat die model daarna simuleer gebruik word as voorspelling vir wat in Januarie oor 10 jaar gaan gebeur nie. Klimaat modelle slaag egter goed daarin om die algemene sirkulasie na te boots en is kragtige hulpmiddels om die komplekse sirkulasie en interaksies wat voorkom in die atmosferiese algemene sirkulasie na te vors. Die modelle is veral kragtig wanneer daar ondersoek ingestel word na die invloed van randwaardes soos byvoorbeeld SOT anomalië, verandering in landoppervlakte en die verandering in die chemiese samestelling van die atmosfeer (toename in koolstof dioksied).

Die projekspan het aanvanklik begin met 'n maandgemiddelde anomalie model wat deur Terblanche (1987) ontwikkel is. Nadat 'n CONVEX C-120 aan die projekspan beskikbaar gestel is, is daar hoofsaaklik gebruik gemaak van die vier vlak CSIRO-4 algemene sirkulasie klimaat model.

4.2 Die Maandgemiddelde Anomalie Model.

Hierdie model koppel SOT anomalie met die atmosferiese sirkulasie op 500 hPa deur die termodinamiese energie vergelyking en die vortisiteits vergelyking. Beide word omgeskakel na 'n formaat waarin die anomalie van die SOT en die 500 hPa geopotensiaalveld die vernaamste modelveranderlikes is. Die produkte van hierdie model is reeds volledig behandel in jaarlikse projekverslae. Aangesien die model wel potensiaal het vir die voorspelling van geopotensiaal anomalie (een maand vooruit) is besluit om die model uit te brei na 'n hemisferiese skaal. Hierdie taak is afgehandel.

Om verdere modellopieë uit te voer is dit essensieel dat maandgemiddelde oppervlak seestroom vektore vir die Suidelike Halfrond verkry moet word. So 'n datastel was nie beskikbaar nie. Mnr Cronje, MSc student aan die Randse Afrikaanse Universiteit* wat besig was met die opstel van so 'n datastel het sy studies gestaak. Sonder hierdie datastel is dit beswaarlik sinvol om lopieë op hierdie model voort te sit. Daar bestaan ook probleme rondom die model se stralingsveld. Sodra die seestroom vektore wel beskikbaar word, kan aandag aan die probleem gegee kan word en die model behoorlik getoets word.

Intussen was daar besluit om te konsentreer op die CSIRO-4 klimaatmodel wat uit die aard van die saak baie meer potensiaal het.

4.3 Die CSIRO-4 Algemene Sirkulasie Model.

Gedurende 1993 is 'n ooreenkoms tussen die CSIRO (Division of Atmospheric Research(DAR)) en die projekspan aangegaan waarvolgens die kode van die CSIRO-4 klimaatmodel aan ons verskaf is. Hierdie is 'n globale energie behoudende R21 (ruit afknotting by golfgetal 21) spektrale algemene sirkulasie model met roosterveld resolusie 64 (Oos-Wes) X 56 (Suid-Noord). Van die veranderlikes in die model word spektraal voorgestel. Die model het vier vertikale vlakke. 'n Besondere kenmerk van die model is die wyse waarop wrywing aan die model oppervlak gehanteer word. Gordon (1993) beskryf die fisika in die model volledig. Dr Hal Gordon en Mnr Barry Hunt, beide van die CSIRO, was baie behulpzaam en die projekspan kon die model met relatief min probleme op 'n CONVEX C-120 aan die werk kry. Om van die model subroutines omgeskakel te kry van CRAY na CONVEX formaat was van die dienste van 'n sagteware spesialis, mej. Sonia Bunge, gebruik gemaak. Daar word op 'n deurlopende grondslag met bogenoemde CSIRO wetenskaplikes geskakel. Al die grafika wat gebruik word om die model uitvoer resultate te plot is ontwikkel deur Mnr J C de W Rautenbach van UP.

Die heel eerste taak wat met die CSIRO-4 uitgevoer is, was die simulering van 'n 20 jaar model klimaat. Dit was noodsaaklik om die stabiliteit van die model op die CONVEX C120 te toets. Dit is ook belangrik om 'n goeie model klimaat te hê wat kan dien as kontrole lorie wanneer ander eksperimente uitgevoer word. In Fig.11(a) en 13 word die kontrole klimaatveld vir die 350 hPa windvelde sowel as reënval anomalie

vir Februarie gestip. Die CSIRO-4 slaag verbasend goed daarin om die waargenome klimaat na te boots.

Die belangrikste eksperimente wat met die CSIRO-4 uitgevoer is, was om die rol van SST anomalie op die sirkulasie van die atmosfeer en spesifiek oor Suid-Afrika na te vors. Belangrike werk wat deur dr Nan Walker van Heerden (1989) begin was en voortgesit is deur Jury en Pathak, Valentine, Lutjeharms, Courtney en Shillington (1991-1993) het almal aangedui dat daar sterk statistiese verbande tussen SST anomalie oor die sentrale Indiese oseaan en die reënval oor Suid-Afrika bestaan. Hierdie resultate is later bevestig deur Landman (1994). Voordat hierdie verbande benut kan word vir langtermyn reënval voorspelling is dit noodsaaklik dat verstaan word hoe die sirkulasie oor suidelike Afrika deur hierdie SOT versteur word. Dit was ook belangrik om die sirkulasie oor Afrika tydens warm en koue fases van die ENSO te ondersoek.

4.3.1 CSIRO-4 Eksperiment 1:

Positiewe SOT Anomalie oor die Indiese Oseaan Noord-oos van Madagaskar.

Mason (1992), Jury en Pathack (1991-93) beklemtoon dat positiewe SOT anomalie oor hierdie gebied statisties goed korreleer met reënval oor Suid-Afrika. Dit word bevestig deur Landman (1994) met 'n deeglike ondersoek in die VSA, waar gesofistikeerde statistiese metodes soos hoofkomponent analise toegepas is.

Etlike model klimaat simulaties is uitgevoer met die CSIRO-4 waar die SOT oor die gebied noord-oos van Madagaskar kunsmatig verwarm is. Dit was gou duidelik dat eers na SOT anomalie van groter as $+2^{\circ}\text{K}$ die model noemenswaardige versteurings in die sirkulasie en reënval oor Suid-Afrika simuleer. In der waarheid het die model vir kleiner positiewe SOT anomalie positiewe reënval anomalie oor Suid-Afrika gesimuleer. Mnr B Hunt (CSIRO, 1993 persoonlike kommunikasie) het aanbeveel dat die SOT anomalie tot so veel as $+5^{\circ}\text{K}$ verhoog word. Model klimaat simulaties word deurentyd vergelyk met die model klimaat (kontrole) om veranderinge in die sirkulasie en reënval te bestudeer.

Fig.11(a) illustreer die langtermyn 350 hPa klimaat windveld vir Februarie. Fig.11(b) is die 350 hPa windveld vir Februarie, maar met 'n $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie noord-oos van Madagaskar en soos aangedui op die figuur lê hierdie anomalie in 'n area van $+2^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie. Fig.11(c) is die 350 hPa wind verskilvektore. Dit is die $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie lopies minus die kontrole lopies. Om die verandering tussen die sirkulasiepatrone verder te illustreer is die horisontale divergensie bereken uit die model 350 hPa winde, vir beide die windvelde geïllustreer deur Fig.11(a) en 11(b). Die heel eenvoudigste divergensie vergelyking, waarin die krommingsterme geïgnoreer word (Holton, 1991) was vir die berekening van die divergensievelde gebruik.

Fig.12(a) en 12(b) illustreer die divergensies vir die kontrole en $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie lopies onderskeidelik (Eenhede 1×10^{-6} per sek.). Dit is duidelik uit Fig.11(a) en (b) dat

die groot positiewe SOT anomalië oor die Indiese Oseaan dramatiese sirkulasie veranderinge oor veral die Indiese Oseaan meebring. Oor Suid-Afrika skuif die kern van die hoogdrukgebied noordwaarts terwyl die hoogdrukgebied oor Ethiopië en die Soedan aansienlik versterk word. Fig.11(c) illustreer hierdie verskille besonder goed. Dit is ook duidelik dat die westewind stroming oor Suid-Afrika dramaties toegeneem het. Daar was ook 'n dramatiese versterking in die sonale stroming oor die noord-Afrika Golfstate en hierdie vloei draai skerp noord-oos, om die hoog oor die Soedan, wes oor Tibet en verlaat Asië oor Viëtnam en Sjina. In die suidelike Atlantiese oseaan oos van Argentinië kom ook groot sirkulasie veranderinge voor. As na die wind anomalië van fig.11(c) oor die middelbreedtes van die noordelike halfrond gekyk word is dit duidelik dat die $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalië globale skaal versteurings in die sirkulasieveld veroorsaak.

Veral bemoedigend is die model versterking van die westewinde oor Suid-Afrika wat gepaard gaan met sterk positiewe SOT anomalië oor die Indiese Oseaan. Hierdie resultaat is in ooreenstemming met resultate gerapporteer deur onder andere Van Heerden et al (1988), Taljaard (1981-89), Triegaardt (1988-94) en Tyson (1981-86) wat sirkulasie patrone oor Suid-Afrika tydens droë somermaande ondersoek het.

Fig.13 illustreer die reënval anomalië wat voorkom indien die reënval van die kontrole lopie afgetrek word van die reënval van die $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalië. Die sterkste negatiewe anomalië kom voor oor tropies ekwatoriale Afrika waar anomalië van tot -9 mm per dag gesimuleer is. Soos te wagte kom baie groot positiewe reënval anomalië voor in die omgewing van die positiewe SOT anomalië. Waardes van tot meer as $+30$ mm per dag oor 'n gebied wat vir die kontrole lopie sowat 3 tot 4 mm per dag is. Hierdie waardes is waarskynlik hoogs onrealisties maar word gebruik om die impak van so 'n positiewe anomalië op konvektiewe reënval te illustreer. Dit is ook betekenisvol dat daar 'n gebied van positiewe reënval anomalië weswaarts strek, noord van Madagaskar oor Tanzanië en tot oor die westelike dele van Zambië. Hierdie gebied verdeel die groot negatiewe reënval anomalië oor Zaïre van die gebied oor suidelike Afrika waar betekenisvolle reënvalonderdrukking van tot 3 mm per dag voorkom. Hierdie resultaat is in ooreenstemming met statistiese verbande bevestig deur onder andere Jury en Pathak (1992) asook Landman (1984). Oor noord-Australië asook die hele Suidoos Asië kom betekenisvolle negatiewe reënval anomalië voor. Interessant is ook die negatiewe reënval anomalië oor die westelike Suid-Atlantiese Oseaan wat weswaarts strek tot oor die suide van Brasilië.

Die verklaring vir die voorkoms van hierdie reënval anomalië tydens bo-normale SOT anomalië in die sentrale Indiese Oseaan kom veral duidelik na vore as die divergensies soos vervat in fig.12(a) en 12(b) bestudeer word saam met fig.14. Laasgenoemde is die wind verskil vektore na die kontrole windveld op 900 hPa afgetrek word van die $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalië 900 hPa windveld. Beweging op hierdie vlak is naasteby dieselfde as die beweging oor die oppervlakte veral oor die oseane en laagliggende kontinentale gebiede.

'n Versigtige analise van die verskil vektore van Fig.14 verklaar die verandering in adveksie van waterdamp wat sekerlik een van die hoof oorsake is vir die reënval anomalië wat oor Suid-Afrika en Ekwatoriaal Afrika voorkom. In die Mosambiek kanaal

het die vloei na die noord-weste gedraai en gevolglik het vogtige lug nie suidwaarts oor suidelike-Afrika gepenetreer nie. Oor Ekwatoriaal Afrika is die westelike stroming aansienlik versterk. Hierdie stroming word waarskynlik aangevul deur dalende lug uit die noorde en penetreer ooswaarts tot oor die Kenia kusgebied. Oor die oseaan areas rondom Suid-Afrika is daar min verandering in die oppervlak sirkulasie. Die toename in die westewinde vanaf die kus van Suid-Brasilië ooswaarts tot 20°W is verantwoordelik vir die afname in reënval oor Suid-Brasilië.

As die verskil tussen die normale horisontale divergensie en +5°K SOT anomalie divergensie soos uitgebeeld in fig.12(a) en (b) beskou word, kan verdere verklaring vir die onderdrukking van reënval oor Suid-Afrika gevind word. Sterk divergensie in die bo-troposfeer gaan gepaard met sinoptiese skaal opwaartse beweging in die middel troposfeer. Bokant die +5°K SOT anomalie kom besondere sterk konveksie voor soos duidelik blyk uit die hoë reënval tempo naby die SOT anomalie. Die model atmosfeer raak ontslae van hierdie surplus hitte in die bo-troposfeer deur die intense divergensie noord-oos van Madagaskar (fig.12(b)).

Die sterk divergensie oor sentraal Afrika wat in die kontrole voorkom (fig.12(a)) is presies, soos wat verwag kan word, in 'n gebied van intense konveksie en latente hitte- vrystelling in die konvektiewe wolke wat normaalweg oor die Zaire en Kongo riviervallei voorkom. In die kontrole lopie kom hierdie divergensie voor bokant 'n gebied waar tot 12 mm reënval per dag gesimuleer word. Die ontstaan van divergente velde bo 'n warm kern tropiese laag word beskrywe deur Triegaardt et al (1991) in sy analise van die Februarie 1988 OVS Oorstromings. In die +5°K SOT anomalie divergensie veld is dit opmerklik dat die kern van die divergente veld oor sentraal Afrika amper 10° suidwaarts geskuif het. Die tong van positiewe divergensie wat in die kontrole lopie suidwaarts oor Suid-Afrika strek, het ook aansienlik verswak sodat in die +5°K SOT anomalie divergensie dataveld daar weinig divergensie op 350 hPa oor Suid-Afrika teenwoordig is. 'n Afname in die suidwaartse transport van waterdamp oor suidelike Afrika tesame met 'n drastiese afname in die 350 hPa divergensie en daarmee saam waarskynlik baie min sinoptiese skaal mid-troposferiese opwaartse beweging, is die hoofsaaklike oorsake van die reënval onderdrukking oor Suid- Afrika.

Daar bestaan geen twyfel dat wat oor Suid-Afrika gebeur tydens die bestaan van groot positiewe SOT anomalie in die Indiese oseaan die direkte gevolg is van 'n nie-liniêre versteuring van veral die bo-troposferiese sirkulasie. Direkte impakte van die SST anomalie is duidelik waarneembaar in die omgewing noordoos van Madagaskar en oor Ekwatoriaal Afrika. Oor Suid-Afrika word die suidwaartse transport van vog afgesny en die afname van bolug divergensie, veroorsaak deur die toename in die 350 hPa westewind, het tot gevolg dat konvektiewe reënval oor Suid-Afrika onderdruk word. Dit vind plaas ten spyte van die feit dat die divergensie velde oor die suidelike Atlantiese- en Indiese Oseane om Suid-Afrika grotendeels ongesteund gelaat word.

Gedurende Februarie met die +5°K SOT anomalie impliseer hierdie modelstudie dat die reënval vermindering oor Suid-Afrika hoofsaaklik veroorsaak word deur waterdamp wat noord-weswaarts oor Mosambiek en Zambië beweeg en effektief van Suider Afrika afgesny word. Dit is as gevolg van 'n versteuring in die tropiese

oppervlak sirkulasie. Hiermee gaan saam die nie-liniêre pertubasie (versterking) van die westewind oor die land wat op sy beurt nadelig is vir reënval. Hierdie resultate ondersteun die bewerings oor mid-somer tropiese sirkulasie en reënval deur onder andere van Heerden et al (1988).

4.3.2 CSIRO-4 Eksperiment 2:

Model Voorstelling van Sirkulasie met Warm Fase ENSO Toestande oor die Tropiese Stille Oseaan (SO).

Warm fase ENSO toestande word in die model geforseer deur $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie oor die ekwatoriale SO soos in fig.15 aangedui. Fig.15 verskaf ook die 350 hPa wind anomalie, d.w.s. die $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie model simulatie minus die kontrole vir Desember. In fig.15 word die versterking van die 350 hPa westewind wat oor Suid-Afrika, Sentraal Afrika asook oor sentraal Australië gemoduleer word, duidelik geïllustreer. Let op die duidelike in en uitmondings van die 350 hPa windanomalie weerskante van Suid-Afrika.

Fig.16 illustreer die waargenome 200 hPa wind anomalie vir Desember 1991 soos bereken deur die Climate Analysis Center (Washington). Alhoewel die wind anomalie van fig.11 nie gemoduleer is vir enige spesifieke Desembermaand nie, is die vergelyking met fig.16 tog van belang. Desember 1991 is gekenmerk deur die laaste groot warm fase ENSO. Dit was ook die somer wat stellig die droogste op rekord oor die Hoëveld van Suid-Afrika was. Daar het egter wel ook bo-normale reënval gedurende Desember 1991 voorgekom oor groot dele van die land. In fig.15 word die bestaan van sterk westewind anomalie oor Suid-Afrika sowel as oor Australië bevestig. Oor beide gebiede was hierdie westewind anomalie normaalweg verder noordwaarts as wat gesimuleer word deur die model ('n Eienskap van die CSIRO-4 model is dat die normale hoogdrukstelsels oos en wes van Suid-Afrika te ver suid gesimuleer word). Die sterk antisiklonale anomalie vloei oor Suid-Amerika asook oor die Suid-Atlantiese Oseaan van fig.16 en word ook in fig.15 waargeneem. Die golflengte en fase verskil ietwat.

Die model het gesimuleer dat die sentrale en westelike dele van Suid-Afrika onder-normale reënval sou hê en dat bo-normale reënval oor die oostelike dele sou voorkom (fig.17). Daar was wel 'n doë kol oor die sentrale dele van Suid-Afrika tydens Desember 1991.

Die rede waarom die model bo-normale reënval oor die oostelike dele van Suid-Afrika simuleer spruit voort uit die oppervlak anomalie veld van fig.18. Let op dat die noord/suid drukgradient aansienlik verstewig word in fig.18 maar dat die bo-normale lugdrukke wat suidoos van die land voorkom aanlandige vloei oor die ooskus gehandhaaf het. As laasgenoemde vergelyk word met fig.19 waar die oppervlak lugdruk anomalie vir Desember 1991 (CAC Analise, 1991) geïllustreer word, is dit duidelik dat die analise ook sterk negatiewe anomalie oor die suidelike Atlantiese- en Indiese Oseane uitbeeld. Die positiewe anomalie suid van Suid-Afrika en Australië word nie deur die model bereken nie. Daar moet in ag geneem word dat die model simulatie nie vir Desember 1991 geldig is nie. Wat egter belangrik is, is dat die model 'n groot toename in die noord/suid drukgradiënt simuleer oor groot dele van die suidelike oseane. Die gevolglike toename in die oppervlak westewind stroming en waarskynlik ook die toename in die middelbreedte versteurings, is in ooreenstemming met die waargenome toename in frontale stelsels tydens warm fase ENSO

gebeurtenisse. (Van Heerden et al (1988), Schulze (1989) en Jury en Pathack (1993))

Fig.20(a) (Kontrole) en fig.20(b) (+5°K SOT anomalie) illustreer soos in die geval van fig.12(a) en 12(b) die horisontale divergensie op die 350 hPa vlak. Soos verwag kan die sterk divergensies bokant die ekwatoriale SOT anomalie duidelik in fig.20(b) gesien word. Oor Suid-Afrika is die prentjie nie so duidelik nie. Die divergente en konvergente areas wat saamgaan met die uit- en inmonding van die westewind oor Suid-Afrika is duidelik in fig.20(b). In vergelyking met fig.20(a) wil dit wel voorkom asof daar 'n suidwaartse skuif van die divergensie patroon was. Die konvergente gebied wes van die land het ooswaarts oor die weskus uitgebrei. Hierdie patroon is ook te bespeur in fig.12(b) sowel as die groot gebied van positiewe divergensie wat voorkom naby 50°S en 20°O. In paragraaf 3.2 word die resultate van Triegaardt en Landman (1994) opgesom. Een van die mees interessante gevalle wat hulle bespreek is die geval met 'n trog aan die weskus en divergensie stroomaf wat bo-normale reënval veroorsaak ten spyte van ander negatiewe druk en gpm anomalieë om Suid-Afrika.

Die resultate van Eksperiment 2 bevestig weereens die projekspan se mening dat, wat oor Suid-Afrika gebeur tydens ENSO warm fase gebeurtenisse, nie sondermeer direk gekoppel kan word aan die sekondêre sirkulasies wat oor die groot positiewe SST ontstaan nie. Die oorsake van reënval onderdrukking oor Suid-Afrika is meer subtiel vervat in die pertubasies wat wêreldwyd ontstaan en in besonder die versteuring van die middelbreedte stelsels.

4.3.3 CSIRO-4. Eksperiment 3.

Indiese Oseaan SOT 'Dipool' Eksperiment.

Die resultate van Eksperiment 1 het die grondslag gevorm van 'n tentatiewe verduideliking van die sekondêre sirkulasie wat ontstaan as gevolg van positiewe SST anomalie in die Indiese Oseaan noord-oos van Madagaskar deur Pathack et al (1993). Die projekspan is van mening dat die verduideliking wat aangebied word miskien 'n te groot vereenvoudiging is van wat in die atmosfeer gebeur. Jury et al (1991,92,93+ - persoonlike kommunikasie) het aangetoon dat wanneer daar positiewe SOT anomalie noord-oos van Madagaskar voorkom, daar dikwels negatiewe SOT anomalie oor die Indiese oseaan suid van Madagaskar voorkom. In fig.21 word die areas van hierdie anomalie soos ooreengekom met dr Jury aangetoon. Drie model eksperimente was deurgevoer nl:

- (i) 'n $+2^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie in die kern van die gebied noord-oos van Madagaskar en 'n $+1^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie om die randgebied. In die suide 'n -2°K SOT anomalie in die kern en 'n -1°K SOT anomalie om die rand soos aangetoon in fig.21.
- (ii) 'n $+4^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie in die kern van die gebied noord-oos van Madagaskar en 'n $+2^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie om die randgebied. In die suide 'n -4°K SOT anomalie in die kern en 'n -2°K SOT anomalie om die rand.
- (iii) 'n $+6^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie in die kern van die gebied noord-oos van Madagaskar en 'n $+3^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie om die randgebied. In die suide 'n -6°K SOT anomalie in die kern en 'n -3°K SOT anomalie om die rand.

In fig. 21 (a),(b) en (c) word die 900 hPa windvektor anomalie vir onderskeidelik die (i) die 2°K SOT anomalie, (ii) die 4°K SOT anomalie en (iii) die 6°K SOT anomalie "dipool" eksperimente vir Februarie gegee. Dit is duidelik dat vir die 2°K SOT anomalie "dipool" eksperiment daar weinig afgewyk word van die kontrole sirkulasie - veral om suidelike Afrika. In die 4°K en 6°K SOT anomalie "dipool" eksperimente kom toenemend groter sirkulasie afwykings voor. In vergelyking met fig.14 van Eksperiment 1 is dit duidelik dat die kern van die anomalie laagdruk oos van Madagaskar en Argentinië op dieselfde plekke vorm, maar meer intens in die "dipool"-geval (4°K en 6°K SOT anomalie). Wat vir Suid-Afrika se reënval van belang is, is dat in laasgenoemde twee gevalle (Fig.21 (b) en (c)) daar 'n verstewiging van die siklonale sirkulasie oor die Mosambiek Kanaal voorkom en dat die maritieme lug in hierdie suidoostelike stroming noordwaarts oor die kus van Mosambiek beweeg en dan ooswaarts swaai noord van Madagaskar. Suid-Afrika word dus effektief afgesny van hierdie vogtige maritieme lug.

In Fig. 22(a), (b) en (c) word die 350 hPa windvektor anomalie vir die 2°K , die 4°K en die 6°K SOT anomalie "dipool" eksperiment vir Februarie geïllustreer. Die horisontale snelheids divergensie (in $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$) op 350 hPa word gestip oor die windvektore. In fig.22(a) (2°K SOT anomalie dipool) moet daar gelet word dat daar

reeds tekens is van 'n toename in die westewind oor Suid-Afrika. Daar ontwikkel ook siklonale anomalie vloei suidoos van die land asook oor Arabië. Suidoos van die land kom daar ook 'n konvergensie gebied voor. Oor die Oseaan noord van Madagaskar is daar sterk divergensie wat weswaarts strek oor tropiese suidelike Afrika. Oor Suid-Afrika bestaan daar nog steeds positiewe divergensie. Let ook op die sterk konvergensie gebied oor Burma.

In fig.22(b) en (c) (4°K en 6°K SOT anomalie dipole) kom daar dramatiese verandering in die 350 hPa windveld voor, soos voorgestel in die windvektor anomalie van fig.21(b) en (c). Let op die toenemende versterking van die westewind sirkulasie oor Suid-Afrika en hoe die divergente gebied oor die land afneem namate die konvergente gebied op 350 hPa ooswaarts beweeg. Die konvergente gebied suidoos van die land neem ook aansienlik toe. Dit is duidelik dat die sekondêre sirkulasie uit die groot divergente gebied noord van Madagaskar hoofsaaklik noord en suidwaarts strek na die konvergente areas oor Burma en suidoos van Suid-Afrika. Dit is ook redelik seker dat die droër gesubsidieerde lug wat Suid-Afrika uit die weste penetreer oorsprong vind in die Atlantiese Oseaan bolug. Min van die weswaarts bewegende sekondêre bolugsirkulasie, wat ontstaan bo die groot Indiese Oseaan konveksiegebied, bereik Suid-Afrika direk.

Fig. 23(a), (b) en (c) is die reënval anomalie vir Februarie vir die 2°K, 4°K en 6°K SOT anomalie "dipool" eksperimente (i, ii, en iii). Dit is ooglopend hoe die negatiewe reënval anomalie oor Suid-Afrika toeneem namate die dipool SST anomalie waardes toeneem. In fig.23(c) kan die droë gordel wat vanaf Ekwatoriaal Afrika suidwaarts tot oor Suid-Afrika strek duidelik waargeneem word. Let ook die negatiewe anomalie oor Argentinië. Die sterk negatiewe anomalie oor Maleisië strek ook suid en suidooswaarts tot oor Australië.

Holton (1991) toon aan dat die horisontale divergensie van sogenaamde Q-vektor direk eweredig gestel kan word aan die vertikale luginbeweging.

$$w \propto \bar{\nabla} \cdot \bar{Q} \quad \text{met} \quad \bar{Q} = - \frac{R}{p} \left[\frac{\partial \bar{V}_g}{\partial x} \cdot \bar{\nabla} T, \frac{\partial \bar{V}_g}{\partial y} \cdot \bar{\nabla} T \right]$$

waar **R** = Die Gaskonstante vir droë lug, **P** die lugdruk, **V_g** die geostrofiese wind en **T** die temperatuur op 'n spesifieke drukvlak.

Die geostrofiese wind is benader deur die 650 hPa model windvektore en verder is die model 650 hPa temperature gebruik om die horisontale divergensie van die Q vektor te bereken. In Figuur 24 word die Q-vektor divergensieveld, vir die 6°K SOT anomalie "dipool" eksperiment, saam met die 350 hPa wind-vektor anomalie veld vir Februarie voorgestel. Fig.25 word die windveld oor Afrika en omgewing op 'n drie dimensionele wyse voorgestel vir die 6°K SOT anomalie "dipool" eksperiment. Op die boonste en onderste sketse van fig.25 word die hoofstroom windbeweging op onderskeidelik die 350- en 900 hPa vlakke aangedui. Vertikale beweging soos afgelei uit die divergensie van die Q-vektor asook die horisontale snelheid divergensie op

350 hPa word met dik swart pyle aangedui op die middelste vlak van fig.25. Let ook op dat die dunner lyne, op die middelste skets van fig.25 die sekondêre horisontale sirkulasie van die 350- en 900 hPa vlakke onderskeidelik voorstel. Hierdie sekondêre horisontale sirkulasie is konvergent/divergent onder/bokant kerns met sterk opwaartse beweging. Teenoorgesteld vir afwaartse beweging is die vloei divergent/konvergent onder/bokant kerns van sterk afwaartse beweging.

Hierdie sekondêre sirkulasie is 'n vereenvoudiging van die model berekende sekondêre sirkulasies wat saamgaan met die voorkoms van 'n groot SST dipool patroon oos van Afrika. Die voorstelling mag aansienlik verskil van die voorstellings deur ander navorsers. Die voorstelling van fig.25 illustreer die oorsprong van subsidensie oor Suid-Afrika. As gelet word op die 350 hPa wind vektor anomalie veld van fig.24 is dit duidelik dat oor sentraal Afrika min versteuring van die 350 hPa windveld voorgekom het. Oor suidelike Afrika het die sonale westewind aansienlik toegeneem. Die bydrae tot die subsidensie oor suidelike Afrika vanaf die groot konvektiewe kern noordoos van Madagaskar word gevoer deur sirkulasie bo die Atlantiese Oseaan. Wat oor Suid-Afrika gebeur is as gevolg van die versteuring in die westewind sirkulasie en is dus 'n nie-liniêre reaksie op die groot konvektiewe versteurings in die Indiese Oseaan.

Die voorstelling wat in fig.25 gemaak word is 'n vereenvoudiging van die hoogs komplekse model voorstelling wat op sy beurt die werklikheid naboots. ***Selfs 'n verplasing van 'n paar honderd kilometer in die SOT anomalie kan veroorsaak dat die sirkulasie oor suidelike Afrika aansienlik verander.*** Die CSIRO-4 model is 'n klimaatmodel en gee dus nie 'n getroue weergawe van die dag tot dag beweging en ontwikkeling van individuele sinoptiese skaal weerstelsels nie.

4.3.4 Sinopsis van Eksperimente 1, 2 en 3.

Die model uitvoere wat bestudeer is in eksperimente 1, 2 en 3 het sekere faktore in die algemene sirkulasie se reaksie op grootskaalse SOT anomalie in die Indiese en Stille Oseane sterk na vore gebring. Die SST anomalie wat in die model lopies geforseer is, was - alhoewel oordrewe - nogtans soortgelyk aan wat voorkom tydens die warm fase ENSO. Analise van al hierdie model uitvoere, in hoofsaak rakende die invloed op sirkulasie oor Suid-Afrika, bring die volgende vier waarnemings (gevolgtrekkings) duidelik na vore:

- Daar is 'n toename in westewind sirkulasie oor Suid-Afrika met 'n gevolglike ooswaartse uitbreiding van subsidensie.
- Die oppervlak sirkulasie oor die Mosambiek Kanaal ontvang 'n suidelike komponent met die gevolg dat baie minder van hierdie vogtige maritieme lug anti-siklonaal kan draai oor Mosambiek om uiteindelik suidwaarts oor Suid-Afrika te penetreer.
- Sinoptiese skaal atmosferiese versteurings kom wêreldwyd voor in die model sirkulasie in reaksie op die sterk konvektiewe- en temperatuur

pertubasie wat ontstaan bokant die positiewe SOT anomalië.

- Die sirkulasie veranderings wat oor Suid-Afrika intree is 'n nie liniêre gevolg van die primêre konvektiewe versteuring en daarom baie minder voorspelbaar.

4.3.5 CSIRO-9. Eksperiment 4.

Gedurende die periode Januarie tot April 1995 was mnr CJ deW Rautenbach die gas van die CSIRO (Division of Atmospheric Research, DAR) te Melbourne, Australië. Hy het die geleentheid gebruik vir deeglike opleiding op die CSIRO-9 ASM. Hierdie 9-vlak model word deur baie vooraanstaande navorsers beskou as die beste beskikbaar vir klimaatsimulering oor die Suidelike Halfrond, en is ook die enigste model van die omvang wat in die suidelike halfrond ontwikkel is. Mnr Rautenbach het in noue samewerking met dr Hal Gordon (onwerper van die CSIRO modelle) 'n nuwe hibriede vertikale koördinaatstelsel vir die model ontwikkel. Afgesien van hierdie navorsingswerk het mnr Rautenbach geleentheid gehad om van die eksperimente wat op die CSIRO-4 AGM uitgevoer was te verifieer met die meer gesofistikeerde CSIRO-9 ASM.

Die belangrikste hiervan was die verifikasie van **Eksperiment 1**, maar in hierdie geval met 'n meer realistiese SOT anomalie van $+2^{\circ}\text{K}$ in die Indiese oseaan noord-oos van Madagaskar. Fig.26(a) illustreer die 192.7 hPa wind anomalie vir Februarie. Fig.26(b) doen dieselfde vir die 982.9 hPa (oppervlaksirkulasie). Uit hierdie model klimaatsimulasies is dit duidelik dat die westewinde oor veral die Atlantiese oseaan suid van 30°S versterk. 'n Anomale trog in die bolug suid-wes van Suid-Afrika word ook gesimuleer. Die suidwaartse anomale beweging op die 193 hPa drukvlak vanaf tropiese Afrika tot oor die suid-oostelike dele van Suid-Afrika word bevestig. Fig.26(b) gee die windveld anomalie op die 983 hPa drukvlak. Die toename in die suidelike komponent van die wind in die Mosambiek kanaal word ook bevestig. Fig.26(c) illustreer die mengverhouding (massa waterdamp per massa lug) anomalie. Hierdie figuur bevestig duidelik die anomale vloed van waterdamp vanaf die suidelike Indiese oseaan en suid-oostelike dele van Suid-Afrika oor die Mosambiek kanaal noordwaarts.

Die essensiële gevolgtrekkings van paragraaf 4.3.4 word dus bevestig. Fig.27 illustreer die reënvalanomalieë soos bereken vir Februarie deur die CSIRO-9 ASM. Daar is 'n algemene afname in reënval oor die noord oostelike dele van Suid-Afrika van tot 2mm per dag (60mm per maand). Daar kom wel klein positiewe reënval anomalieë oor die suidwestelike dele van die land voor. Min betekenis word hieraan geheg aangesien die model reënvalwaardes van 0mm tot +1mm hier simuleer. Dit is wel moontlik dat die model negatiewe reënval anomalieë te ver ooswaarts skuif in vergelyking met die waargenome gevalle terwyl die positiewe anomalieë gekoppel kan word aan die noordwaartse uitbreiding van die middelbreedte westewindstelsels en groter frontale aktiwiteite soos deur fig.26 geïllustreer word.

Die CSIRO(DAR) het die CSIRO-9 ASM onder lisensie aan UP beskikbaar gestel. Die basis vir verdere gesamentlike navorsing is nou gelê. Spesiale modellopieë op die CSIRO superrekenaars is in die vooruitsig gestel terwyl UP belowe het om met die navorsing oor plaaslike impakte en modelaspekte voort te gaan.

4.3.6 Ander Modelle.

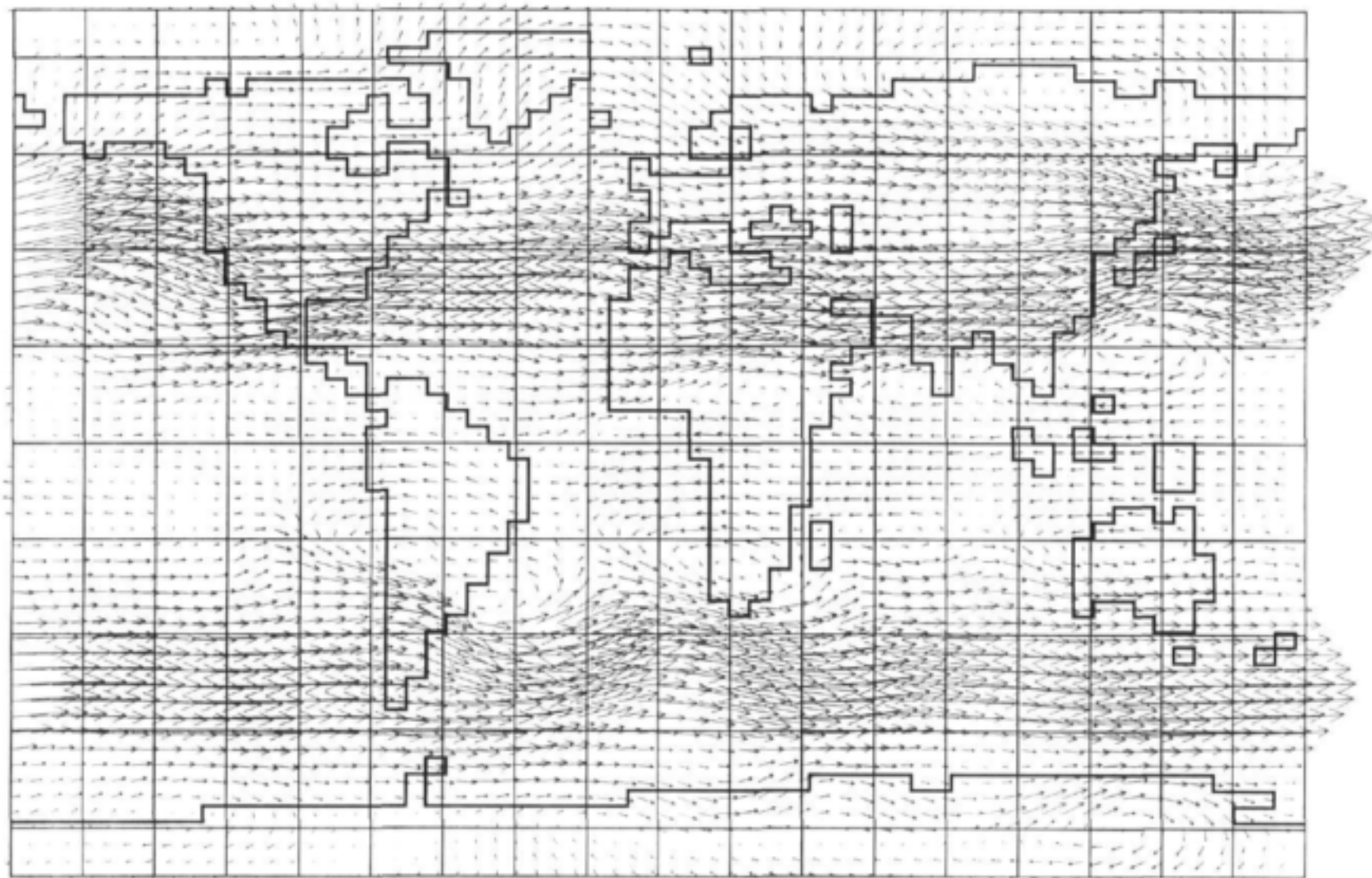
4.3.6.1 Globale Algemene Sirkulasie Prognostiese Modelle.

Gedurende 1992 en 1993 was aansienlike navorsing uitgedoen met behulp van die Britse Algemene Sirkulasie Model (BASM). Hierdie model is 'n 15-vlak globale sirkulasie model wat operasioneel deur die Britse Weerdiens gebruik was in 'n venster formaat. Weerkundiges van die SAWB het hierdie model aangepas vir globale formaat met 192 roosterpunte in die wes-oos en 121 roosterpunte in die noord-suid rigtings. Net een volledige datastel was beskikbaar en wel vir die periode waartydens die September 1987 Natal Vloed voorgekom het. Die model was gebruik om vas te stel tot watter mate SOT anomalie rondom Suid-Afrika sirkulasie stelsels en reënval oor Suid-Afrika beïnvloed op die tydskaal van 'n paar dae. Die invloed van die Suid-Afrikaanse orografie asook grondvog inhoud was bestudeer. Resultate kan as volg opgesom word:

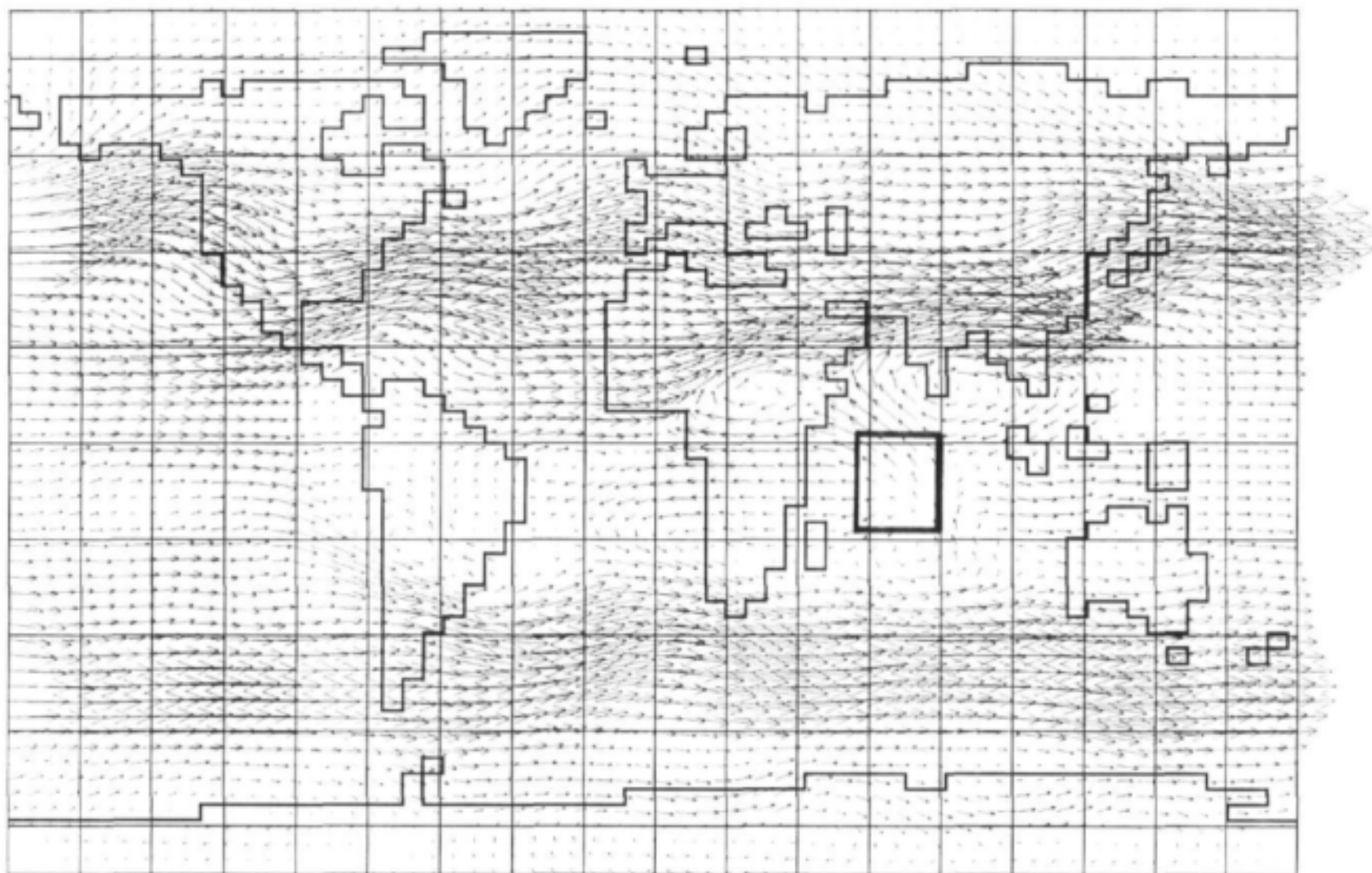
- 'n Toename in die SOT naby Suid-Afrika verander wel die intensiteit van die weerstelsels maar in 'n mindere mate as 'n verandering in die orografie.
- Daar vind 'n toename in die reënval van dinamiese oorsprong plaas met verhoogde SOT suid-oos van die land.
- Die Suid-Afrikaanse plato speel 'n deurslaggewende rol in die ontstaan van afsny laagdruk stelsels oor die land sowel as die beweging van sterk hoëdruk stelsels om die land.
- In die afwesigheid van die Suid-Afrikaanse orografie ontwikkel die sterk bolug divergensie wat normaalweg met swaar reëns oor die ooskus gepaard gaan glad nie.
- Min verandering kom voor in die sirkulasie of reënval wanneer die grondvog inhoud benede 80% oor Suid-Afrika gestel word.
- Wanneer die grondvog inhoud op 100% gestel word, word besondere hoë reënval gesimuleer en 'n diep laagdrukstelsel ontwikkel oor Natal.
- Wanneer al die areas wat reën ontvang het gedurende die periode 23-25 September 1987 verander word na "nat" areas word hoë positiewe reënval anomalie waargeneem sowel as 'n afname in vortisiteit benede 500 hPa oor Natal.
- Die rol van grondvog is nie van deurslaggewende belang in die ontwikkeling van afsny laagdruk stelsels nie.

Ontwikkeling by die SAWB rondom die sogenaamde COLA Model sowel as die

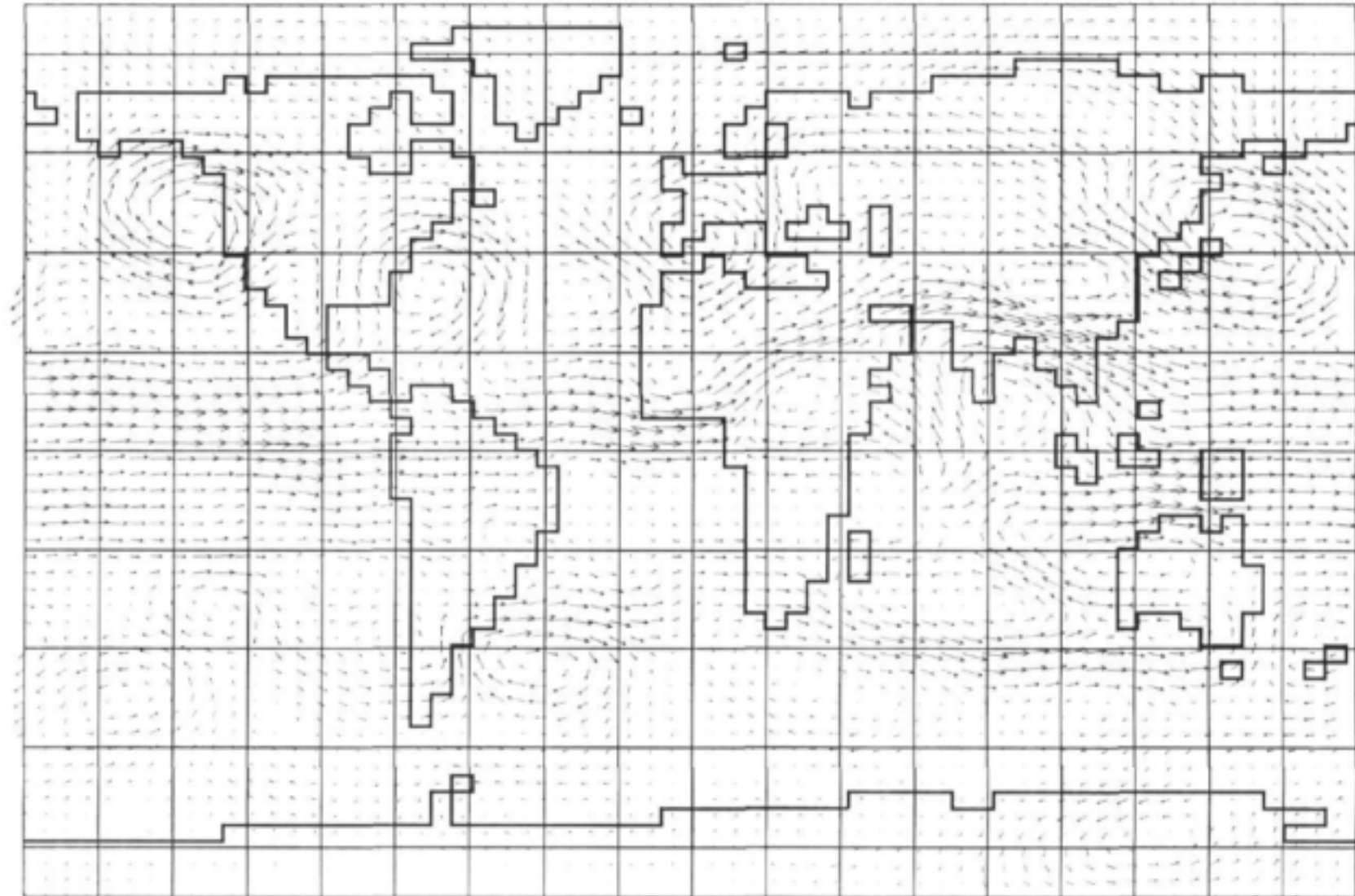
moontlikheid dat die Mesoskaal Model wat deur die "Climatology Research Group (WITS)" besit word vir hierdie tipe impak studies beskikbaar gestel kan word, het tot gevolg dat belangstelling in die BASM gekwyn het. Geen verdere model invoervelde is tans beskikbaar nie.



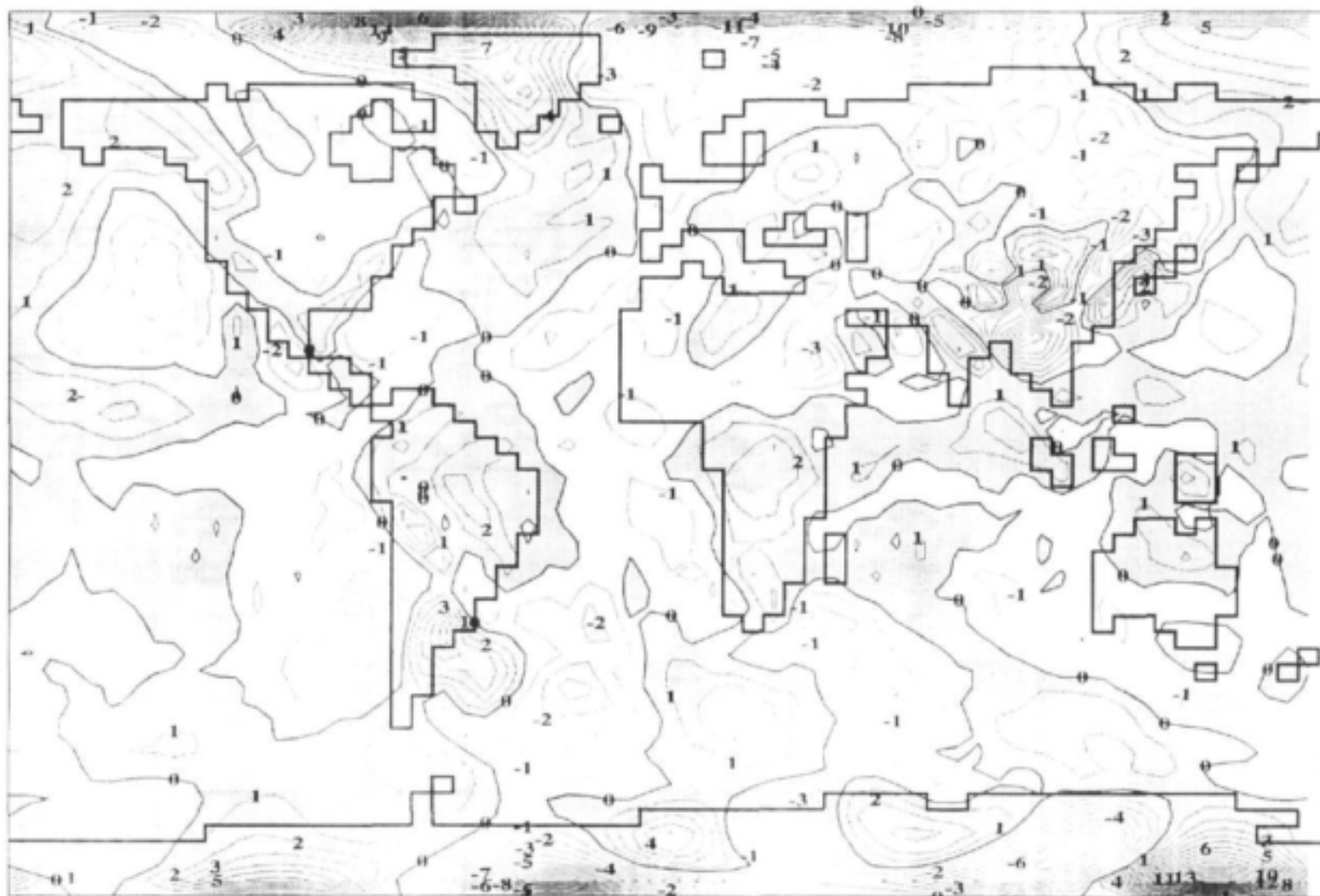
Figuur 11(a). Model klimaat windvektore (kontrole lopie) vir die 350 hPa drukvlak vir Februarie soos bereken uit die CSIRO-4 model. Die lengte van die pyl is direk eweredig aan die grootte van die windvektor.



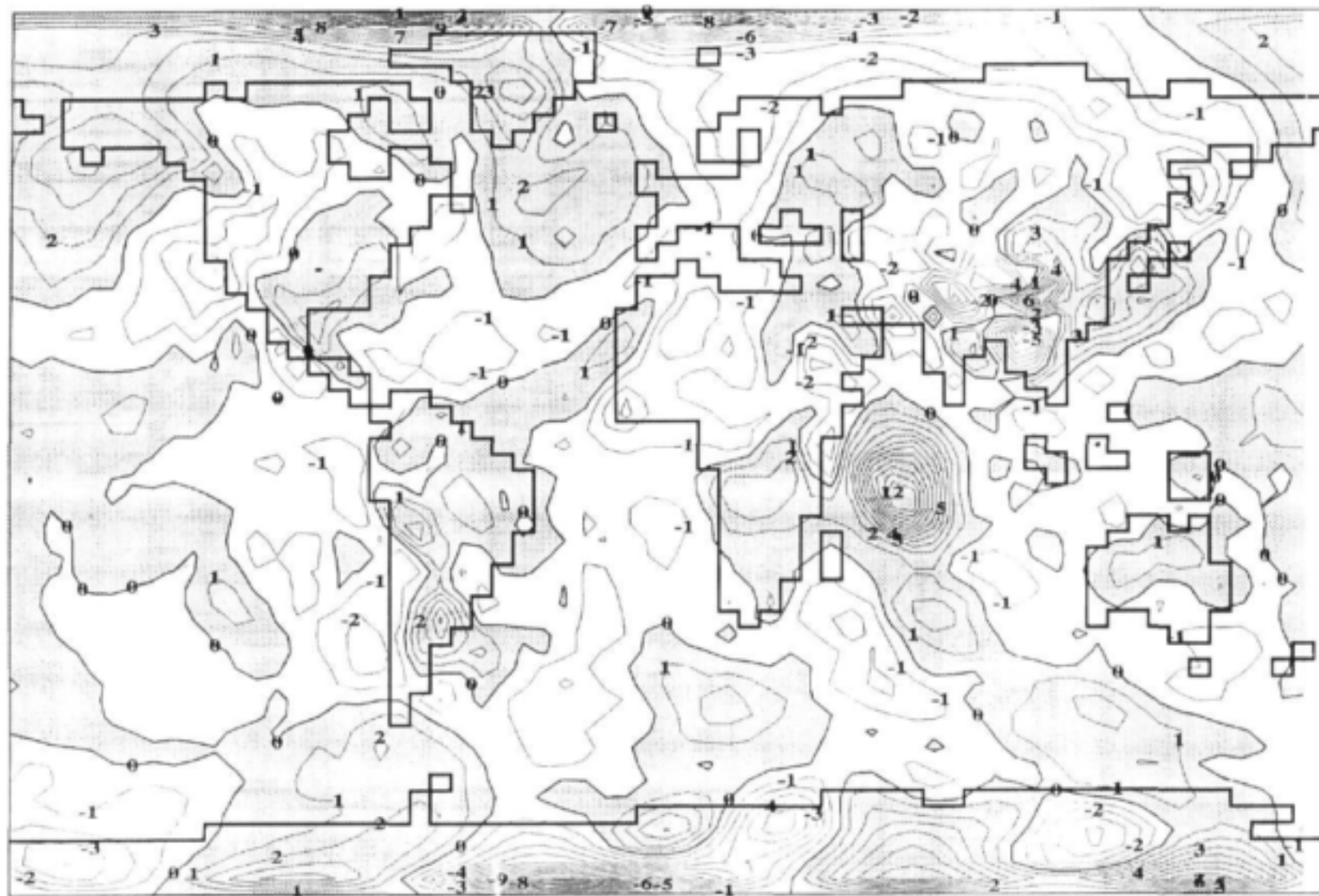
Figuur 11(b). Soos fig.11(a) maar uit die CSIRO-4 model met 'n $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie noord-oos van Madagaskar. Die areas met 'n $+2^{\circ}\text{K}$ en $+5^{\circ}\text{K}$ anomalie is ingeteken met dik swart lyne (Eksperiment 1).



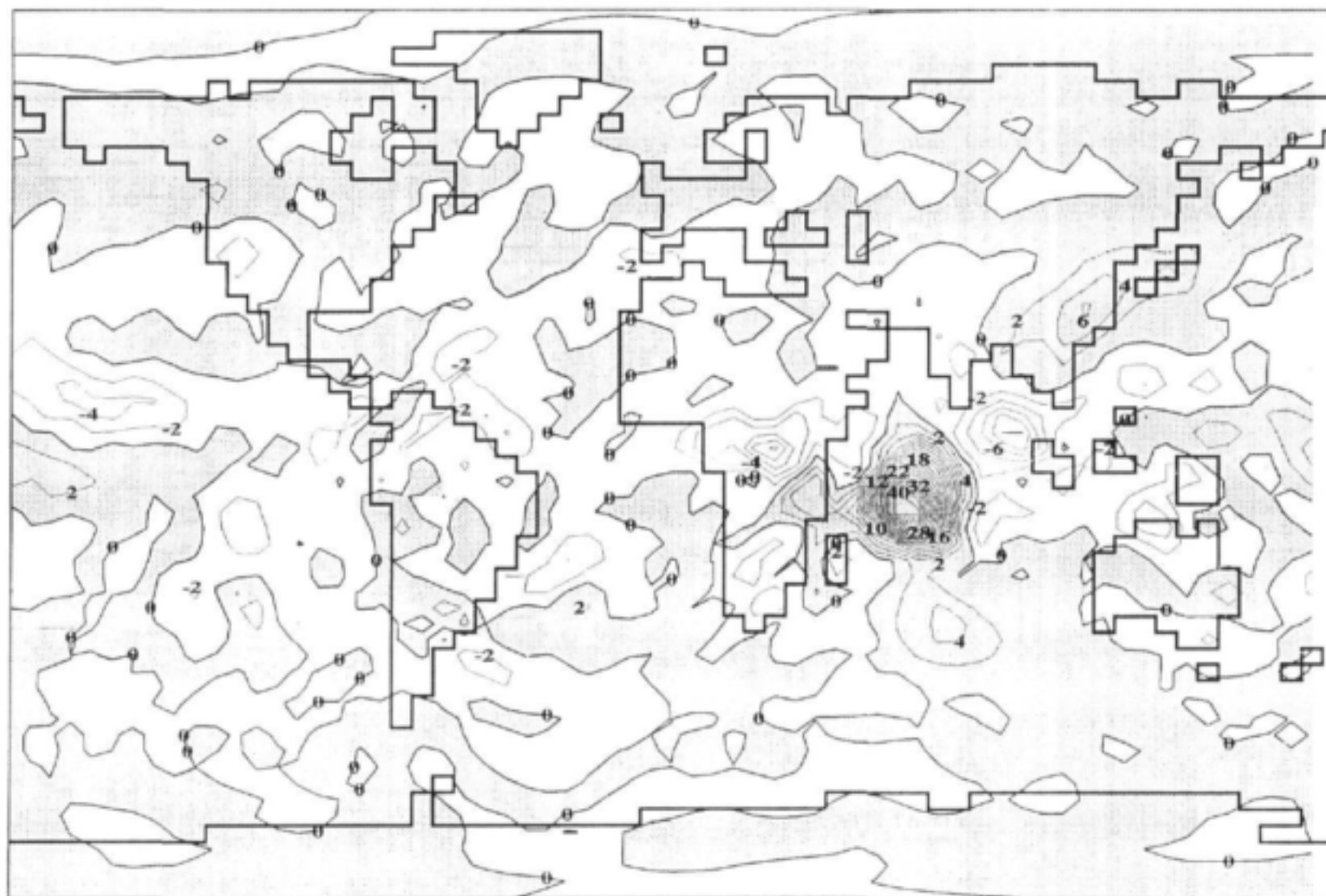
Figuur 11(c). Berekende 350 hPa drukvlak wind anomalië vir Februarie. Elke anomalie is die vektorverskil tussen die velde van fig.11(b) en fig.11(a) oftewel " $+5^{\circ}\text{K}$ SOT lopie minus die kontrole lopie" (Eksperiment 1).



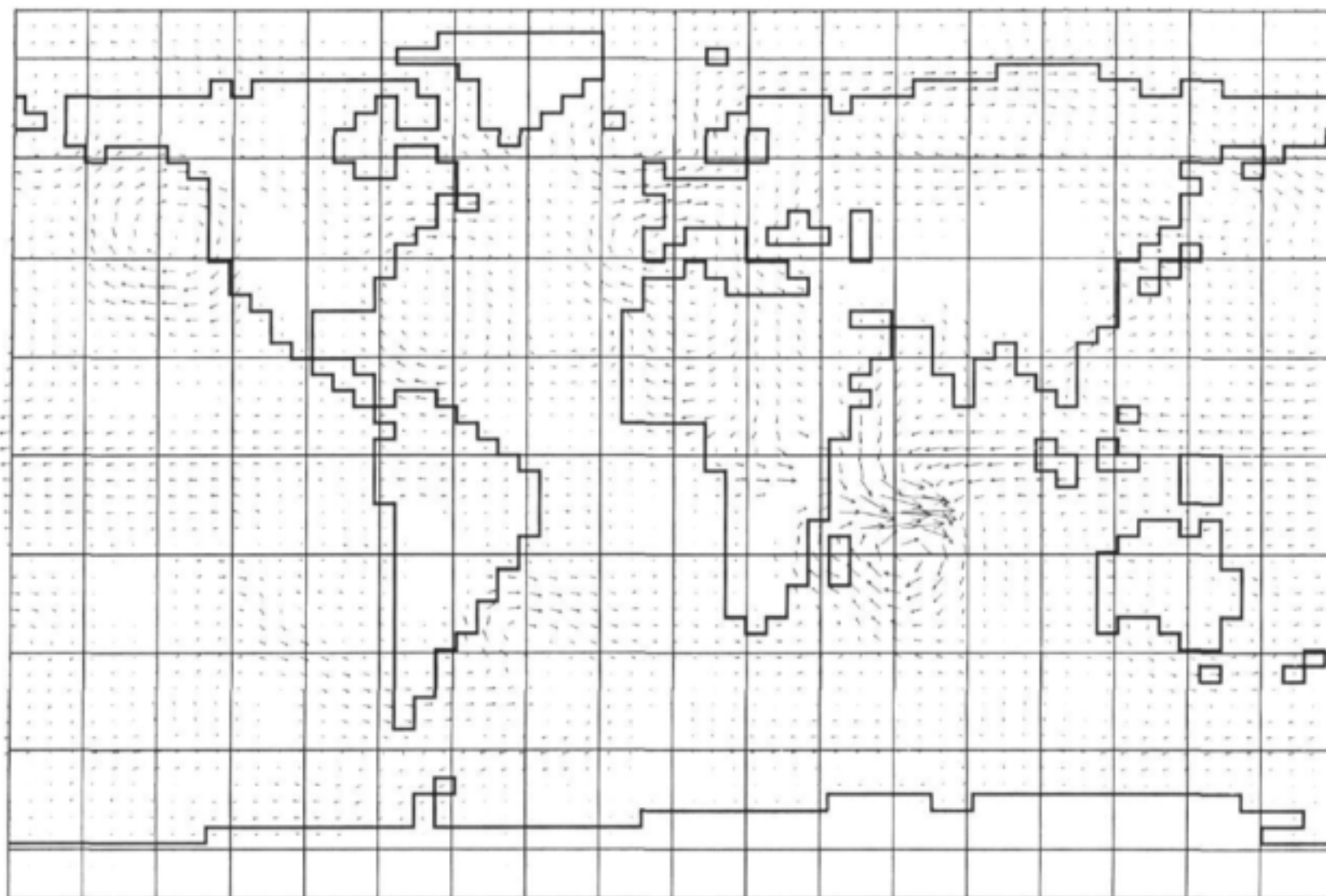
Figuur 12(a). Horizontale snelheids divergensie (1×10^{-6} m/s) vir die 350 hPa drukvlak en Februarie CSIRO-4 model kontrolelopie (Eksperiment 1).



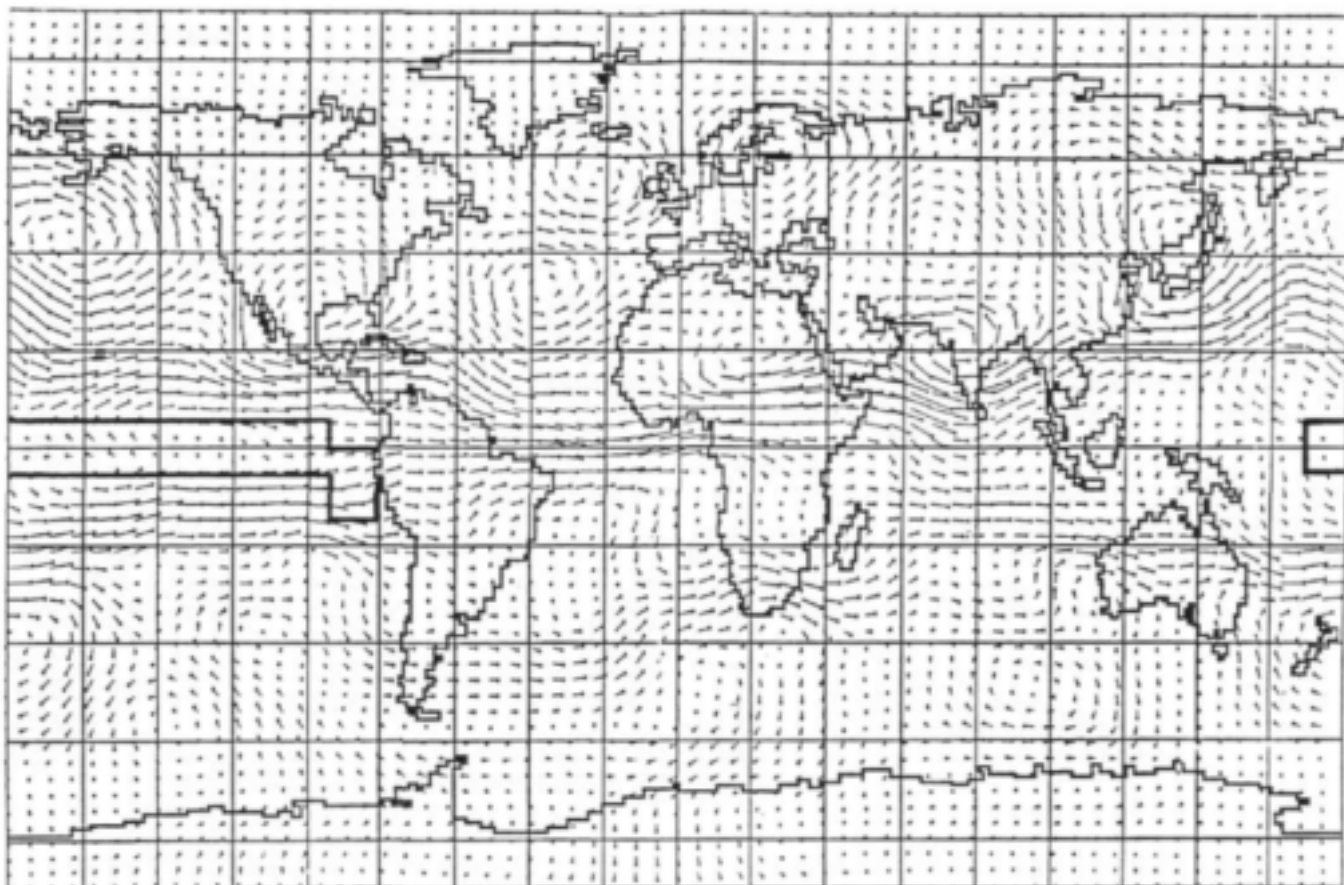
Figuur 12(b). Soos fig.12(a) maar vir die +5°K SOT anomalie CSIRO-4 model lopie (Eksperiment 1).



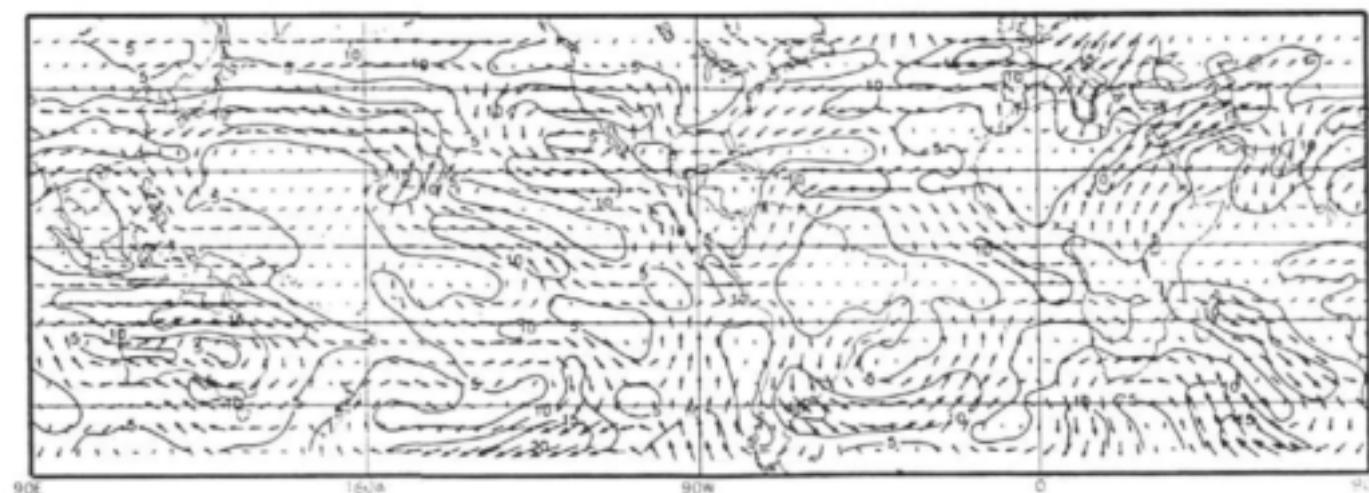
Figuur 13. CSIRO-4 model berekende reënval anomalie in mm/dag. Die anomalie = $+5^{\circ}\text{K}$ SOT lopie reënval minus die reënval van die kontrole lopie (Eksperiment 1).



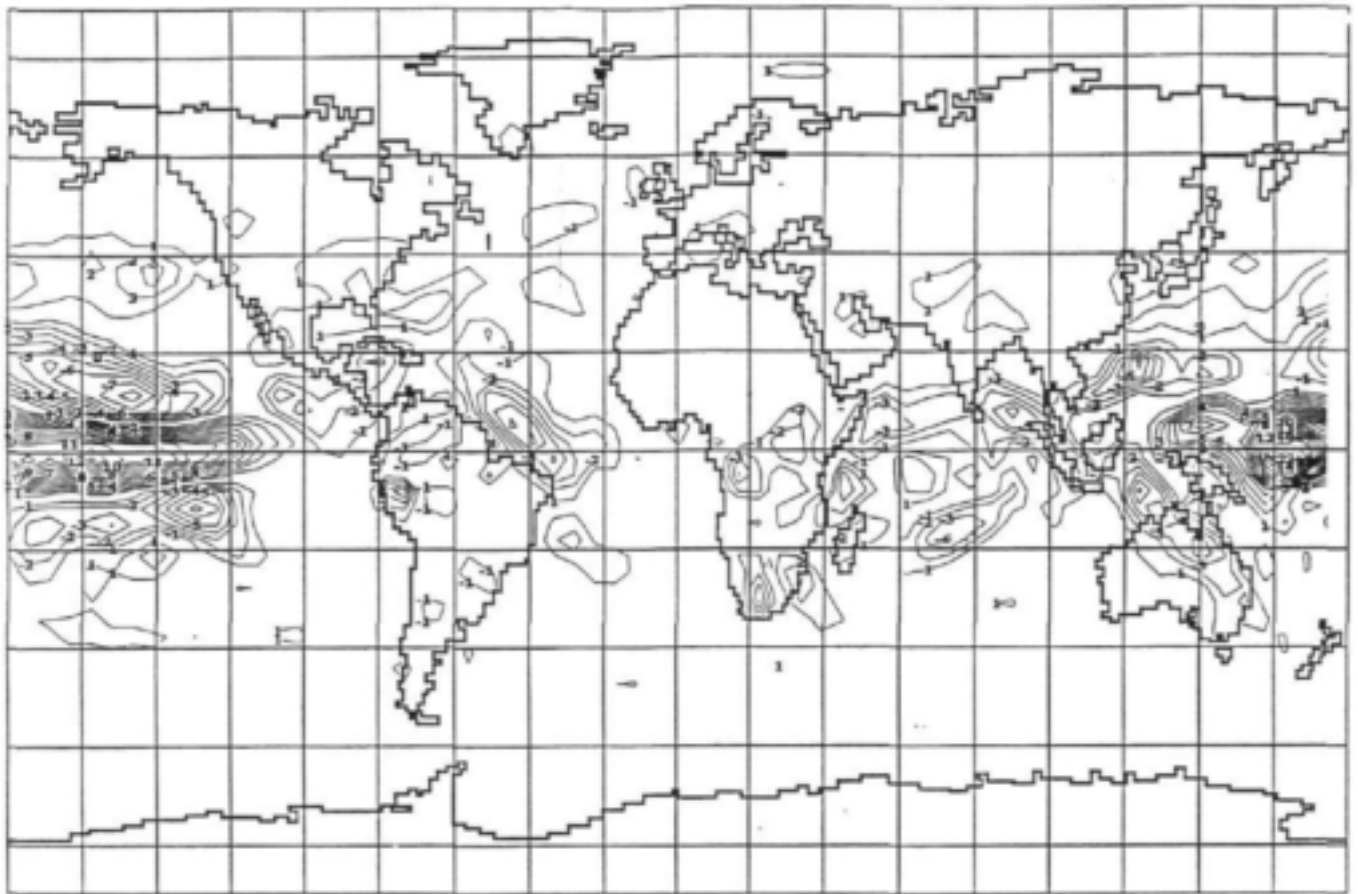
Figuur 14. Soos fig.11(c) maar vir wind vektor anomalië op die 900 hPa drukvlak (Eksperiment 1).



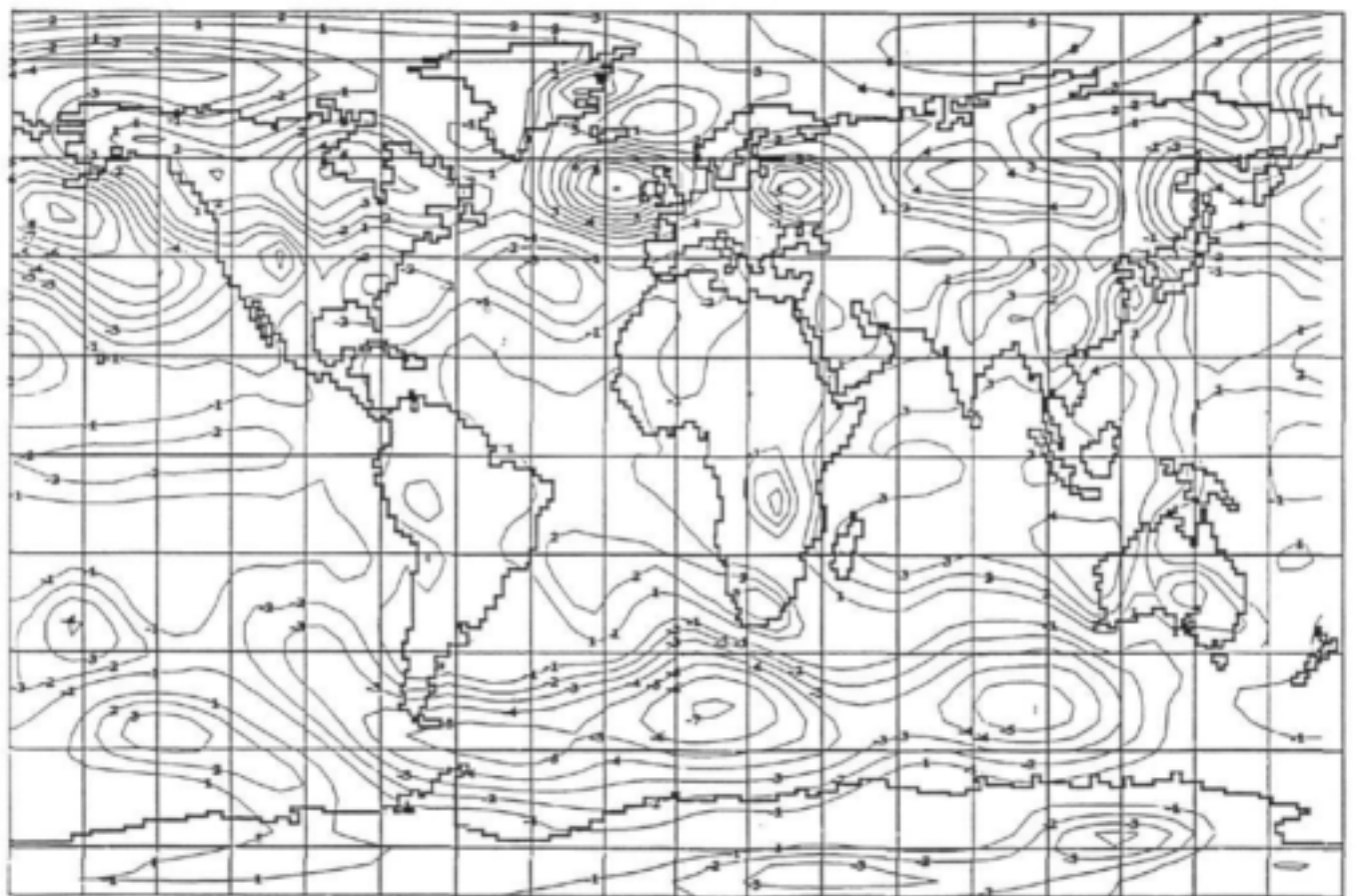
Figuur 15. CSIRO model berekende wind vektor anomalië in m/s op die 350 hPa drukvlak vir Desember. SOT anomalië van $+5^{\circ}\text{K}$ oor die ekwatoriale SO word met dik swart lyne aangedui (Eksperiment 2).



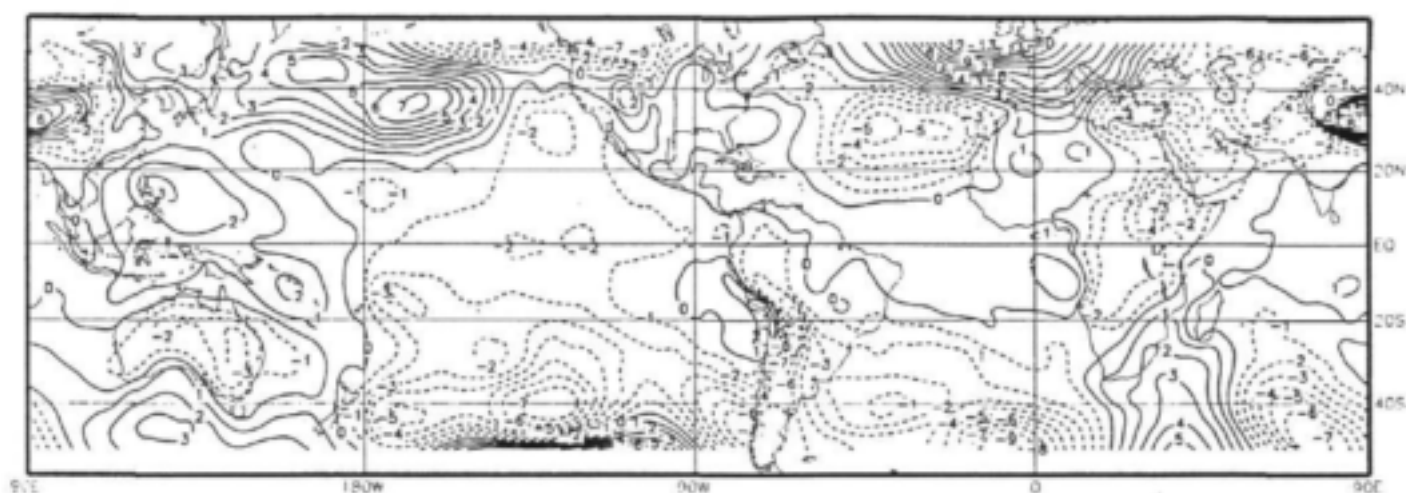
Figuur 16. Windvektoranomalië op die 200 hPa drukvlak vir Desember 1991 soos bereken deur die Climate Analysis Center (CAC) Washington, uit waargenome data (Eksperiment 2).



Figuur 17. CSIRO-4 model berekende reënval anomalie vir Desember in mm/dag. Die anomalie = $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie lorie minus die kontrole lorie (Eksperiment 2).



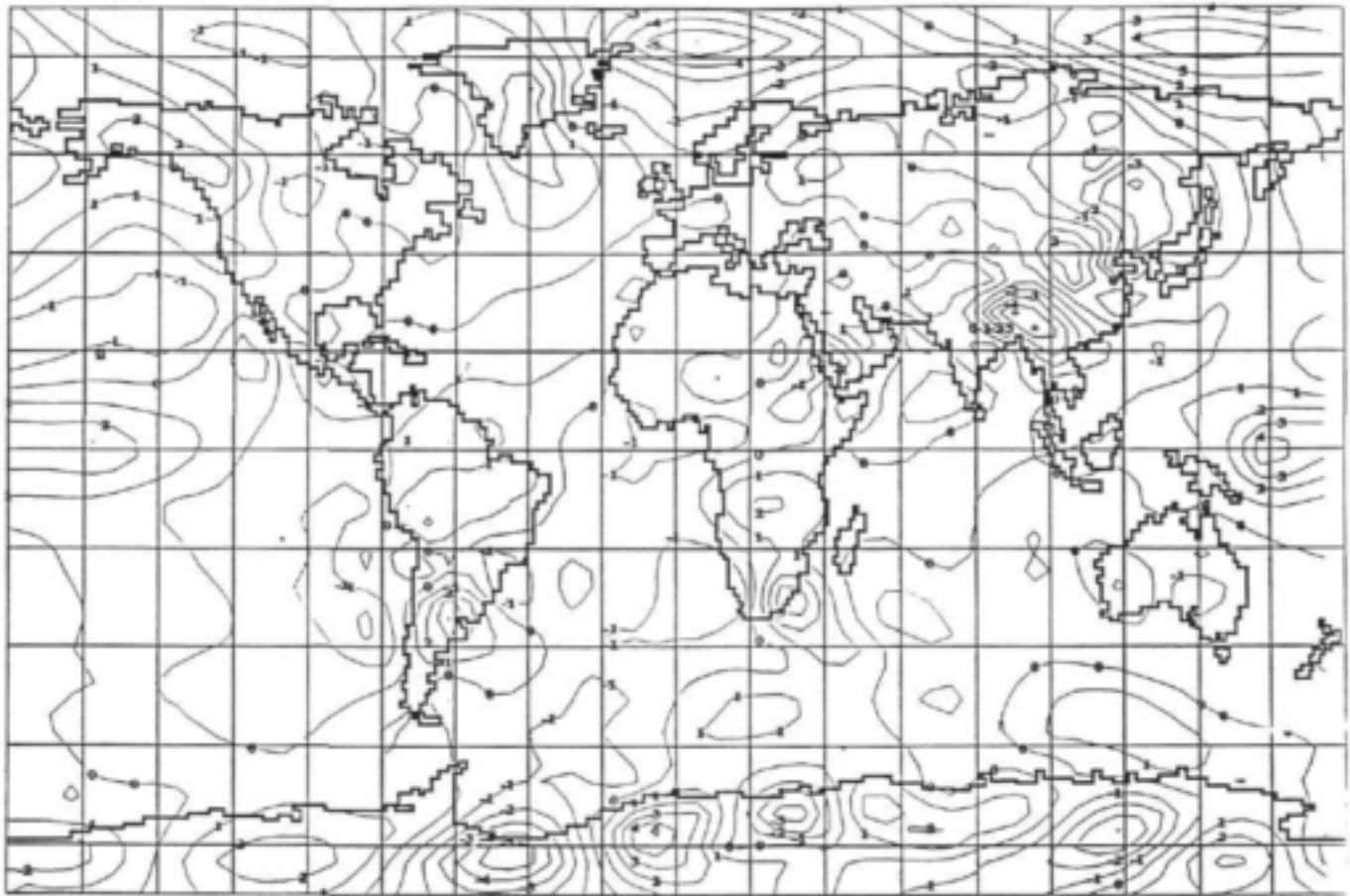
Figuur 18. CSIRO-4 model berekende oppervlak lugdruk anomalie in hPa vir Desember. Die anomalie = $+5$ SOT anomalie lorie minus die kontrole lorie (Eksperiment 2).



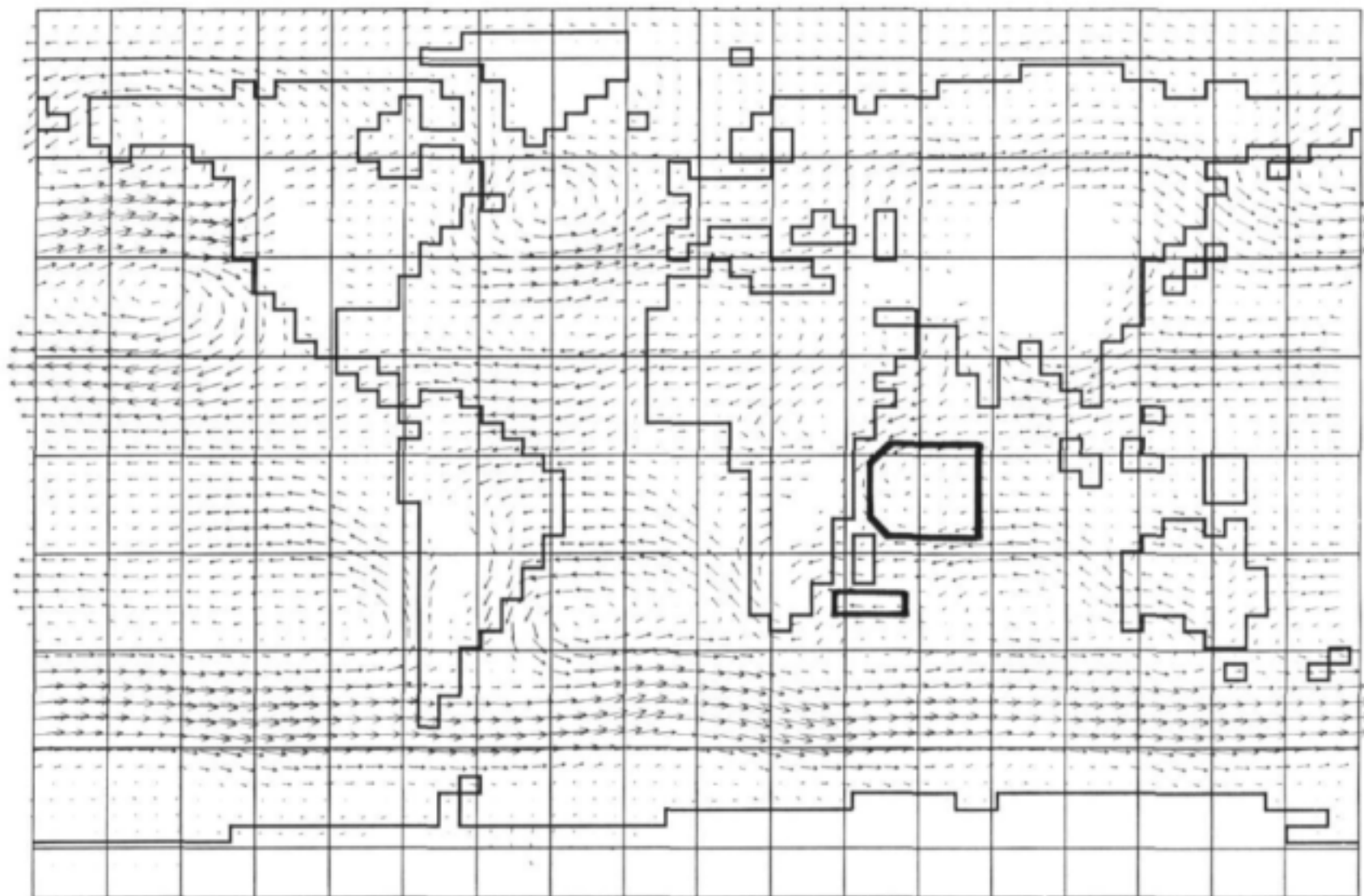
Figuur 19. Soos fig.16 maar vir die oppervlak lugdruk anomalië (Eksperiment 2).



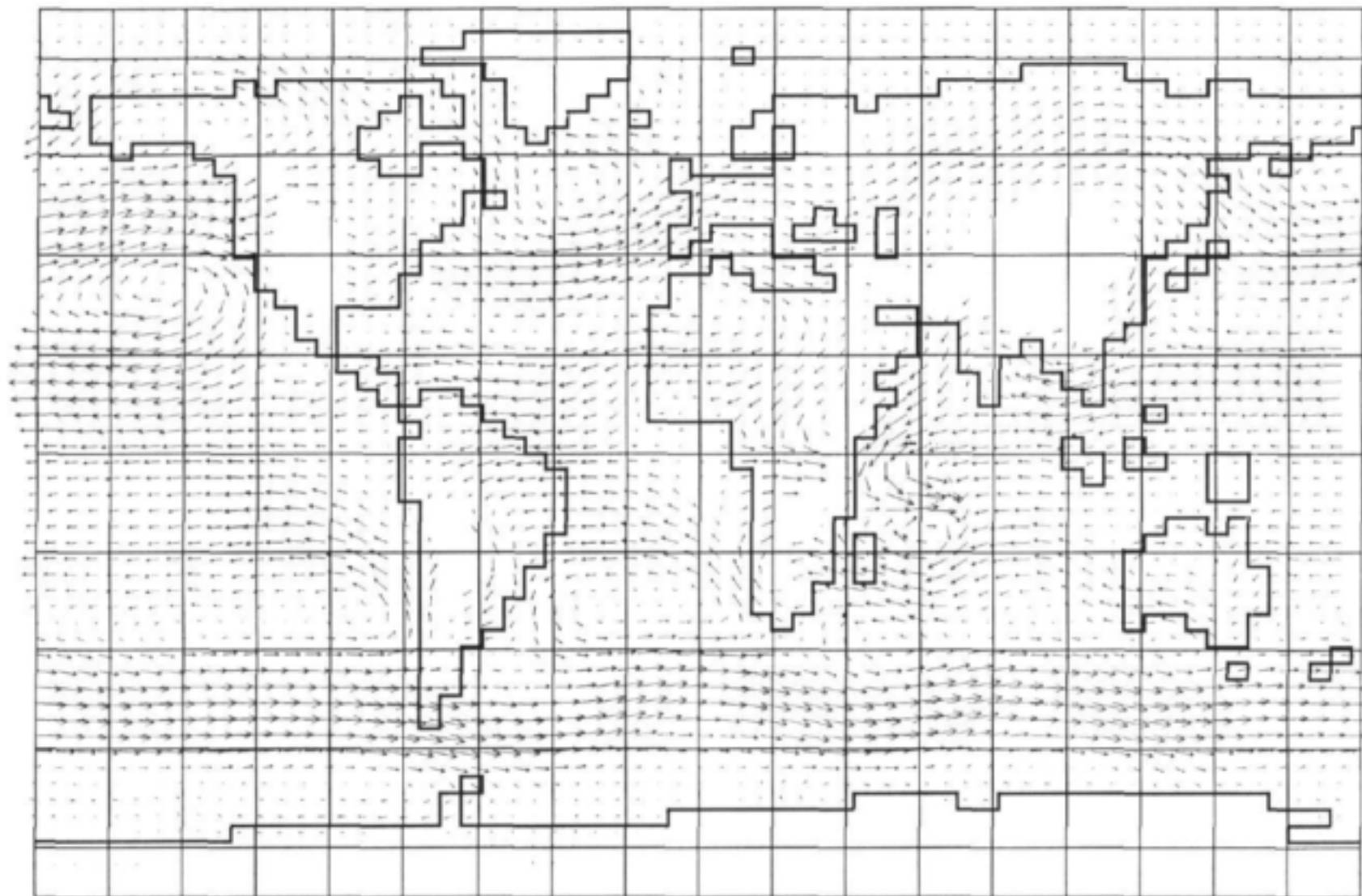
Figuur 20(a). Horizontale snelheids divergensie veld ($1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) op die 350 hPa drukvlak vir Desember van die CSIRO-4 model kontrole lopie (Eksperiment 2).



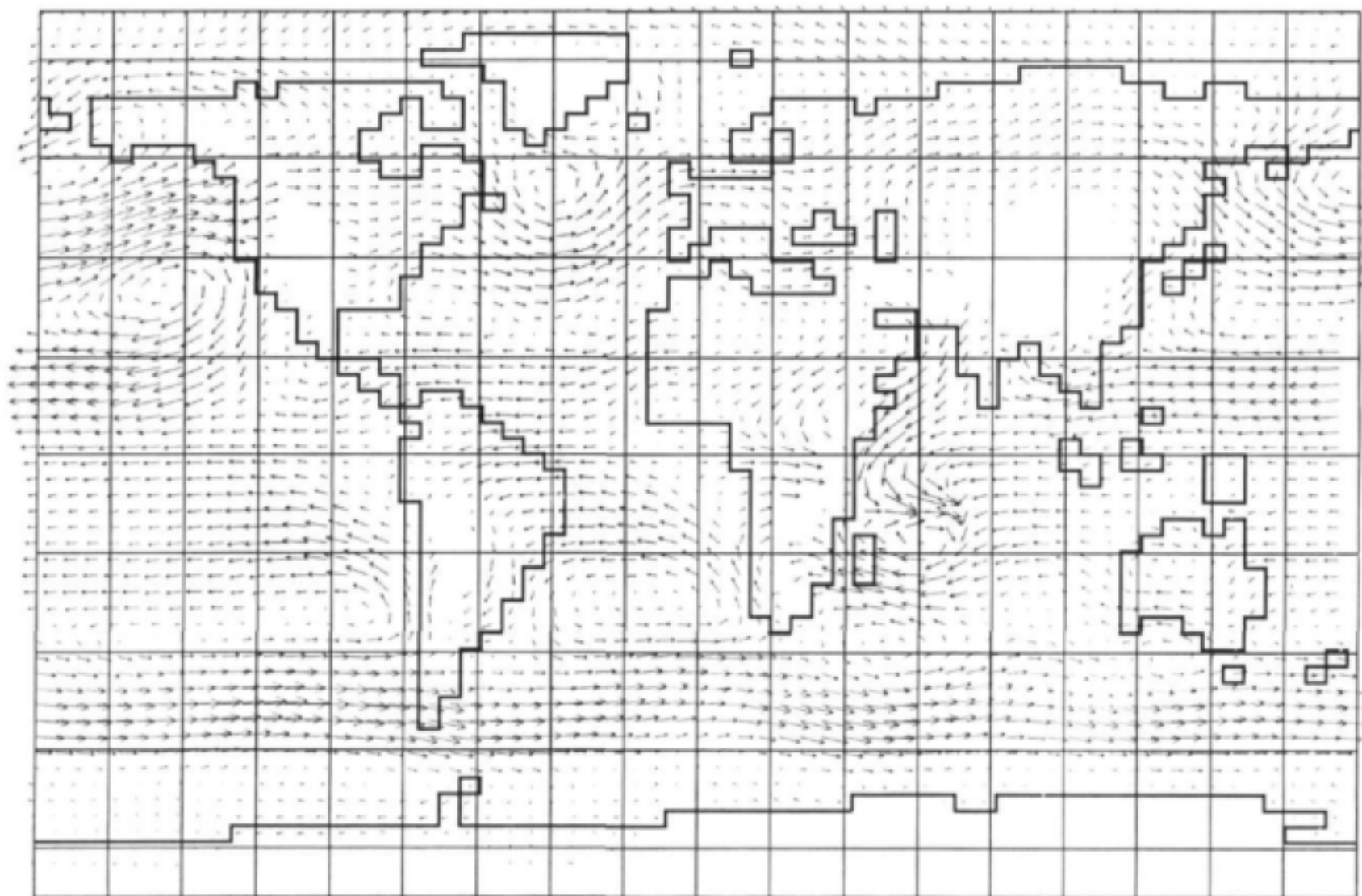
Figuur 20(b). Soos fig.20(a) maar vir die $+5^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie oor die ekwatoriale SO (Eksperiment 2).



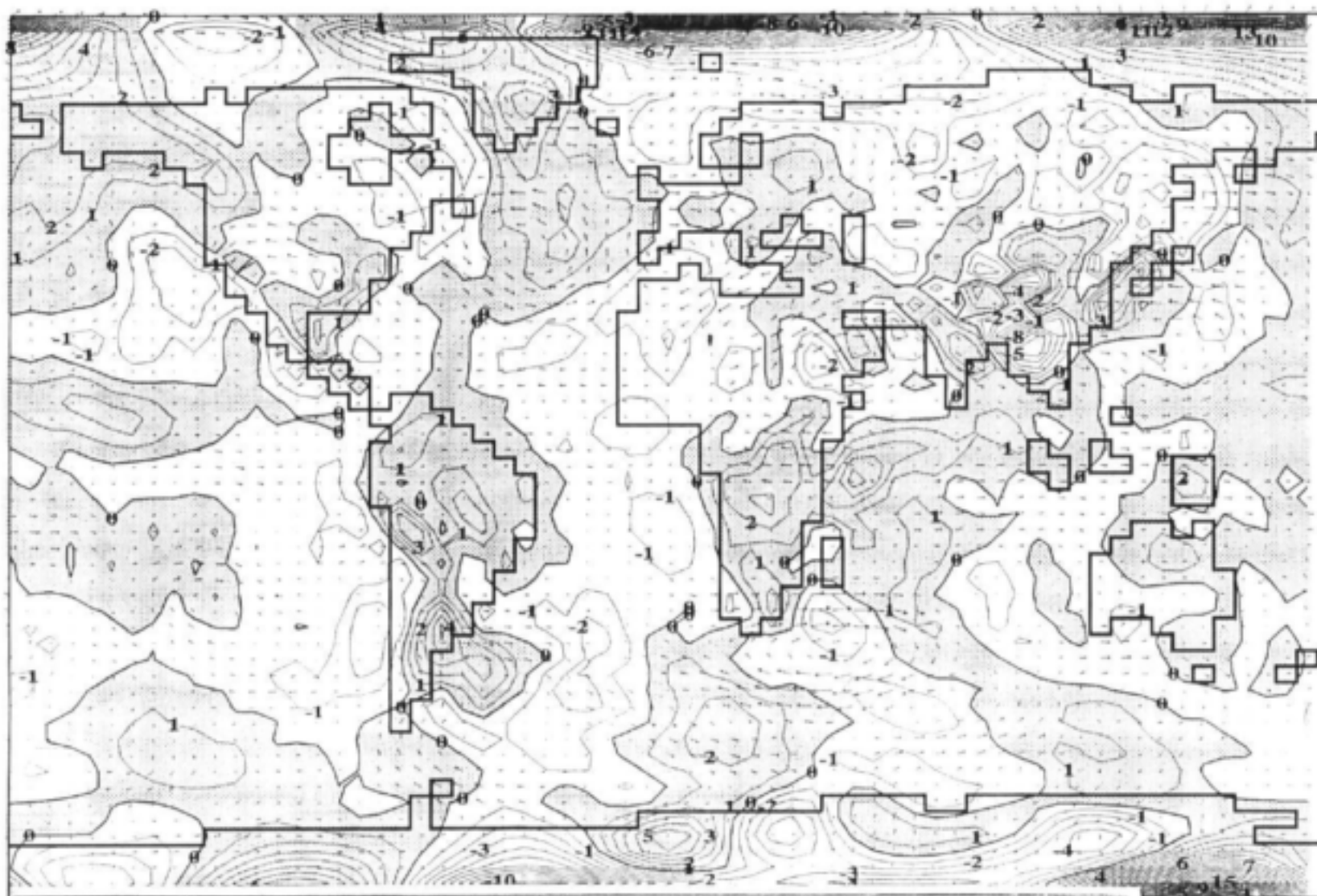
Figuur 21(a). CSIRO-4 model berekende windvektor anomalië op die 900 hPa drukvlak vir Februarie uit die 'dipool' eksperiment met 'n $+2^{\circ}\text{K}$ SOT anomalie noord-oos en 'n -2°K SOT anomalie suid van Madagaskar. Die area waarin die SOT anomalie voorkom word met dik swart lyne aangedui (Eksperiment 3).



Figuur 21(b). Soos fig.21(a) maar in dié geval met 'n 4°K SOT anomalie 'dipool' soos aangedui (Eksperiment 3).

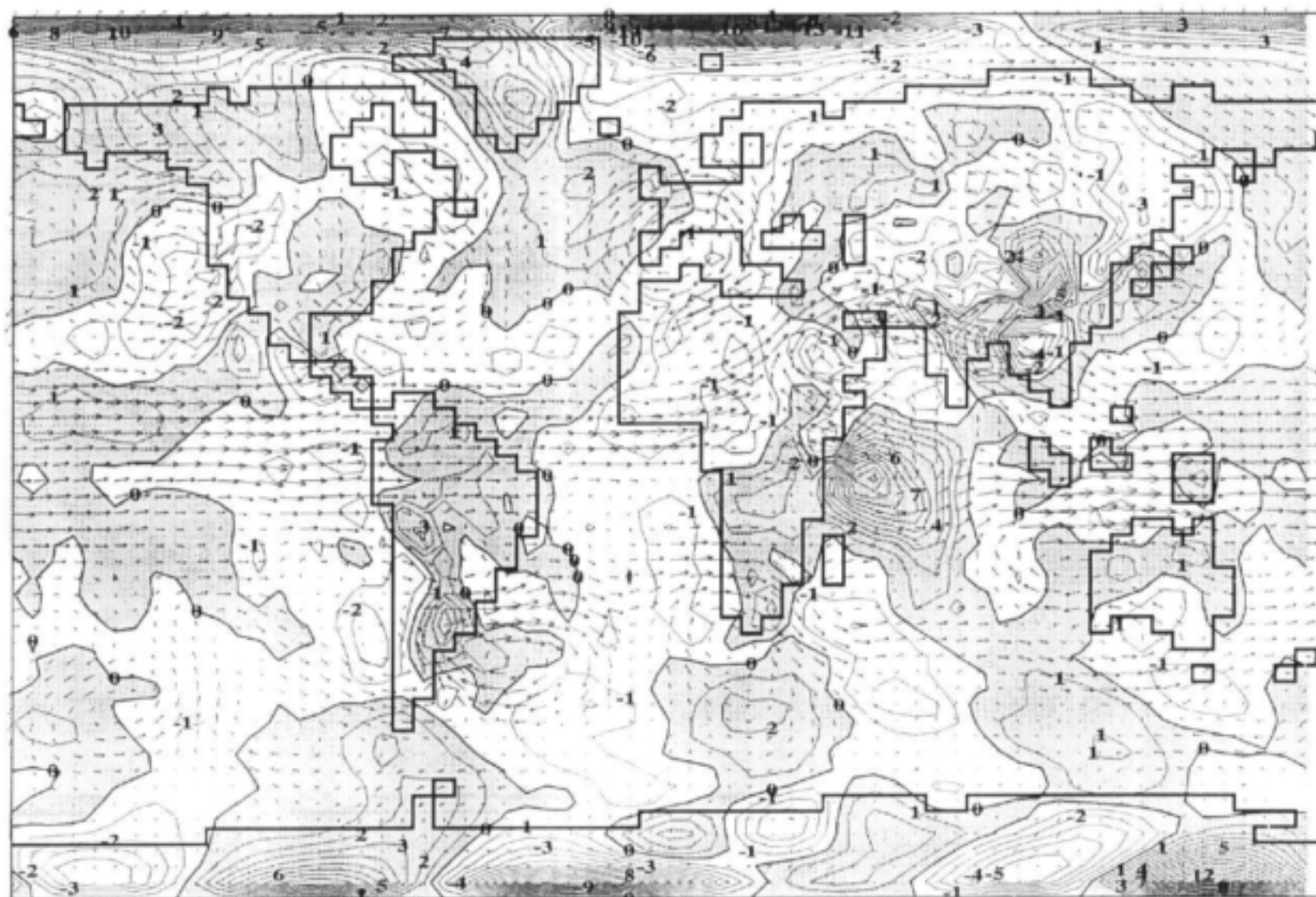


Figuur 21(c). Soos fig.21(a) maar in dié geval met 'n 6°K SOT anomalie 'dipool' soos aangedui (Eksperiment 3).

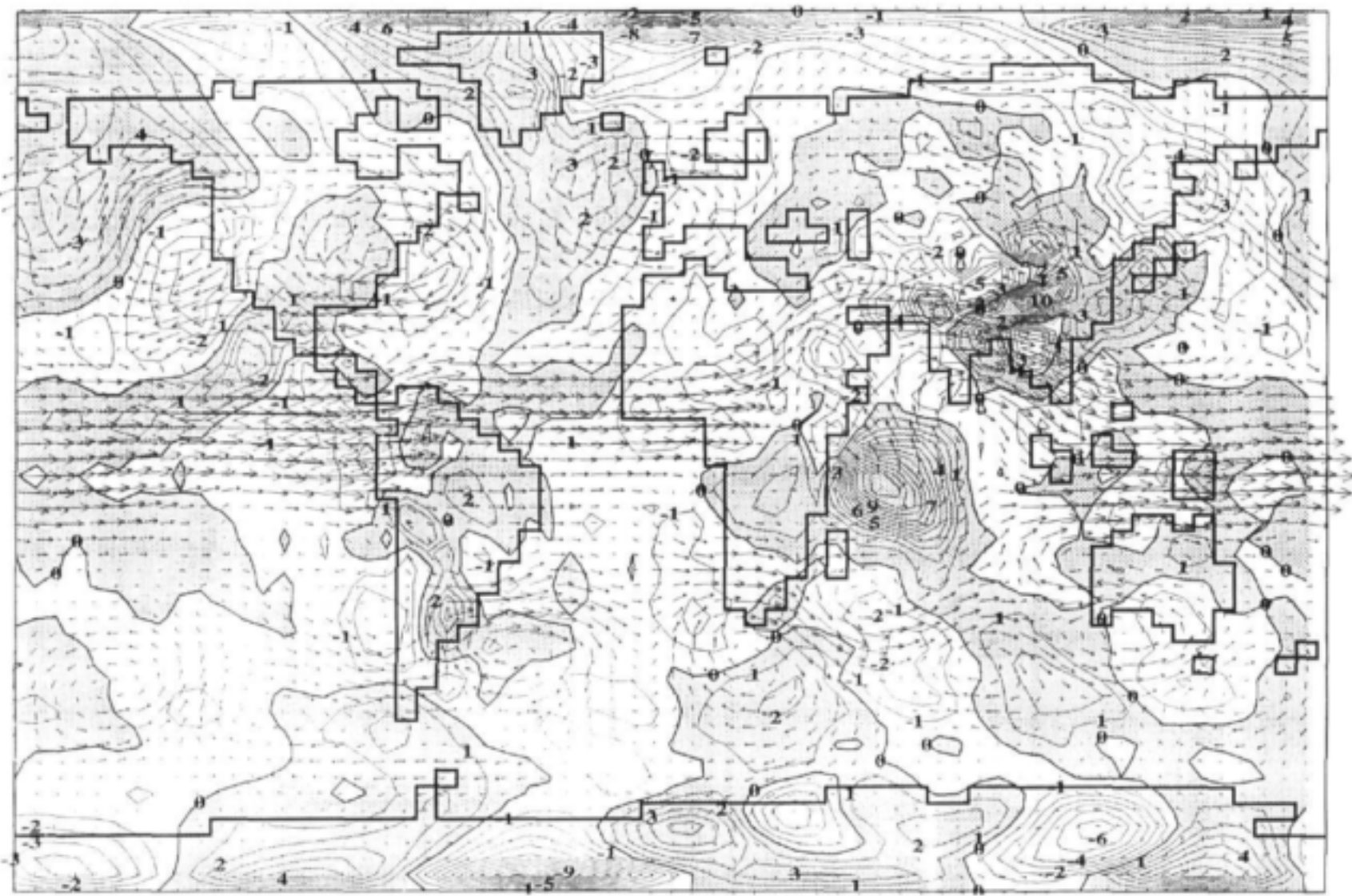


Figuur 22(a).

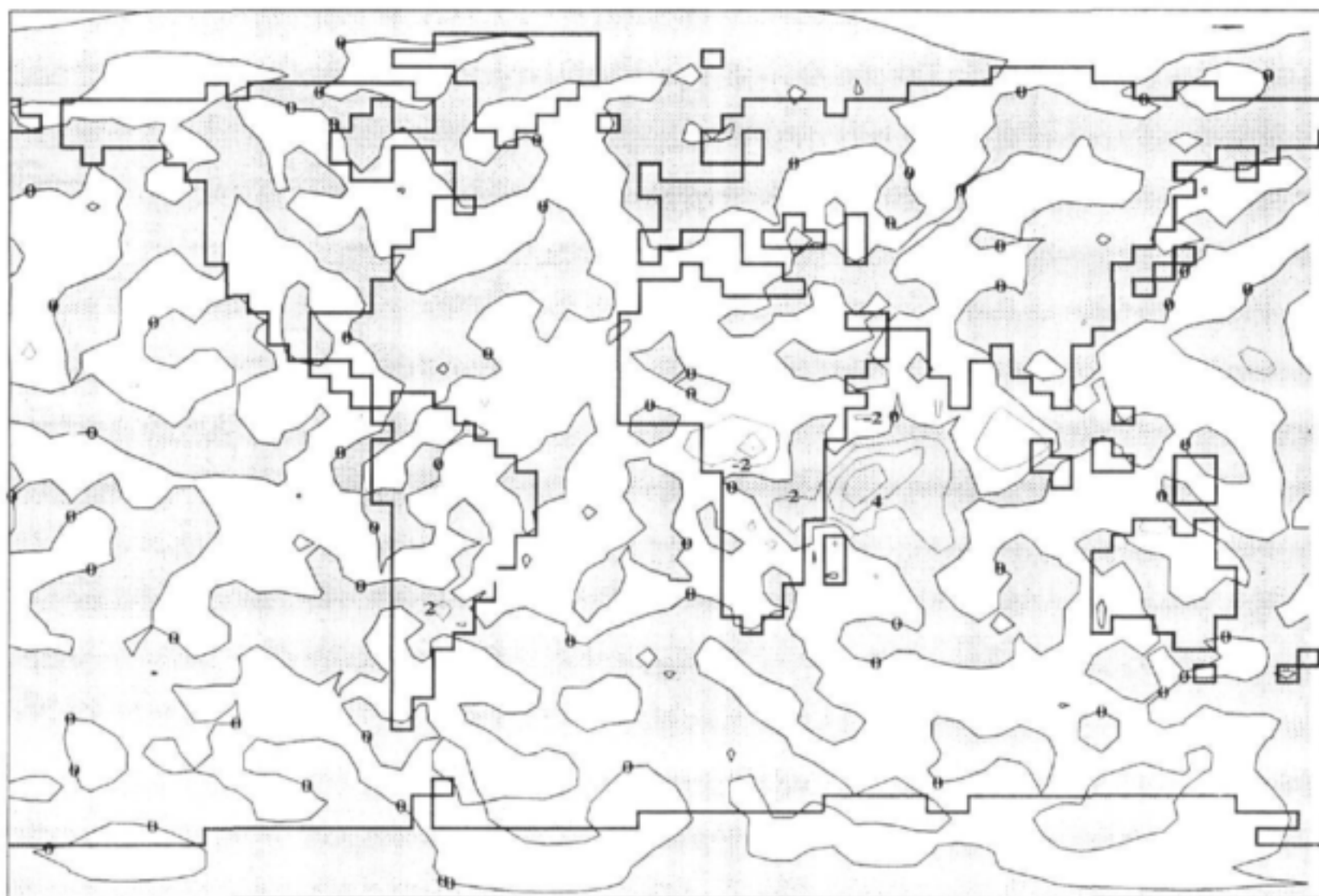
CSIRO-4 model windvektor anomalië op die 350 hPa drukvlak vir Februarie uit die 'dipool' eksperiment met 'n 2°K SOT anomalie (soos fig.21(a)). Die horisontale snelheidsdivergensie uitgedruk in $(1 \times 10^{-6} \text{ m/s})$, en bereken uit die 350 hPa drukvlak windvektore van die 'dipool' eksperiment, word op dieselfde drukvlak in kontoere aangedui (Eksperiment 3).



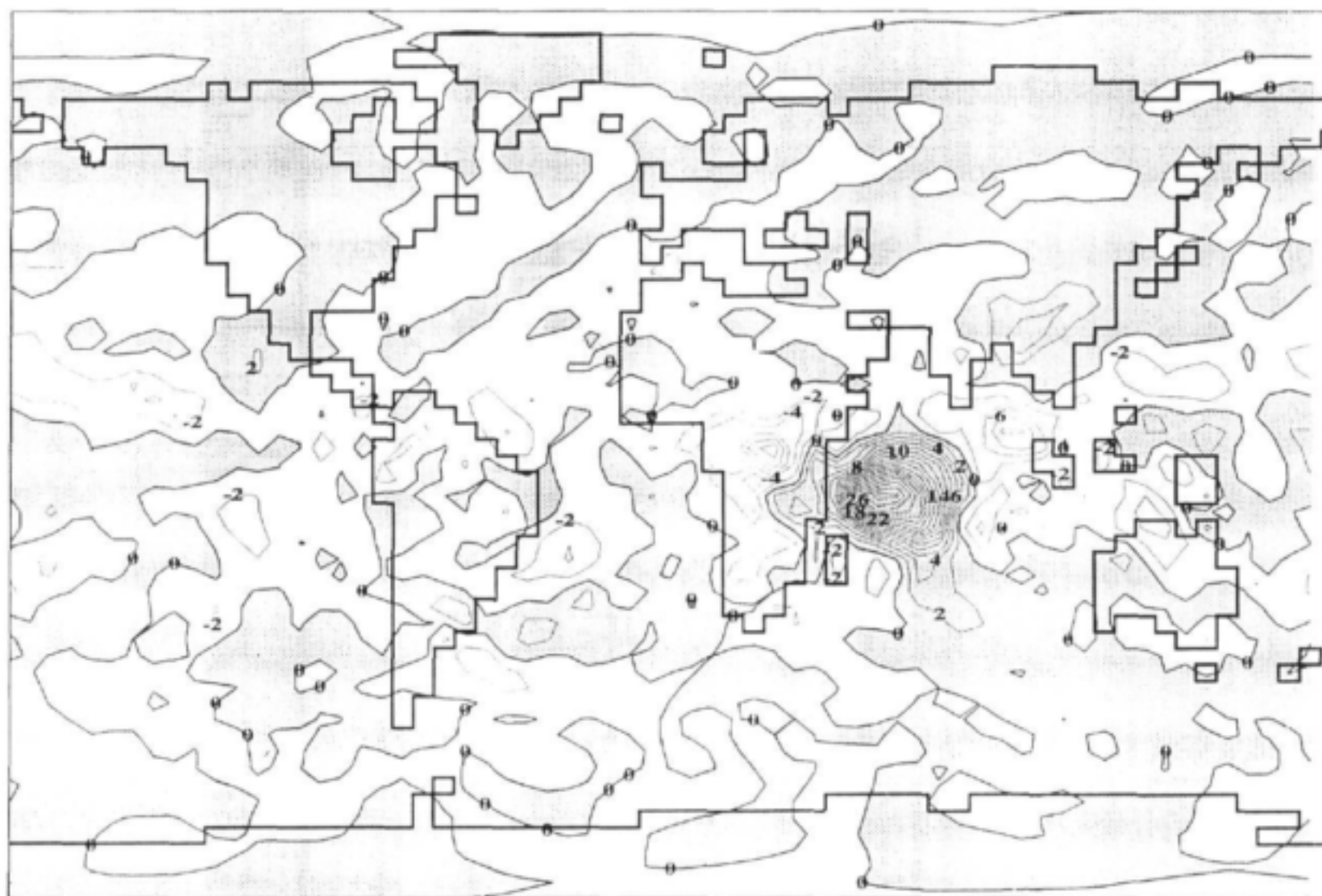
Figuur 22(b). Soos fig.22(a) maar vir die 4°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).



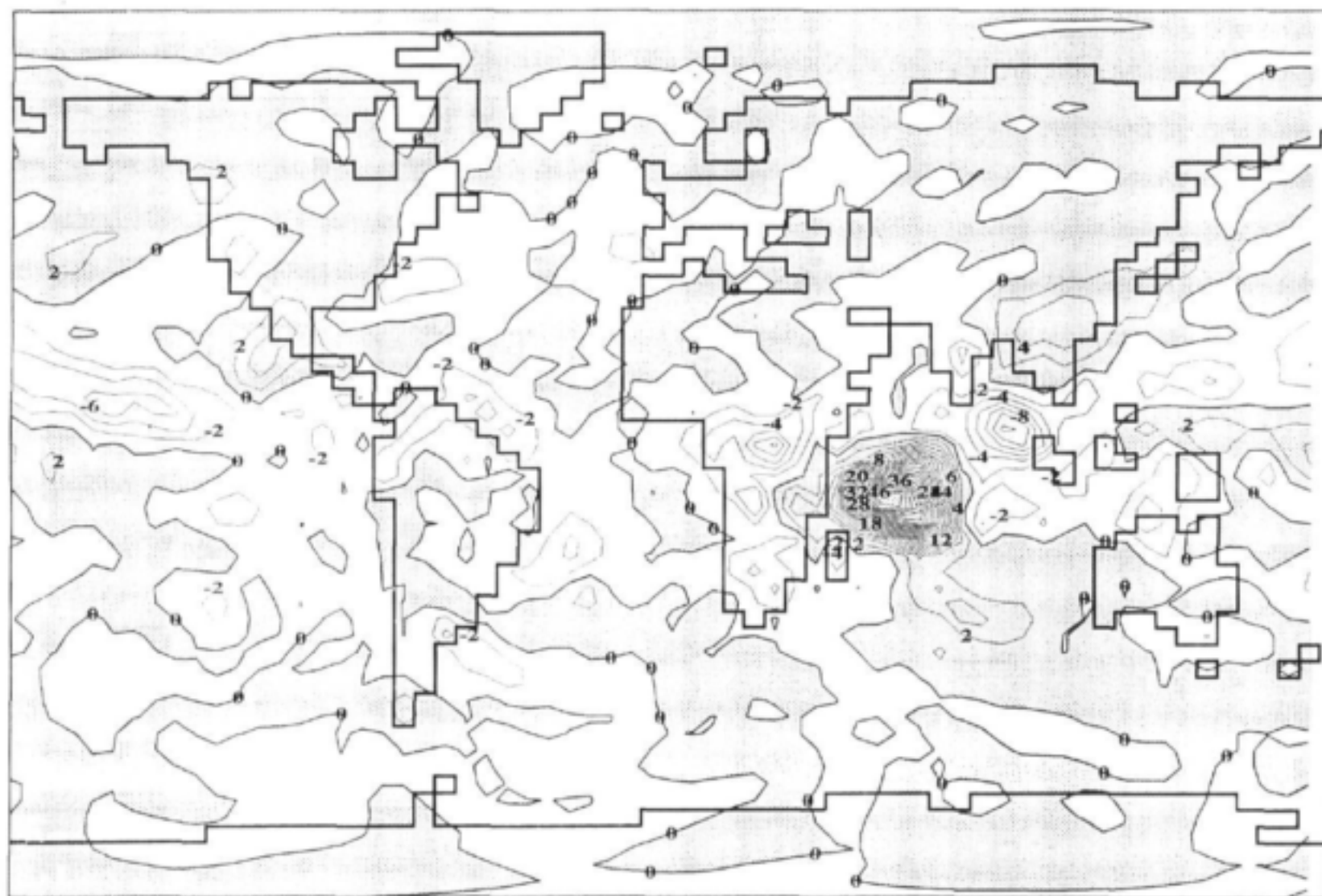
Figuur 22(c). Soos fig.22(a) maar vir die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).



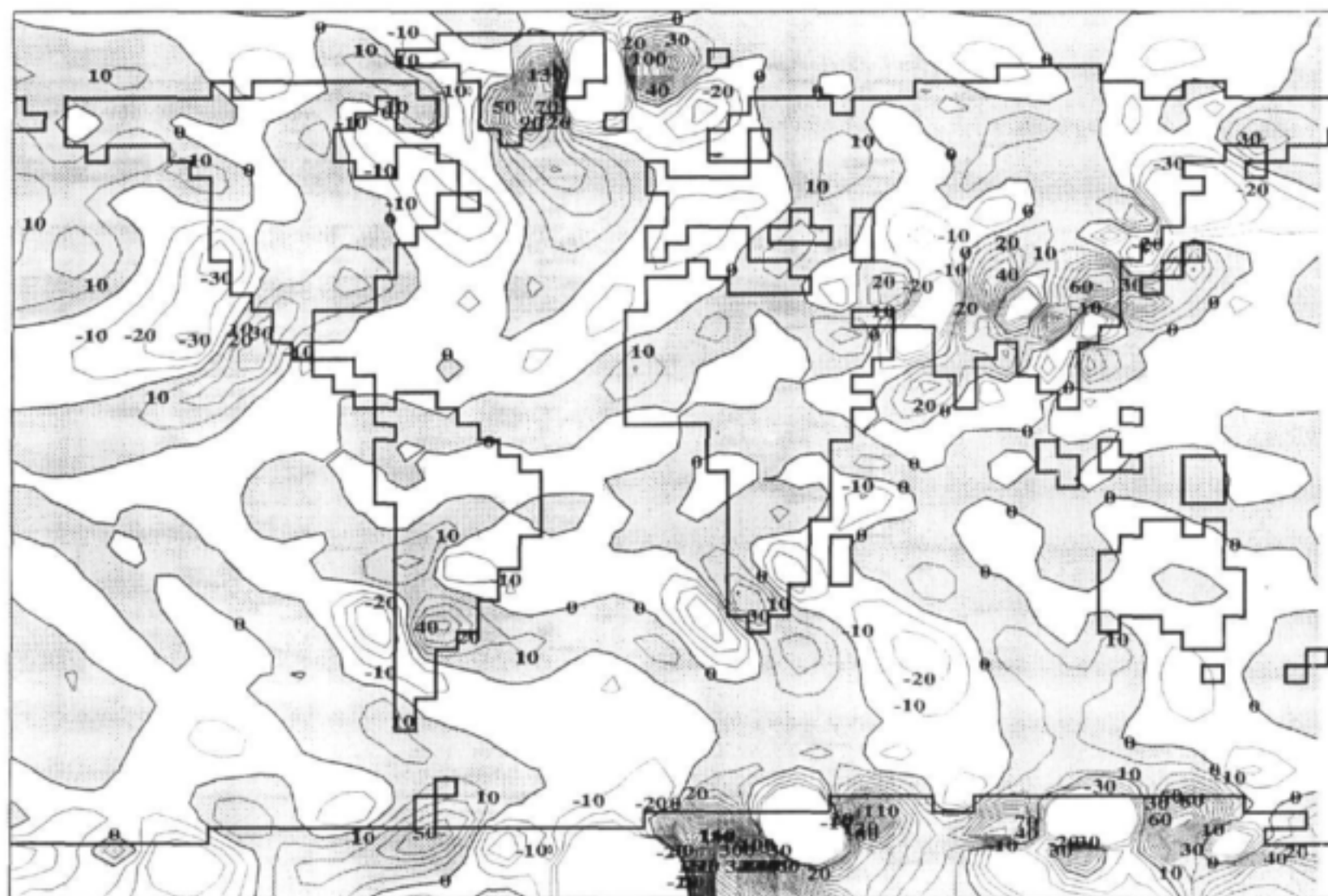
Figuur 23(a). CSIRO-4 model reynval anomalië resultate (data) vir Februarie met die 2°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment. Die anomalie = die 'dipool' lopie minus die kontrole lopie (Eksperiment 3).



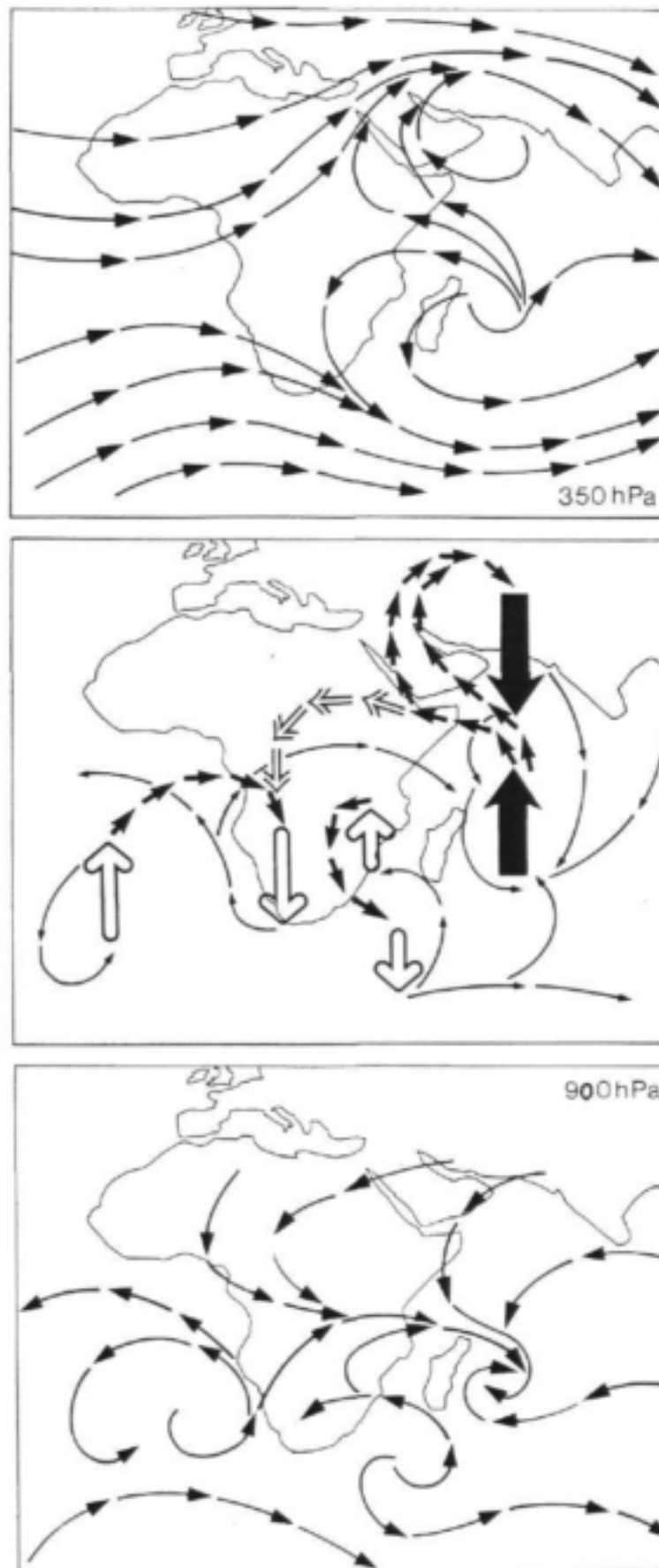
Figuur 23(b). Soos fig.23(a) maar vir die 4°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).



Figuur 23(c). Soos fig.23(a) maar vir die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3).

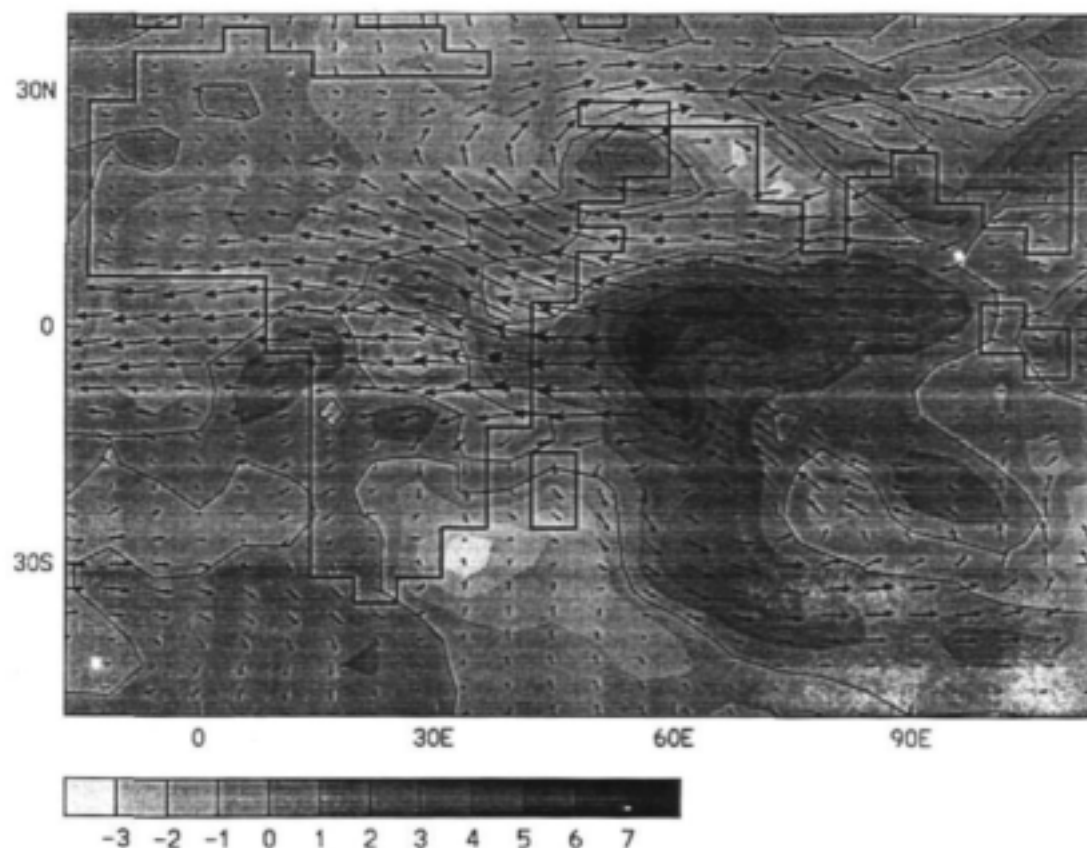


Figuur 24. CSIRO-4 model 350 hPa drukvlak windvektor anomalie data (resultate) vir Februarie met die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment. Die horisontale divergensie van die Q-vektor word met kontoere aangedui (Eksperiment 3).

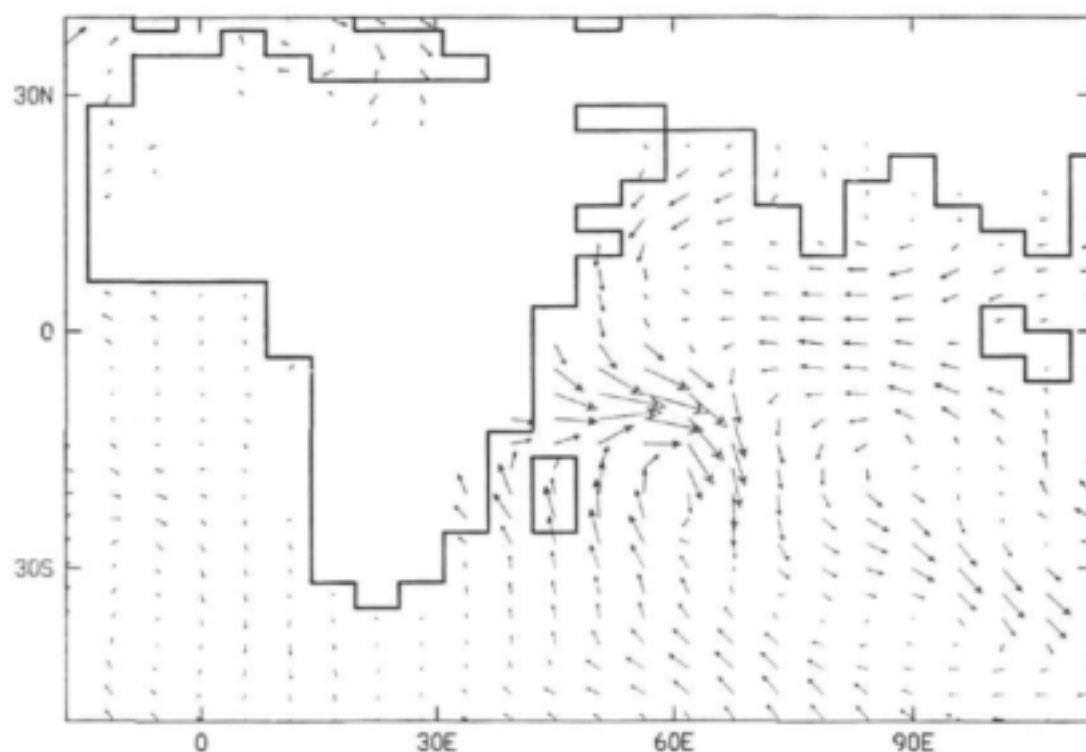


Figuur 25.

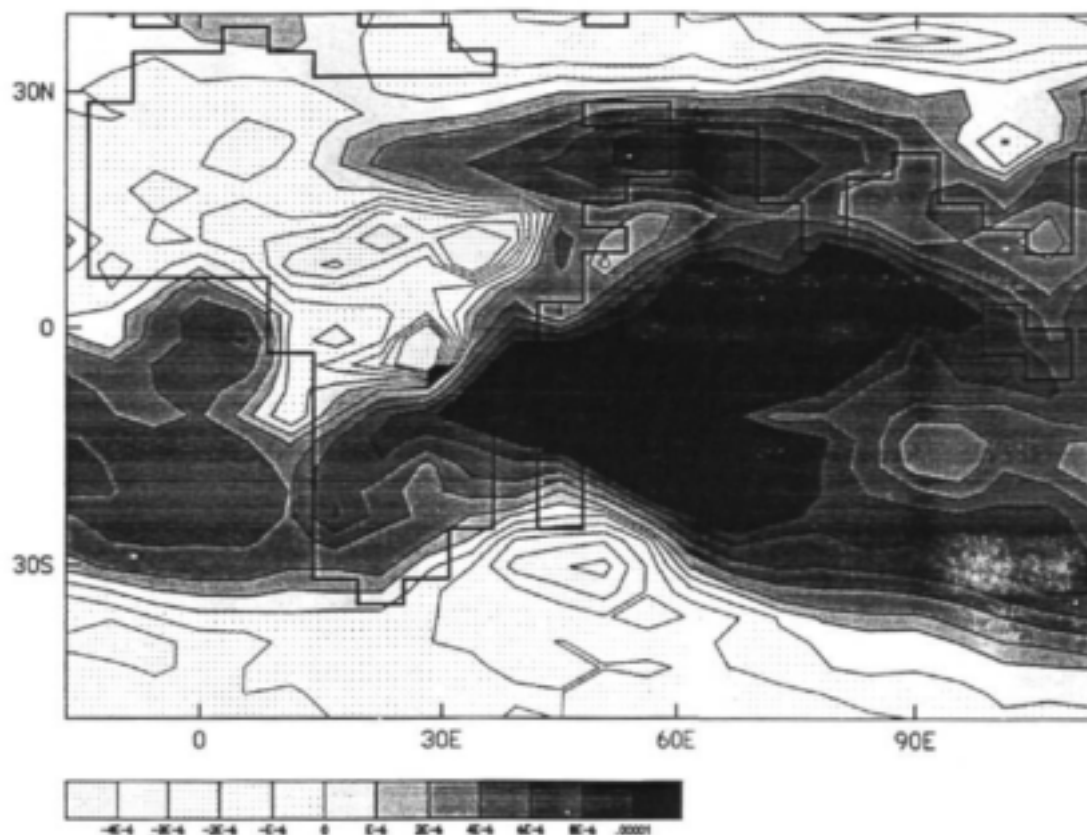
'n Driedimensionele voorstelling van die sirkulasie patrone vir die 6°K SOT anomalie 'dipool' eksperiment (Eksperiment 3). Die boonste skets dui op die primêre 350 hPa drukvlak horisontale windveld. Die onderste skets is dieselfde maar vir die 900 hPa drukvlak. Die middelste skets is 'n voorstelling van die vertikale beweging (dik swart pyle) sowel as die sekondêre sirkulasie op die 350 hPa drukvlak (dun swart lyne) en die sekondêre sirkulasie (dun stippel lyne) op die 900 hPa drukvlak. Die oop pyle dui sekondêre sirkulasie vanaf die suid-wes Indiese oseaan via ekwatoriaal Afrika na Suid Afrika aan.



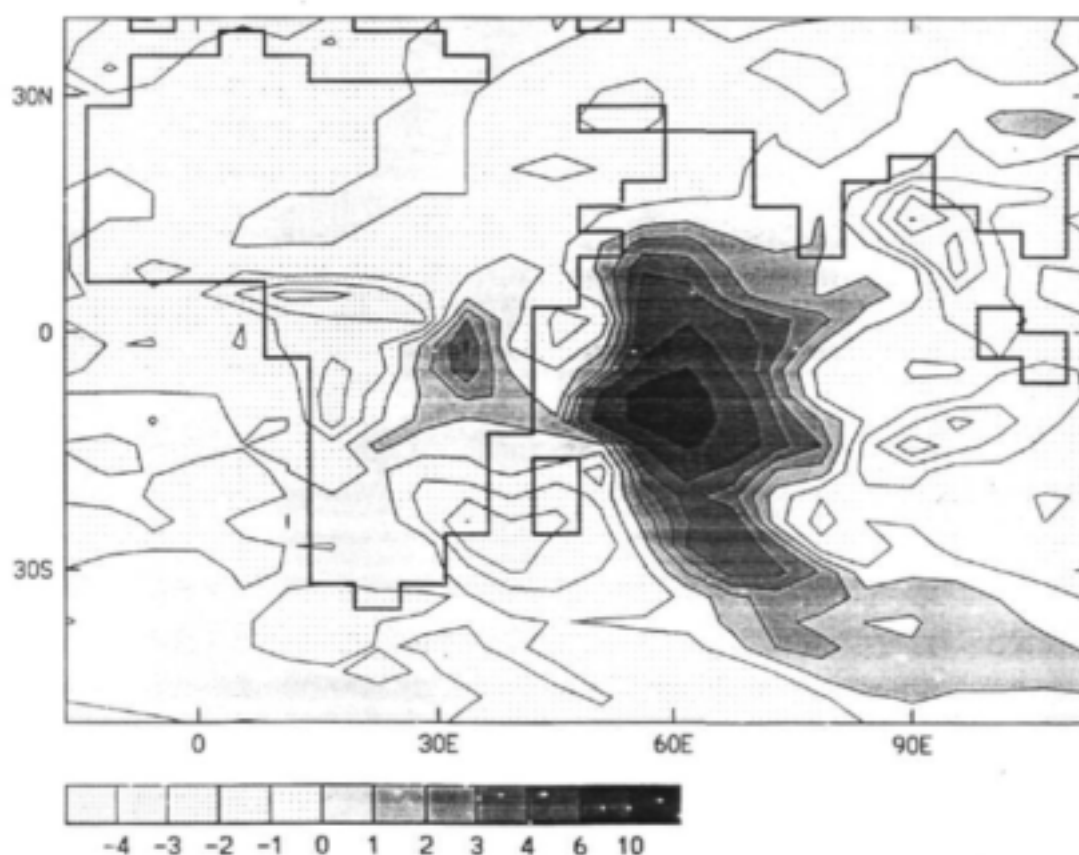
Figuur 26(a). CSIRO-9 model 200 hPa drukvlak windvektor anomalie data (resultate) in m/s vir Februarie met 'n 2°K SOT anomalie noord-oos van Madagaskar (Eksperiment 4).



Figuur 26(b). Soos fig.26(a) maar vir die 900 hPa drukvlak (Eksperiment 4).



Figuur 26(c). CSIRO-9 model water mengverhouding anomalie data (resultaat) in (kg/kg) vir Februarie met 'n 2°K SOT anomalie noord-oos van Madagaskar (Eksperiment 4).



Figuur 27. CSIRO-9 model reënval anomalie data in (mm/dag) vir Februarie met 'n 2°K SOT anomalie noord-oos van Madagaskar (Eksperiment 4).

HOOFSTUK 5

PRODUKTE EN REKENAAR PAKETTE

5.1 Die geïndekseerde Distrik Reënval en ENSO Pakket.

Die Weerburo stel 'n sogenaamde Distrik Reënval datastel beskikbaar. Navorsingswerk deur M P van Rooy (1972) het gelei tot die opdeling van Suid-Afrika in 93 individuele reënval distrikte wat nagenoeg homogeen in reënval eienskappe is. Aanvanklik was die Distrik Reënval opgestel uit die gemiddelde van 'n aantal reënval stasies per distrik en is maandgemiddelde reënvalsyfers bereken. Zunkel (1985) het 'n rekenaarstelsel ontwikkel om die Distrik Reënval te bereken maar deur gebruik te maak van alle beskikbare reënval stasies per distrik. Hierdie sisteem het goed gefunksioneer toe dit nodig was om die Distrik Reënval terugwaarts te herbereken. Gedurende 1993 is die programstelsel deur die SAWB geheel en al herskryf en daar is ook verseker dat alle reënvalstasies aan die korrekte distrik toegewys is. Die Nuwe Distrik Reënval is deur die SAWB beskikbaar gestel gedurende 1994.

Vir sekere distrikte is daar tans maandelikse data beskikbaar sedert 1880. Die projekspan het 'n deelversameling van die SAWB Distrik Reënval saamgestel en hierdie "distrik reënval" bevat maandelikse data sedert 1921 vir al 93 distrikte met die uitsondering van:

DISTRIK	Begin	Onderbreek
14	1934	1953-1961
34	1925	-
35	1922	-
36	1933	-
37	1944	-
58	1921	1926-1927
66	1930	-

Om die navorsing vir hierdie projek te vergemaklik was die "Geïndekseerde Distrik Reënval/ENSO Pakket" gedurende die laaste 5 jaar ontwikkel. Hierdie pakket stel die gebruiker in staat om vinnig enige distrik, of enige groepering van distrikte, se reënval grafies voor te stel. Terselfdertyd word aangedui of daar 'n warm of koue fase ENSO voorgekom het. Die ENSO klassifikasie van Schulze (1989) is hiervoor gebruik. Die indeksering van reënval syfers is as volg:

$$\text{Indeks} = (\text{Reënval} - \text{Gemiddeld}) / (\text{Standaard Afwyking})$$

Vir die gerief van die gebruiker word die reënval, uitgedruk as 'n persentasie van die normaal, ook aangedui. Hierdie syfer is 'n benadering. Die lengte van die kolomme

weerspieël die indekswaarde.

Om hierdie pakket te gebruik word 'n IBM aanpasbare persoonlike rekenaar (PR) benodig - minstens 'n 386, 8MB geheue, VGA skerm. Die volledige program plus die data is beskikbaar op een 1.44 MB skyfie. Die program is deeglik getoets gedurende die laaste paar jaar. Daar word baie navrae oor die pakket ontvang en dit is beslis 'n bemerkbare stelsel. Die projekspan kan onderneem om die stelsel namens die WNK verder te onderhou en as dit nodig is, te bemark. Hierdie stelsel is 'n onvoorsiene produk uit die projek.

Die volledige program instruksies word in Aanhangel A uiteengesit.

5.2 Oppervlak Daaglikse Lugdruk Data.

Die daaglikse Weerbulletin van die SAWB is vir die periode 1960 tot 1992 versyfer en wel vir al die somermaande Oktober tot Maart. Elke weerkaart se data is versyfer in 61 datapunte wat die gebied van die weerkaart dek met 'n roosterpunt by die snyding van elke 5° lengte en breedte plus 'n paar addisionele punte. Fig.26 illustreer die area van die weerkaart plus die plasing van die 61 roosterpunte.

Die besluit van die Weerburo om nie na 1992 die binnelandse druk voor te stel as 'n geopotensiële hoogte (gpm) van die 850 hPa vlak op die Daaglikse Weerbulletin nie, het argivering van weerkaarte na 1992 nutteloos gemaak vir datapunte oor die binneland van Suid-Afrika. Programme wat ontwikkel is om die oppervlak drukdata wat deur 1400+ m na seespieël gereduseer was weer te herbereken na gpm op die 850 vlak was nie baie suksesvol nie. Data is gevolglik nie vir datums na 31 Maart 1992 beskikbaar nie.

Die daaglikse drukdata is in twee formate beskikbaar:

- Per individuele maand, Oktober tot Maart, 1960-1991/2 in lêers op 1.44 MB skyfies onder die naam:

Leërnaam	<u>Begin</u>	<u>Einde</u>	<u>Begin</u>	<u>Einde</u>
	Voor Reduksie Binneland Lugdruk		Na Reduksie Na Seevlak	
OCTCORR2.DAT	601001	911030	921001	921031
NOVCORR2.DAT	601101	911130	921101	921130
DECCORR2.DAT	601201	911231		
JANCORR2.DAT	600101	920131	930101	930131
FEBCORR2.DAT	600201	920219	930201	930228
MARCORR2.DAT	610301	920331		

- Die data is ook aaneengestring vanaf 1 Oktober 1960 tot 31 Maart 1992. Beschikbaar in kompakte formaat onder die naam:
SOMOPP.ZIP

Om die leesbaarheid van laasgenoemde string te vergemaklik bestaan elke somer se data uit 192 dae. Vir skrikkeljare is die data vir 31 Maart weggelaat.

Die twee datastelle is deeglik ontfout. Langtermyn gemiddeldes is opgestel vir elke roosterpunt vir die ses somermaande. Hierdie gemiddelde waardes is beskikbaar in die lêer:

LANGEMSI.GEM

'n Rekenaar pakket is beskikbaar vir die versyfering van die data, indien daarmee voortgegaan wil word. As deel van die pakket word sekere basiese data analise programme beskikbaar gestel. Hierdie programme doen die volgende dataverwerking:

- Bereken maandgemiddelde plus die anomalie by elke roosterpunt volgens keuse.
- Akkumuleer die anomalie per maand volgens keuse.

'n Groot aantal GBASIC programme wat basiese analise op hierdie twee datastelle uitvoer is beskikbaar en sal in die pakket ingesluit word. Die vernaamstes is:

- Aantal van drie klasse oppervlakte laagdrukstelsels by spesifieke roosterpunte.
- Golfspoed van laagdrukstelsels suid van Suid-Afrika.
- Aantal hoogdrukstelsels suid van Suid-Afrika.
- Posisie en drukafwyking van Atlantiese oseaan Oppervlak Hoogdrukstelsels (AOH) wat suid van Suid-Afrika inrug en Indiese oseaan Oppervlak Hoogdrukstelsels (IOH).
- Frekwensie van aaneenlopende rug (piesang hoog) suid van Suid-Afrika.

Baie van hierdie programme is nuttig vir navorsers en is nie altyd baie gebruiker vriendelik nie. Namate nuwe programme ontwikkel word en bestaandes verbeter kan dit in die pakket ingesluit word. Die meeste navorsers verkies egter gewoonlik om hul eie analise te doen.

In Aanhangsel B word 'n kort programbeskrywing plus illustrasie gegee. Die stelsel is ook selfverduidelikend. 'n PR(286) plus 40MB skyfspasie is voldoende om die programme in hierdie pakket te loop.

5.2.1 Enkele Resultate uit die Weerbulletin Databasis.

'n Deeglike analise van die geargiveerde daaglikse Weerbulletin data was uitgevoer om die volgende te bereken:

- Aantal laagdrukstelsels suid van die land per somer byvoorbeeld 1960/61.
- Aantal diep laagdrukstelsels (troë) suid van die land per somer.
- Aantal gevalle van anti-siklonale disrupsie (afsnij laag).
- Meridionale en sonale wind komponente by roosterpunte.
- Golfspoed van laagdrukstelsels.
- Afwyking van hoog- en laagdrukstelsels van die langtermyn gemiddeld in omvang en posisie.
- Laagdrukstelsels in die Mosambiek Kanaal.

'n Voorlopige analise van die data wat deur bostaande programme gegenereer was, is ingedeel in jare waarin die fases van die ENSO sterk was. Voorlopige analyses kon geen eenvoudige sterk verbande identifiseer nie. Daar sal met meer aandag en meer gesofistikeerde tegnieke na die uitvoere van hierdie programme gekyk moet word.

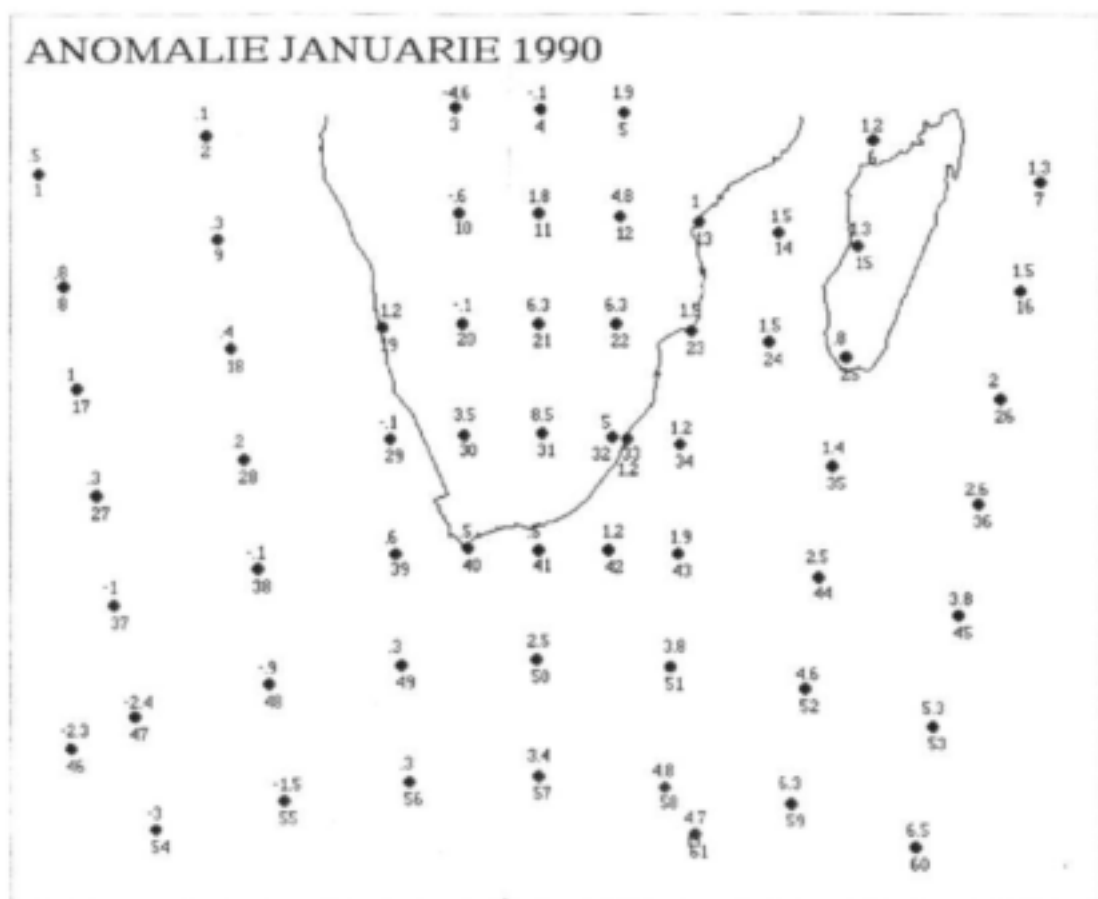
In fig. 27 tot 30 word die maandelikse anomalie velde van die oppervlak gestip vir twee jare wat onderskeidelik as 'n koue (1988/89) en 'n warm fase (1991/92) ENSO beskou word. Hierdie kaarte word direk deur die analise pakket geproduseer en is in fig. 27 tot 30 aansienlik verklein. Analise van die anomalie patrone (fig. 27-30) bring die volgende na vore.

- Die duidelike verskille vir dieselfde maand in die geografiese posisie van die positiewe en negatiewe anomalie. Dieselfde ossilasie as wat in die SOI voorkom is ook hier duidelik. Hierdie resultaat kan tot 'n Suid-Afrikaanse Anomalie Indeks verwerk word.
- Eerste tentatiewe analise dui ook dat daar vir sekere maande 'n 30 dae golf deur die data beweeg, maar nie in al die maande nie.
- Die hoofkenmerke wat deur Triegaardt en Landmann (1994), Tyson (1990) en ander geïdentifiseer is kom ook duidelik na vore in die maandgemiddelde anomalie velde.

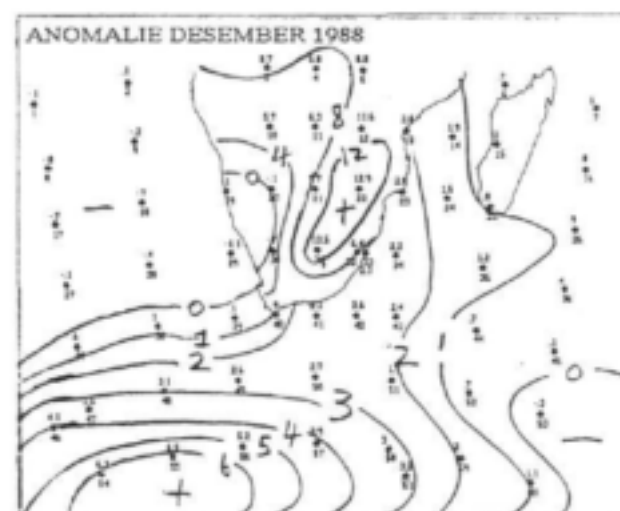
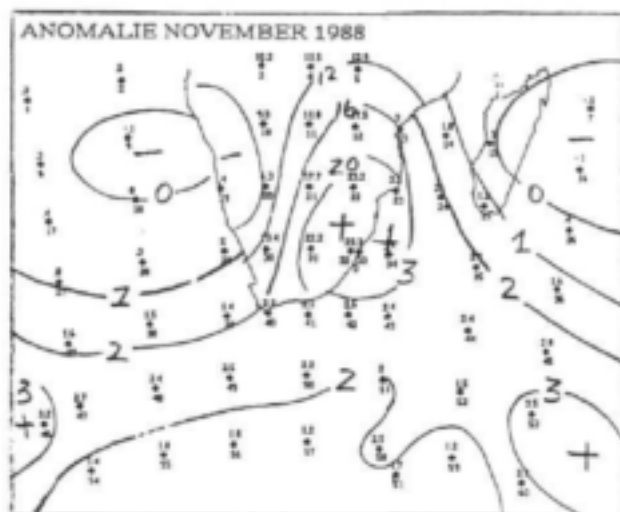
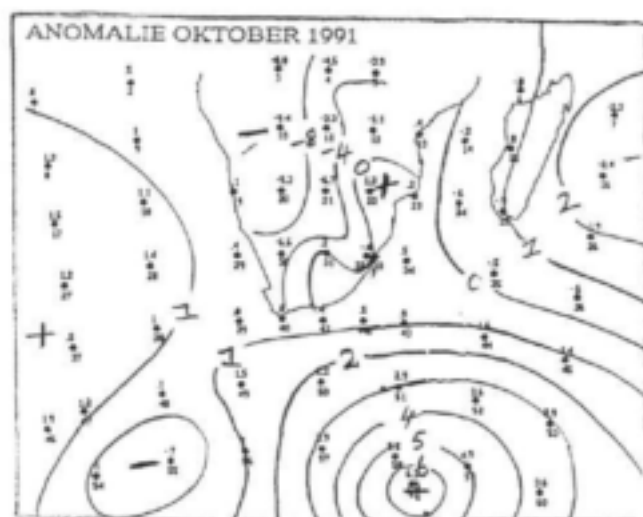
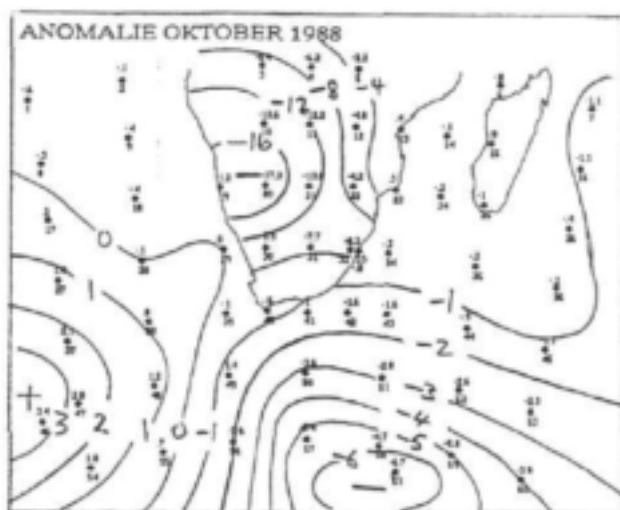
Die databasis wat hier in maklik rekenaar leesbare vorm beskikbaar gestel word kan 'n belangrike bydrae maak tot ons kennis oor die gedrag van weerstelsels om Suid-Afrika.

5.3 Reënval Indekse.

As deel van die projek is 'n Pentade Weerkunde Afwykingsindeks ontwikkel wat gebruik maak van pentade reënval - sowel as maksimum temperatuur anomalië om 'n droogte tipe indeks te bereken. Die indeks akkumuleer waardes sodat die stres wat tydens warm en droë pentades opgebou word oorgedra word na die volgende pentades. Die indeks word beskrywe deur Stander (1993). Geen direkte langtermyn voorspelling is moontlik met die indeks nie. Verdere navorsing om pentade indekse aan die voorkoms van die midsomer droogte, die ENSO en sirkulasiepatrone te koppel is geregverdig. Die projekspan het nie aandag hieraan gegee nie.

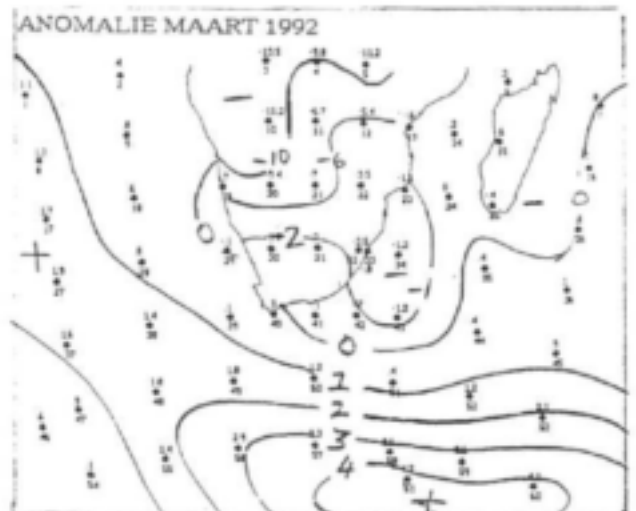
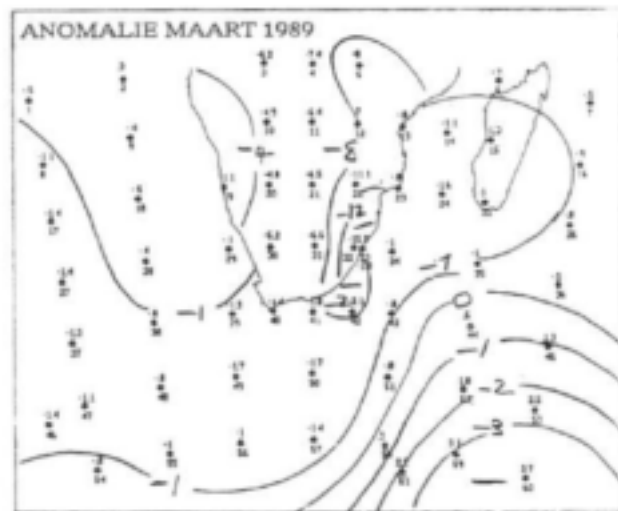
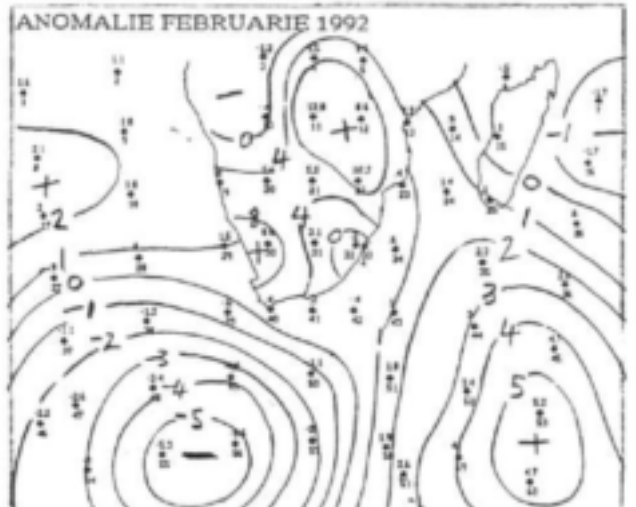
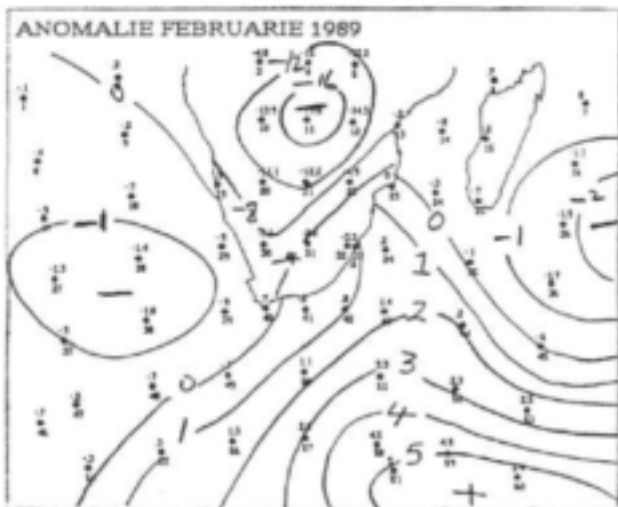
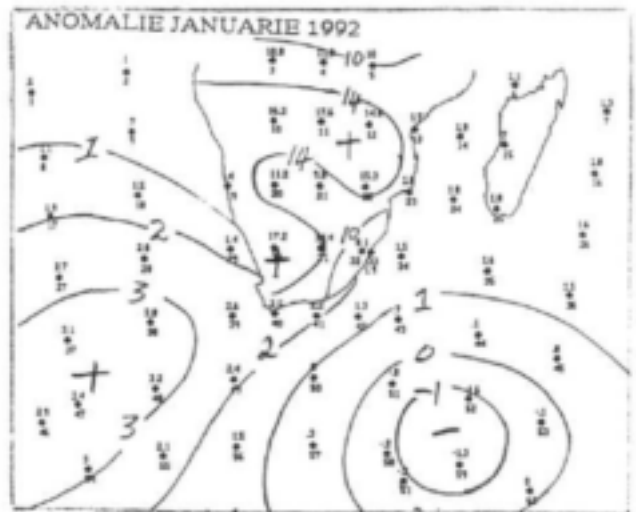
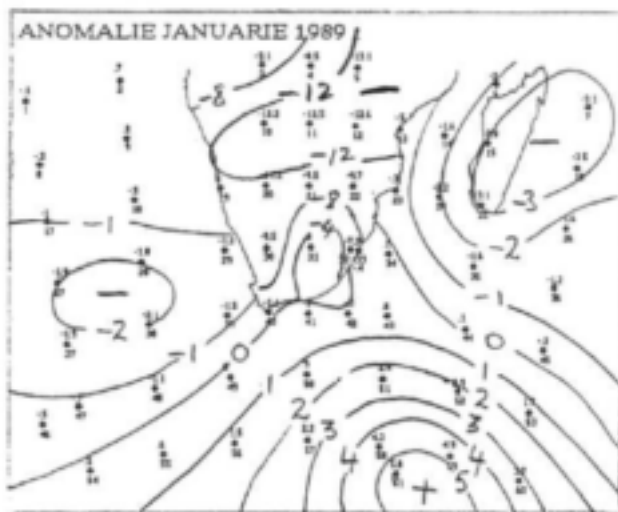


Figuur 28. Die geografiese ligging van die roosterpunte benut vir die versyfering van die daaglikse weerbulletin.



Figuur 29. Maandgemiddelde oppervlak lugdruk anomalie in hPa afkomstig van die daaglikse weerbulletin (Suid-Afrikaanse Weerburo); (a) Oktober, (b) November en (c) Desember 1988.

Figuur 30. Soos fig.29 maar vir 1991.



Figuur 31. Soos fig.27 maar vir (a) Januarie, (b) Februarie en (c) Maart 1989.

Figuur 32. Soos fig.31 maar vir 1992.

HOOFTUK 6

GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS

Die belangrikste gevolgtrekkings en aanbevelings is opsommend as volg:

Seisoenale reënval voorspelling gebaseer op voorspelling van die fase van die ENSO is nog die enigste tegniek met 'n bewese sukses rekord.

Verdere navorsing om tegnieke te ontwikkel om van hierdie eienskap gebruik te maak is belangrik. Statistiese tegnieke en veral Neurale Netwerke Modelle besit die potensiaal om die seisoenale vooruitskouings te verbeter na maand- en streek spesifieke vooruitskouings. Dit is belangrik dat voorspellingstegnieke gebaseer op algemene sirkulasie modelle ontwikkel word. Statistiese en ander metodes sal verdag en beperk bly juis omdat hierdie metodes die fisika van die atmosfeer/oseaan klimaat op 'n indirekte manier aanspreek en in die meeste gevalle ignoreer.

Dit is bemoedigend dat daar reeds 'n groep op die been gebring is wat op 'n maandelikse wyse konsensus vind oor seisoenale klimaat en reënval tendense. Hierdie sogenaamde "South African Long-lead Forecast Forum (SALFF)" bestaan uit navorsers van die SAWB en die onderskeie universiteite. Die verwarrende en verdraaide persberigte wat soms in omloop is kan die doelwitte van SALFF skade berokken. Wat egter belangrik is, is dat SALFF vinnig besig is om, deur die media, publiek en instellings aanvaar word as 'n betroubare en gesaghebbende bron. Dit moet egter gedoen word sonder dat die individuele regte van die deelnemende navorsers in die gedrang kom. Ons meen egter dat SALFF hierin kan slaag.

Dat oseaan oppervlakte temperature 'n groot invloed op die klimaat van Suid-Afrika speel, is herhaaldelik bewys deur die analise van klimaat en algemene sirkulasie modelle sowel as deur konvensionele analise. Wat egter van fundamentele belang vir Suid-Afrika se reënval is, is dat die versteuring van die sirkulasie nie noodwendig 'n eenvoudige oorsaak gevolg situasie is nie. Dit kan eerder gesien word as die nie-liniêre reaksie is op die versteuring van die tropiese sirkulasie. Die modelle wat bestudeer was kon geen uitspraak lewer oor die tempo waarteen die algemene sirkulasieversteurings voorkom nie. Daar is geen bewys gelewer dat die sirkulasie versteurings wat gemodelleer is verteenwoordigend is van 'n finale ewewig sirkulasie nie. Dit is ook heeltemal moontlik dat die verandering in die natuur baie vinnig kan plaasvind nadat 'n sekere drempel SST waarde oorskry word. Wat die navorsing wel opgelewer het is dat die graad van die sirkulasie versteuring soms redelik eweredig is aan die graad en omvang van die SST anomalië. Hierdie voorlopige resultaat verdien verdere noukeurige navorsing.

Navorsingsresultate wat die modellering opgelewer het, het oortuigend dat voorspellings van reënval anomalië oor Suid-Afrika, gegrond op SST anomalië oor die Indiese- en

Stille Oseane met groot omsigtigheid aangepak moet word - ongeag van die gesofistikeerdheid van die analise, tegniek of statistiese model. Gevolglik word aanbeveel dat seisoenale voorspellings, statisties en ander, gegrond op die SST anomalië alleen, minstens gebruik moet word tesame met model prognose en analise. Indien die metodes se resultate verskil moet dit duidelik gestel word dat daar laer betroubaarheid aan die vooruitskouiing geheg word, ongeag watter metode ook al aanvaar word.

Dit is baie belangrik dat navorsing in klimaat modellering voortgesit moet word sodat die gedrag van die atmosfeer beter verstaan en voorspel kan word. Die projekspan is oortuig daarvan dat verdere modellering uiteindelik die heel beste kans op suksesvolle vooruitskouings het.

Die projekspan is tans in besit van die nuutste weergawe van die meer gevorderde 9-vlak klimaat model van die CSIRO (DAR). Mnr J C de W Rautenbach was gedurende 1995 vir vier maande in Melbourne (Australië) by die CSIRO en het opleiding in die gebruik van die model ontvang. Die WNK het dit nie moontlik gevind om hierdie navorsing sonder onderbreking te ondersteun nie. Die projekspan sal egter probeer om met die middele tot ons beskikking die CSIRO-9 ASM gedurende 1995 operasioneel gereed te kry sodat daar in 1996 met navorsing voortgegaan kan word.

Gedurende die laaste vier jaar het die projekspan baie nou saamgewerk met navorsers van die Weerburo en Universiteite. Daar is ook op internasionale vlak met navorsers geskakel. Dit is duidelik dat baie goeie samewerking moontlik en maklik is. As die beperkte fondse en rekenaar kapasiteit in Suid-Afrika in ag geneem word is dit ons oortuiging dat 'n Klimaat Modelleringsgroep reeds in die klein bestaan en verder ontwikkel moet word. Die ondersteuning van die WNK en SNO is hiervoor noodsaaklik.

ROLSPELERS

Projekspan:

Prof J van Heerden	Leerstoel in Weerkunde
Mnr J C de W Rautenbach	Dept Siviele Ingenieurswese
Mnr M M Truter	Universiteit van Pretoria
Mev H Kenyon	

Mev E Klopper	
Mej L Dyson	
Mnr W Tennant	BSc (Weerkunde) Studente
Mej S Stander	
Mev A Baartman	

Prof P A Deston	UP Kontrak Navorser
-----------------	---------------------

Medewerkers en Nagraadse studente:

Mnr C G Schulze	SAWB MSc (1992)
Mnr J H Vermeulen	SAWB MSc (1993)

Mnr D E Terblanche	SAWB
Mnr D O Triegaardt	SAWB
Mnr P C L Steyn	SAWB
Mrs H A Riphagen	SAWB

Mnr W A Landman	MSc (Student)
Ms W Jordaan	PhD (Student)

Dr M Jury	Dept. Oceanography University of Cape Town
-----------	---

Prof P D Tyson	
Dr S Mason	Climatology Research Group
Dr J Lindesay	WITS

Dr J Olivier	Dept. Geografie
Mev E Grobler	Universiteit van Stellenbosch

Dr A P Burger	WNNR
---------------	------

ERKENNINGS

Die Waternavorsingskommissie word bedank vir die finansiële steun en aanmoediging. In besonder Dr G Green vir sy leiding.

Sonder die ondersteuning van die Suid Afrikaanse Weerburo, Hoofdirekteur en sy personeel sou hierdie projek nie gevorder het nie. Baie geluk aan daardie Weerburo personeellede wat tydens die duur van hierdie projek akademiese kwalifikasies verwerf het. In die besonder ook wyle Mnr D O Triegaardt wie se besondere insig in die dinamika van die atmosfeer 'n belangrike bydrae gelewer het tot die vordering wat gemaak is.

Die Stigting vir Navorsings Ontwikkeling se finansiële bydrae tot die raakvlakkige SACCAIM projek, onder die oorhoofse leiding van Prof P D Tyson, het dit moontlik gemaak dat baie van die navorsing gekoördineerd kon plaasvind. Veral Dr M Jury (UK) se belangstelling in die model uitvoere en sy ywer om resultate te verkry was 'n groot aansporing. Prof P D Tyson en Dr S Mason van WITS se belangstelling en advies word waardeur asook die koördinerende rol van Dr D Walmsley (SNO).

Die Departementshoof, Dept. Siviele Ingenieurswese, Dekaan Fakulteit Ingenieurswese asook die topbestuur van die Universiteit Pretoria vir u volgehoue ondersteuning, belangstelling en die infrastruktuur waarin die projek geloop het.

SEPCO, 'n filiaal van CORDATA, wat goedgunstelik die CONVEX C-120 aan die projekspan verskaf het. Hierdie bydrae het al die klimaat model lopies moontlik gemaak en het gekom op 'n stadium toe die projek in ernstige gevaar was om te faal weens onvoldoende rekenaar kapasiteit. Mej S Bunge en Mnr K Joubert, van SEPCO, ons waardering vir u sagte- en hardeware ondersteuning, dikwels op ongeleë tye.

In besonder ook die lede van die projekspan wat dikwels met groot opoffering gesorg het dat die navorsing deurgevoer word.

Aan al die lede van die Loodskomitee:

<i>Dr G C Green</i>	<i>Prof W J R Alexander</i>
<i>Mnr G C Schulze</i>	<i>Mnr D E Terblanche</i>
<i>Prof G B Brundrit</i>	<i>Dr A W Seed</i>
<i>Dr J A Lindesay</i>	<i>Mnr C G Groenewald</i>
<i>Mnr H Maaren</i>	<i>Mnr P W Weideman</i>
<i>Dr P C M Reid</i>	

U leiding was belankrik

BRONNELYS

Artikels, Referate en Boeke

- Aceitune, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. Monthly Weather Review, vol.116, pp 505-524.
- Alexander, W.J.R. (1993). Climate change and its possible effects on floods, droughts and water resource management. February 1993 University of Pretoria, Water Resource Studies.
- Alexander, W.J.R. (1993). Flood Risk Reduction Measures. Department of Civil Engineering, University of Pretoria. May 1993.
- Alexander, W.J.R. and Van Heerden, J. (1990). Determination of the Risk of Widespread Interruption of Communications due to Floods. RDAC Report no. 90/16.
- Allan, R.J. (1992). Fluctuations in ENSO and Teleconnection Structure. Paper presented at the 27th International Geographical Union (IGU) Commission on Climatology, Pennsylvania State University, USA 3-7 August 1992.
- Barnett, T.P. (1984). Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at interannual time scales. Part III: A partial anatomy of the Southern Oscillation. Monthly Weather Review, vol. 112, pp 2388-2400.
- Barclay, J.J. (1992). Wet and Dry Troughs over Southern Africa During Early Summer. March 1992. University of Cape Town.
- Bartman, G.A. (1993). Die invloed wat grondvog en temperatuur uitoefen op 'n globale numeriese voorspellingsmodel. Departement Siviele Ingenieurswese, Leerstoel Weerkunde, Universiteit van Pretoria.
- Behrend, H. (1984). Teleconnections of tropical rainfall anomalies and the Southern Oscillation. Tropical Rainfall Anomalies and Climatic Change (editor: H.Flohn), Heft 31, Bonner Meteorologische Abhandlungen. Bonn: Drummler.
- Bigg, G.R. El Nino and the Southern Oscillation. University of East Anglia, UK.
- Bjerknes, J. (1966). A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. Tellus, vol 18, pp 820-829.
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. Monthly Weather Review, vol 97, pp 163-172.
- Canby, T.Y. (1984). El Nino's ill wind. National Geographic, vol 1652.
- Cane, M.A. (1986). Predicting El Nino and the Southern Oscillation. Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University, 1983-1986. Editor R.Jellinek, New York: Palisades, pp 11-13.
- Cane, M.A. and Zebiak, S.E. (1987). Prediction of the El Nino events using a physical model.

Atmospheric and Oceanic Variability. Editor: H Cattle, Royal Meteorological Society, Bracknell, Berkshire. pp 153-182.

Carleton, A.M. (1989). Antarctic sea-ice relationships with indices of the atmospheric circulation of the Southern Hemisphere. Climate Dynamics, 3, 207-220.

Chen, W.Y. (1982). a. Assessment of Southern Oscillation sea-level pressure indices. Monthly Weather Review. vol 110, pp 800-807.

Curry, R.G. (1993). Luni-Solar 18.6- and 10-11-year Solar Cycle Signals in South African Rainfall. Inter.J. of Climatology, 13, 237-256.

D'Abreton, P.C. and Lindesay, J.A. (1993). Water Vapour Transport over Southern Africa During Wet and Dry Early and Late Summer Months. Int. J. Climatology. 13, 151-170.

De Villiers, M.P. (1992). The Role of Orographic Forcing on Heavy Precipitation over Natal. July 1992. School of Electrical Engineering, Technikon Pretoria.

Dyer, T.G.J. (1976). Expected future rainfall over selected parts of South Africa. South African Journal of Science. vol 72, pp 237- 239.

Dyer, T.G.J. (1979). Rainfall along the east coast of southern Africa, the southern oscillation, and the latitude of the sub- tropical high pressure belt. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol 105, pp 445-451

Edwards, M. (1987). The Natal Floods of September 1987. Weather Bureau Newsletter, no. 462, pp 1-3.

Fennessy, M.J. and Shukla, J. (1988). Numerical simulation of the atmospheric response to the time-varying El Nino SST anomalies during May 1982 through October 1983. Journal of Climate, vol 1, pp 195-211.

Fu C., Diaz H.F. and Fletcher, J.O. (1986). Characteristics of the response of sea surface temperatures in the central Pacific associated with warm episodes of the Southern Oscillation. Monthly Weather Review, vol 114, pp 1716-1738.

Gordon, H.B. (1983). Synoptic Cloud Variations in a Low Resolution Spectral Atmospheric Model. Journal of Geophysical Research. vol 88, no.C11, pp 6563-6575.

Gordon, H.B. (1992). The CSIRO 4-level Atmospheric General Circulation Model. CSIRO Division of Atmospheric Research, Technical Paper no. 28, Australia.

Gordon, H.B. and Hunt, B.G. (1991). Droughts, Floods and Sea-surface temperature anomalies: A modelling approach. International Journal of Climatology, vol 11, 347-365.

Gordon, N.D. (1984). The Southern Oscillation and New Zealand weather. Monthly Weather Review, no 114, 371-387.

Gray W.M., Sheaffer, J.D. and Knaff, J.A. Hypothesized Mechanism for Stratospheric QBO Influence on ENSO variability. Department of Atmospheric Science, Colorado State University.

Halpert, M.S. and Ropelewski, C.F. (1989). Atlas of Tropical Sea Surface Temperature and Surface Winds. NOAA Atlas no. 8, U.S.Department of Commerce, 14p.

Hamilton, K. (1988). A detailed examination of the extratropical response to tropical El Nino/Southern Oscillation events. Journal of Climatology, vol 8, pp 67-88.

- Hansen, A.R., Sutera, A. and Venne, D.E. (1989). An examination of midlatitude power spectra: evidence for standing variance and the signature of El Nino. Tellus 41A, 371-384 October 1989.
- Harrison, M.S.J. (1983). a. The identification of rain-bearing synoptic systems through principal component analysis. Proceedings of the seminar on principal components analysis in the atmospheric and earth sciences. Pretoria: Council for Scientific and Industrial Research, pp 75-92.
- Harrison, M.S.J. (1983). b. The Southern Oscillation, zonal equatorial circulation cells and South African rainfall. Preprints of the First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, pp 302-305.
- Harrison, M.S.J. (1986). a. Verification of the Eliassen-Palm relationship over Southern Africa. Preprints of the Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 283-286.
- Harrison, M.S.J. (1986) b. Circulation variations on a semi-annual cycle over Southern Africa, Preprints of the Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, pp 382-385.
- Harrison, M.S.J. (1986). c. A synoptic climatology of South African rainfall variations. Unpublished Ph.D. thesis. University of the Witwatersrand, 341p.
- Hastenrath, S.L. (1968). On mean meridional circulation in the tropics. Journal of the Atmospheric Sciences, vol, 25, pp 979- 983.
- Hastenrath, S. (1985). Climate and circulation of the tropics. Dordrecht: D Reidel Publishing Company.
- Hastenrath, S. (1986). On climate predication in the tropics. Bulletin of American Meteorological Society, 67, No.6, 696-702.
- Hastenrath, S. and Greischar, L.L. (1989). Climate Atlas of the Indian Ocean. Part III: Upper-Ocean Structure. The University of Wisconsin Press. USA.
- Hastenrath, S., Greischar, L. and Van Heerden, J. Prediction of the summer rainfall over South Africa. Accepted for publication by the Journal of Climate.
- Holton, J.R. (1992). An Introduction to Dynamic Meteorology. Third Edition. (Book) vol.48 in the International Geophysics Series.
- Hunt, B.G. and Gordon, H.B. (1989). Diurnally varying regional climatic simulations. International Journal of Climatology, vol 9, 331-356.
- Hunt, B.G. and Gordon, H.B. (1991). Simulations of the USA drought of 1988. International Journal of Climatology, vol 11, 629-644.
- Hunt, B.G., Zebiak, S.E. and Cane, M.A. (1994). Experimental Predictions of climatic variability for lead times of twelve months. International Journal of Climatology, 14, 507-526.
- Hunter, I.T. (1987). The Weather of the Agulhas Bank and the Cape South Coast. CSIR Research Report, Stellenbosch. SA. September 1987.
- Hurrell, J.W. and Van Loon, H. (1993). A Disruption of the Atmospheric Annual Cycle in the Southern Hemisphere. submitted to Tellus
- Ismail, S.A. (1987). Long-range seasonal rainfall forecast for Zimbabwe and its relation with El Nino/Southern Oscillation ENSO. Theoretical and Applied Climatology, vol 38, pp 93-102.
- Janowiak, J.E. (1988). An investigation of interannual rainfall variability in Africa. Journal of Climate, 1, 240-255.

- Jury, M.R. (1993). A Preliminary Study of Climatological Associations and Characteristics of Tropical Cyclones in the SW Indian Ocean. Meteorol.Atmos.Phys. 51, 101-115.
- Jury, M.R. (1993). A preliminary note on rainfall and vegetation trends in the south-western Cape: 1985-1988. S.Afr.J.Bot. 59(2) 265-269.
- Jury, M.R. and Courtney, S. (1991). A transition in weather over the Agulhas Current, S A J Mar Sci. 10 159-171.
- Jury, M.R. and Levey, K. (1993). The Eastern Cape Drought. Water SA 19, April 1993.
- Jury, M.R. and Lutjeharms, J.R.E. (1993). Die struktuur en moontlike aandrywingskragte van die 1991-1992-droogte in suidelike Afrika. SA Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie, 12.
- Jury, M.R. and Pathack, B. (1991). A study of climate and weather variability over the tropical southwest Indian Ocean. Meteorology and Atmospheric Physics, 47, 36-48.
- Jury, M.R., Pathack, B.M.R., Campbell, G., Lang, B. and Landman, W. (1991). Transient convective waves in the tropical SW Indian Ocean. Met. Atm. Physics, 47, 27-36.
- Jury, M.R., Pathack, B.M.R. and Sohn, B.J. (1992). Spatial structure and interannual variability of summer convection over southern Africa and the SW Indian Ocean. S.Afr J.Sci., 88, 275-280.
- Jury, M.R., Pathack, B. and Legler, D. (1992). The structure and variability of surface circulation anomalies in the SW Indian Ocean in the austral summer. S. Afr. J. mar Sci., 11, 1-14.
- Jury, M.R. Pathack, B.M.R. (1993). Composite climatic patterns associated with extreme modes of summer rainfall over southern Africa: 1975-1984. Theoretical and Applied Climatology, 47, 137- 145.
- Jury, M.R., Pathack, B. and Rautenbach, C.J.de W. (1993). Late summer drought over Southern Africa and above normal SST in the central Indian Ocean: Statistical Correlations and GCM results. Abstract submitted to Journal of Climate.
- Jury, M.R., Pathack, B.M.R., Waliser, D. (1993). Satellite OLR and microwave data as a proxy for rainfall in the southern Africa - Madagascar region. Intl.J.Climatology. 13, 257-269.
- Jury, M.R., Pathack, B.M.R., Wang, B., Powell, M.D. and Raholijao, N. (1994). A destructive tropical cyclone season in the SW Indian Ocean: January-February 1984. S.Afr Geogr J., 75, (2) 53-59.
- Jury, M.R., Valentine, H.R. and Lutjeharms, R.E. (1993). Influence of the Agulhas Current on Summer Rainfall along the Southeast Coast of South Africa. J. Applied Meteorology, 32, July 1993.
- Karoly, D.J. (1985). Southern Hemisphere circulation anomalies associated with ENSO events. Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter, 1985, p 19.
- Kousky, V.E., Kagano, M.T. and Calvalcanti, I.F.A. (1984). A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. Tellus, vol 36A, pp 490-504.
- Kyle, H.L., Arbanuy, P.E and Hucke, R.R. (1986). El Nino and outgoing longwave radiation: An atlas of Nimbus-7 earth radiation budget observations. NASA Reference Publication 1163. NASA, Scientific and Technical Information Branch, 92p
- Landman, W.A. (1992). 'n Lineêre Tweevlak Model Vir Stasionêre Golwe in die Suidelike Halfrond. (Modelbeskrywing en Gevallestudies). Januarie 1992. Fakulteit Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria.
- Landman, W.A. (1994). A study of the rainfall variability of the summer rainfall regions of South Africa

as revealed by Principle Component Analysis. IRICP Pilot Project, Lamont.

Lengoasa, J.R. (1991). Surface Temperature Fields and Circulation Variations over Southern Africa. SA Geographical Journal, 73, 41- 47.

Levey, K., McQueen, C., Parker, B., Lee-Thorpe, A., Makarau, A and Pathack, B. (1993). Correlation Atlas of Climatic Determinants for Sub-Tropical Southern Africa and the SW Indian Ocean using indices of summer season rainfall and field variables of SST, OLR and Wind. April 1993. prepared under auspices of the Water Research Commission project: Mechanisms of rainfall variability.

Lindesay, J.A. (1986). Southern African circulation and the Southern Oscillation. South African Society Atmos. Sci. Newsletter, 4, 9-14.

Lindesay, J.A. (1988). South African Rainfall, The Southern Oscillation and a Southern Hemisphere semi-annual cycle. Journal of Climatology, vol 8 1, pp 17-30.

Lindesay, J.A. (1988). The Southern Oscillation and atmospheric circulation changes over Southern Africa. Unpublished Ph.D. thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg. 284pp.

Lindesay, J.A. (1990). Mechanisms of climatic change: a review. SA J. Science, 86, July-Oct 1990.

Lindesay, J.A. (1986). The Southern Oscillation and flow fields over Southern Africa. Preprints of the Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 457-460.

Lindesay, J.A., Harrison, M.S.J. and Haffner, M.P. (1986). The Southern Oscillation and South African rainfall. South African Journal of Science, vol 82, pp 196-198.

Longley, R.W. (1976). Weather and Weather Maps of South Africa. Technical Paper no. 3. Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria.

Louw, W.J. (1979). Orange Free State Rainfall. Part I. General characteristics. Technical Paper No.6, Pretoria: South African Weather Bureau, 40p.

Louw, W.J. (1979). Orange Free State Rainfall Part II, Probabilities. Technical Paper no. 7, Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria.

Louw, W.J. (1982). Oscillations in Orange Free State Rainfall. Technical Paper no. 11, Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria. 53p.

Lutjeharms, J.R.E. (1985). Die wisselwerking tussen oseaan en atmosfeer: 'n oorsig. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie, vol 43, pp 111-119.

Mason, S.J. and Mimmack, G.M. (1992). The Use of Bootstrap Confidence Intervals for the Correlation Coefficient in Climatology. Theor. Appl. Climatology, 45,229-233.

McGregor, J.L., Gordon, H.B., Watterson, I.G., Dix, M.R. and Rotstayn, L.D. (1993). The CSIRO 9-level Atmospheric General Circulation Model. CSIRO Division of Atmospheric Research Technical Paper no. 26, Australia.

Miron, O. and Tyson, P.D. (1984). Wet and dry conditions and pressure anomaly fields over South Africa and the adjacent oceans, 1963-79. Monthly Weather Review, vol 112, pp 2127-2132.

Mo, K.C. and Van Loon, H. (1985). Climatic trends in the Southern Hemisphere. Journal of Climate and Applied Meteorology, vol 24, pp 777-789.

Muhlenbruch-Tegen, A. (1992). Long-term surface temperature variations in South Africa. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Wetenskap, 88, April 1992.

- Nicholls, N.(ed). (1984). Long-range weather forecasting: recent research. Long-range Forecasting Research, Publication series 3, WMO, Geneva, 58pp.
- Nicholls, N. (1985). b. Towards the prediction of major Australian droughts. Australian Meteorological Magazine, vol 33, pp 161-166.
- Nicholls, N. (1988). a. El Nino-Southern Oscillation impact prediction. Bulletin American Meteorological Society, vol 692, pp 173-176.
- Nicholls, N. (1988). b. El Nino-Southern Oscillation and rainfall variability. Journal of Climate, vol 1, pp 418-421.
- Nicholson, S.E. (1986). a. The nature of rainfall variability in Africa south of the equator. Journal of Climatology, vol 6, pp 515-530.
- Nicholson, S.E. (1986). b. The spatial coherence of African rainfall anomalies: Interhemispheric teleconnections, Journal of Climate and Applied Meteorology, 25, 1365-1381.
- Nicholson, S.E. (1989). Long-term changes in African rainfall. Weather, February, pp 46-56.
- Nicholson, S.E. and Entekhabi, D. (1987). Rainfall variability in equatorial and Southern Africa: Relationships with sea surface temperatures along the southwestern coast of Africa. Journal of Climate and Applied Meteorology, 26, 561-578.
- Ogallo, L.J. (1988). Relationships between seasonal rainfall in East Africa and the Southern Oscillation. Journal of Climatology, vol 8, (1), pp 31-43.
- Olivier, J. (1989). Some Temporal Aspects of Hail in the Transvaal. SA Geographer, 16(1/2) September 1988/April 1989.
- Owen, J.A. and Palmer, T.N. (1987). The impact of El Nino on an ensemble of extended-range forecasts. Monthly Weather Review, vol 115, pp 2103-2117.
- Pathack, B.M.R. (1993). Modulation of south African summer rainfall by global climatic processes. Unpublished Ph.D. thesis. University of Cape Town.
- Pathack, B.M.R., Jury, M.R., Shillington, F.A. and Courtney, S. (1993). South African summer rainfall variability and its association with the marine environment. Executive summary, Department of Oceanography, University of Cape Town.
- Philander, S.G.H. (1983). El Nino Southern Oscillation phenomena. Review article, Nature, vol 302, (24), pp 295-301.
- Philander, S.G.H. (1985). El Nino and La Nina. Journal of the Atmospheric Sciences, 42. 2652-2662.
- Philander, S.G.H. (1986). Predictability of El Nino. Nature, vol 321, (26) pp 810-811.
- Philander, S.G. and Rasmusson, E.M. (1986). The Southern Oscillation and El Nino. Advance in Geophysics. vol 28A, Academic Press Inc. pp 197-215.
- Quinn, W.H. (1974). Monitoring and predicting El Nino invasions. Journal of Applied Meteorology, vol 13, pp 825-830.
- Quiroz, R.S. (1983). Relationships among the stratospheric and tropospheric zonal flows and the Southern Oscillation. Monthly Weather Review, vol 111, pp 143-154.
- Ramage, C.S. and Hori, A.M. (1981). Meteorological Aspects of El Nino, Monthly Weather Review, 109, September 1981.

Rasmusson, E.M. and Carpenter, T.H. (1982). Variations in tropical sea surface temperatures and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Nino. Monthly Weather Review, vol 110, pp 354-384.

Rasmusson, E.M. and Carpenter, T.H. (1983). The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri. Monthly Weather Review, vol 111, pp 517-528.

Rasmusson, E.M. and Hall, J.M. (1983). Pacific Ocean event of 1982- 1983. Weatherwise, August, pp 167-175.

Rasmusson, E.M. and Wallace, J.M. (1983). Meteorological aspects of the El Nino/Southern Oscillation. Science, vol 222, (4629) pp 1195 -1202.

Reiter, E.R. (1983). Teleconnections with tropical precipitation surges. Journal of Atmospheric Sciences, vol, 40, pp 1631-1647.

Rogers, J.C. and Van Loon, H. (1982). Spatial variability of sea level pressure and 500 mb height anomalies over the Southern Hemisphere. Monthly Weather Review, vol 110(10), pp 1375-1391.

Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nino/Southern Oscillation. Monthly Weather Review, vol 115, pp 1606-1626.

Ropelewski, C.F. and Jones, P.D. (1987). An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. Monthly Weather Review, vol 115, pp 2161-2165.

Rowntree, P.R. Estimates of future climatic change over Britain. Weather.

Schulze, B.R. (1965). Klimaat van Suid-Afrika. Deel 8, Algemene Oorsig. Climate of South Africa. Part 8, General Survey. Weather Bureau, Department of Environment Affairs. January 1965.

Schulze, G.C. (1983). 'n Moontlike verband tussen die Suidelike Oosiliasie/El Nino-verskynsel en droogtes oor die somerreënvalstreke van Suid-Afrika. 'n Voorlopige studie. Suid-Afrikaanse Weerburo Nuusbrief, no 410, pp 79-84.

Schulze, G. (1984). 'n Oorsigtelike bespreking van drukveranderings en sinoptiese drukpatrone in die Suidelike Halfrond in die tydperk Oktober 1982 tot Februarie 1983. South African Journal of Science, vol 80, pp 94-97.

Schulze, G.C. (1986). South African rainfall related to Warm and Cold Events. In proceedings: Second International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, American Meteorological Society, 465-467.

Schulze, G.C. (1988). El Nino en La Nina - Die seun en die dogter. Weerburo Nuusbrief, nr 475, Oktober 1988, pp 7,8.

Schulze, G.C. (1989). Die ongewone weer van Februarie 1989. Nuusbrief: Suid-Afrikaanse Vereniging vir Atmosferiese Wetenskappe, no.9, Maart, pp 21-23.

Schulze, G.C. (1989). Seisoensvariasies van Reënval oor die somer- reënstreke van Suid-Afrika. Fakulteit Natuurwetenskappe, Universiteit van Pretoria. Oktober 1989.

Stander, S. (1993). Pentade-indeks vir Intydse Identifisering van Weerkundige Droogte. November 1993. Fakulteit Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria.

Steyn, P.C.L. (1988). Thermodynamic profiles in relation to precipitation for a summer season at Bethlehem. Weather Bureau Newsletter, no 468, March 1988, pp 1-4.

- Steyn, P.C.L. en Poolman, E. (1991). Artikel: Die Termodinamiese struktuur van die atmosfeer tydens diep konvektiewe stelsels. Weerburo-Nuusbrief, nr.510, Sept 1991, pp 6-9.
- Steyn, P.C.L. and Taljaard, J.J. (1990). Aspects of the Upper-air Circulation, Temperature, Humidity and Stability over Southern Africa. Technical Paper no. 22, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- Stone, P.H. and Chervin, R.M. (1984). The influence of ocean surface temperature on the Walker Circulation. Part II: prescribed global changes, Monthly Weather Review, 112, 1524-1534.
- Taljaard, J.J. (1967). Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during the IGY. Journal of Applied Meteorology, vol 66, pp 973-987.
- Taljaard, J.J. (1981). The Anomalous Climate and Weather Systems of January to March 1974. Technical Paper no. 9, Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria.
- Taljaard, J.J. (1981). Upper-air Circulation, Temperature and Humidity over Southern Africa. Weather Bureau, Pretoria, Technical paper no.10, 94pp.
- Taljaard, J.J. (1982). b. The March maximum of the rainfall over the western plateau of Southern Africa. South African Weather Bureau News Letter, no. 397, pp 51-53.
- Taljaard, J.J. (1982). c. Cut-off lows and heavy rain over the Republic. South African Weather Bureau News Letter, no. 403, pp 155-157.
- Taljaard, J.J. (1985). Cut-off lows in the South African region. Technical Paper no. 14, Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria.
- Taljaard, J.J. (1986). Contrasting atmospheric circulation during dry and wet summers in South Africa. Suid-Afrikaanse Weerburo Nuusbrief, nr.445.
- Taljaard, J.J. (1986). Change in rainfall distribution and circulation patterns over South Africa in summer. Journal of Climatology, 6. pp 579-592.
- Taljaard, J.J. (1987). The anomalous climate and weather systems over South Africa during Summer 1975-1976. Technical Paper no. 16, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- Taljaard, J.J. (1989). Climate and circulation anomalies in the South African region during the dry summer of 1982/83. Technical Paper no. 21, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- Taljaard, J.J. (1990). Advection of "Moist Air" from Namibia or the Eastern Tropical Atlantic Ocean over South Africa in Winter. Weather Bureau Newsletter, no.498, September 1990, pp 2-4.
- Taljaard, J.J. (1991). Article: Reënhoëdrukstelsels. Weather Bureau Newsletter, July 1991. no. 508, pp 6-8.
- Taljaard, J.J. and Steyn, P.C.L. (1988). Relationships between rainfall, runoff and weather systems in the catchment of the Vaal Dam. Technical Paper no. 20, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- Taljaard, J.J. and Steyn, P.C.L. (1991). Relationships between atmospheric circulation and rainfall in the south African region. Technical Paper no. 24, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- Taljaard, J.J. and Van Loon, H. (1963). Cyclogenesis, cyclones and anticyclones in the Southern

Hemisphere during summer 1957-1958. Notos, vol.12, pp 37-50.

Tennant, W.J. Rainfall during the September 1987 Natal Floods as Predicted by the WBGCM. Department of Civil Engineering, University of Pretoria.

Tennant, W.J. and Van Heerden, J. (1994). The influence of orography and local sea-surface temperature anomalies on the development of the 1987 Natal floods: a general circulation model study. South African Journal of Science, 90, 45-49. January 1994.

Terblanche, D.E. (1987). Behoudendheid in die Maandgemiddelde 500-hPa-anomalievelde van die suidelike halfrond. Weerburo Nuusbrieff, nr. 463, pp 2,3.

Terblanche, D.E. (1988). Enkele aspekte van die suidelike halfrondsirkulasie gedurende 1982/83 en 1983/84 met spesifieke verwysing na die Suid-Afrikaanse gebied. Weerburo Nuusbrieff, Januarie 1988, nr 466, pp 1-6.

Terblanche, D.E. en Taljaard, J.J. (1987). Reënvalkontraste oor suid- en suidwes- Afrika en anomalieë van die atmosferiese sirkulasie in Desember 1986 en Januarie en Februarie 1987. Weerburo Nuusbrieff, No 456, Maart 1987, pp 4-10.

Theron, G.F. and Harrison, M.S.J. (1991). Thermodynamic Properties of the Mean Circulation Around Southern Africa. Theor. Appl. Climatology, 43, 161-174.

Trenberth, K.E. (1976). Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol.102, pp 639-653.

Trenberth, K.E. (1984). Signal versus noise in the Southern Oscillation. Monthly Weather Review, vol 112, pp 326-332.

Trenberth, K.E. (1987). The zonal mean westerlies over the Southern Hemisphere. Monthly Weather Review, vol,115, pp 1528-1533.

Trenberth, K.E. and Shea, D.J. (1987). On the evolution of the Southern Oscillation. Monthly Weather Review, vol 115, pp 3078-3096.

Triegaardt, D.O. (1985). Hoë- en lae-indeksirkulasiefluktuasies by Goughiland. Weerburo Nuusbrieff, no.430, pp 1-6.

Triegaardt, D.O. (1992). Hemispherical circulation anomalies during February 1992. Weather News Letter, February 1992. no.515, pp 16-17.

Triegaardt, D.O. and Landman, W.A. (1992). Charts of the mean circulation over the Monsoon Region of the World. Technical Paper, No.25. Weather Bureau, Department of Environment Affairs.

Triegaardt, D.O. and Landman, W.A. (1994). The influence of atmospheric long-waves on summer rainfall in the Transvaal, Orange Free State and Natal. Technical Paper, no. 26, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.

Triegaardt, D.O. and Terblanche, D.E. (1988). A case study of a rapid cyclogenesis over the subcontinent on 2 September 1988. Weather Bureau Newsletter, no.474, September 1988, pp 1-5.

Triegaardt, D.O., Terblanche, D.E., Van Heerden, J. and Laing, M.V. (1988). The Natal Flood of September 1987. Technical Paper no. 19, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.

Triegaardt, D.O., Van Heerden, J and Steyn, P.C.L. (1991). Anomalous precipitation and floods during

- February 1988. Technical Paper no. 23, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- Triegaardt, D.O. en Vermaak, L. (1990). Die swaar reën oor Suid- en Oos-Kaapland gedurende November 1989. Weerburo Nuusbriëf, nr 490, Januarie 1990, pp 6-10.
- Troup, A.J. (1965). The 'Southern Oscillation', Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 91, 490-506.
- Tyson, P.D. (1981). Atmospheric circulation variations and the occurrence of extended wet and dry spells over southern Africa. Journal of Climatology, vol 1, pp 115-130.
- Tyson, P.D. (1986). Climate Change and Variability in Southern Africa. University of the Witwatersrand, Johannesburg. Oxford University Press, Cape Town 1986.
- Tyson, P.D. (1990). Modelling climatic change in southern Africa: a review of available methods. SA J. of Science, 86, July-Oct 1990.
- Tyson, P.D. (1991). Climatic Change in Southern Africa: Past and Present Conditions and Possible Future Scenarios. April 1991. Climatic Change.
- Tyson, P.D. and Dyer, T.G.J. (1978). The Predicted Above-normal Rainfall of the Seventies and the Likelihood of Droughts in the Eighties in South Africa. SA Journal of Science, 74, October 1978.
- Tyson, P.D., Dyer, T.G.J. and Mametse, M.N. (1975). Secular changes in South African rainfall: 1880 to 1972. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol 101, pp 817-833.
- Van Den Berg, H.J.C. (1989). Pretoria's dullest summer in more than 50 years. Weather Bureau Newsletter, no. 479, February 1989, pp 3-5.
- Van Heerden, J., Terblanche, D.E. and Schulze, G.C. (1988). The Southern Oscillation and South African summer rainfall. Journal of Climatology, 8, 577-597.
- Van Loon, H. (1967). The half-yearly oscillation in middle and high southern latitudes and the coreless winter. Journal of the Atmospheric Sciences, vol.24, pp 472-486.
- Van Loon, H. (1983). A comparison of the quasi-stationary waves on the Northern and Southern Hemispheres. In proceedings: First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology. American Meteorological Society, pp 77-84.
- Van Loon, H. (1984). The Southern Oscillation. Part III: Associations with the Trades and with the Trough in the Westerlies of the South Pacific Ocean. Monthly Weather Review, 112, May 1984. pp 947-954.
- Van Loon, H. and Labitzke, K. (1987). The Southern Oscillation. Part V: The anomalies in the lower stratosphere of the Northern Hemisphere in winter and a comparison with the quasi-biennial oscillation. Monthly Weather Review, vol 115, pp 357-369.
- Van Loon, H. and Madden, R.A. (1981). The Southern Oscillation. Part I: Global associations with pressure and temperature in the northern winter. Monthly Weather Review, vol 109, pp 1150-1162.
- Van Loon, H. and Rogers J.C. (1981). The Southern Oscillation. Part II: Associations with changes in the middle troposphere in the northern winter. Monthly Weather Review, vol 109, pp 1163-1168.
- Van Loon, H. and Shea D.J. (1985). The Southern Oscillation. Part IV: The precursors south of 15° S to the extremes of the Oscillation. Monthly Weather Review, vol 113, pp 2063-2074.
- Van Loon, H. and Shea D.J. (1987). The Southern Oscillation. Part VI: Anomalies of Sea Level Pressure

on the Southern Hemisphere and of Pacific Sea Surface Temperature during the Development of a Warm Event. Monthly Weather Review, vol.113, pp 2063-2074.

Van Loon, H., Kidson, J.W. and Mullan, A.B. (1992). Decadal Variation of the Annual Cycle in the Australian Dataset. Journal of Climate, 6, June 1993.

Van Rooy, P. (1972). District Rainfall for South Africa and the annual march of rainfall over South Africa. Climate of South Africa no.10, Weather Bureau, Pretoria. WB-35.

Van Rooy, M.P. (1980). Extreme rainfall anomalies over extensive parts of South Africa during periods of 1 to 5 successive "summer years". Technical Paper no.8, South African Weather Bureau, 32p.

Venne, D.E. and Dartt, D.G. (1990). An examination of possible solar cycle-QBO effects in the northern Hemisphere Troposphere. J.Climate.

Vermeulen, J.H. (1993). Die Tydnaloop gemiddelde voorspellingstegniek vir medium-en langtermynweervoorspelling in Suider-Afrika. September 1993. Departement Siviele Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria.

Viljoen, F. (1987). Distrikreënval vir Suid-Afrika: 1921 tot 1986. Weerburo Nuusbrief, Augustus 1987, no 461, pp 2,3.

Vogel, C.H. (1990). Assessment of Impacts associated with drier or warmer scenarios. Research Letters/Navorsingsberigte. Suid- Afrikaanse Tydskrif vir Wetenskap, 86 Julie-Oktober 1990.

Von Storch, H., Van Loon, H. and Kiladis, G.N. (1988). The Southern Oscillation. Part III: Model sensitivity to SST anomalies in the tropical and subtropical regions of the South Pacific Convergence Zone. Journal of Climate, vol 1, pp 325-331.

Walker, N.D. (1989). Sea Surface temperature-rainfall relationships and associated ocean-atmosphere coupling mechanisms in the Southern African Region. Unpublished Ph.D. Thesis. University of Cape Town, 173pp.

Walker, N.D. (1990). Links between South African summer rainfall and temperature variability of the Agulhas and Benguela Current Systems, Journal of Geophysical Research 95, 3297-3319.

Walker, G.T and Bliss, E.W. (1928). World weather III. Memoirs of the Royal Meteorological Society, vol II, 17 pp 97-134.

Walker, G.T. and Bliss, E.W. (1930). World weather IV. Some applications to seasonal foreshadowing. Memoirs of the Royal Meteorological Society, vol, III, 24 pp 81-94.

Walker, G.T. and Bliss, E.W. (1932). World weather V. Memoirs of the Royal Meteorological Society, vol IV, 36 pp 53-84.

Walker, N.D. and Lindesay, J.A. (1989). Preliminary observations of oceanic influences on the February-March 1988 floods in central South Africa. South African Journal of Science, vol. 85, pp 164-169.

Walker, N.D. and Shillington, F.A. (1990). The effect of Oceanographic variability on South African weather and climate. S. Afr. J. Science, 86, 382-386.

Weare, B.C. (1986). a. An extension of an El Nino index. Monthly Weather Review, vol 114, pp 644-647.

Whetton, P.H., Rayner, P.J., Pittock, A.B. and Haylock, M.R. (1994). An Assessment of Possible

Climate Change in the Australian Region Based on an Intercomparison of General Circulation Modeling Results. American Meteorological Society. March 1994.

Wood, F.B. (1990). Monitoring Global Climate Change: The case of Greenhouse Warming. Bulletin American Met. Society.

Wu, M-C. and Hastenrath, S. (1986). On the interannual variability of the Indian monsoon and the Southern Oscillation. Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, vol 36, (3-4), pp 239-261. Editor I. Dirmhirn, New York: Springer-Verlag Wien.

Zebiak, S.E. (1986). Atmospheric convergence feedback in a simple model for El Nino. Monthly Weather Review, vol 114, pp 1263-1271.

Zebiak, S.E. (1989). Oceanic heat content variability and El Nino cycles. Journal of Physical Oceanography, vol 19, (4), pp 475-486.

Zunckel, M. (1985). Calculation of District Rainfall. July 1985. Internal Report, Weather Bureau, Pretoria,

AMPTELIKE VERSLAE, BOEKE, DATA EN ATLASSE.

ATLAS OF THE TROPICAL PACIFIC OCEAN ANNUAL CYCLE. 1994. NOAA Atlas no. 13, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service. Camp Springs, MD. May 1994.

CLIMATE DIAGNOSTICS BULLETIN, April 1994. Near real-time analyses ocean/atmosphere. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, National Meteorological Center, Washington D.C. USA.

CLIMATE MONITORING BULLETIN, AUSTRALIA. June 1994, issue no. 101. Climatology - June mean sea level pressure. Bureau of Meteorology, Melbourne, Australian.

DROUGHT MONITOR 1993. A CFDRD Update on Drought and Rural Development. Sept/Oct 1993.

DROUGHT UPDATE 1993. How Drought is Predicted. November 1993, SAC News.

IMPACT - CLIMATE CRISIS 1987. The El Nino Southern Oscillation Phenomenon; Impacts of the 1982-83 ENSO Event on Eastern and Southern Africa; and others. United Nations Environment Program.

INTERNATIONAL CONFERENCE on Physical Causes of Drought and Decertification, Abstracts. December 1991. Melbourne University, Australia.

KLIMAAT van SUID-AFRIKA. Deel 8, Algemene Oorsig/CLIMATE of SOUTH AFRICA, Part 8, General Survey. 1965. Weerburo, Departement van Vervoer.

MARINE WEERKUNDE. Weerkunde WKD 220. Inleiding tot Fisiese Oseaanografie.

WEERBURO 1960. Klimaat van Suid-Afrika, Deel 5. Streekreënval. W.B.23 Weerburo, Departement van Vervoer, 51p.

WEERBURO 1972. Klimaat van Suid-Afrika. Deel 10. Distrikreënval vir Suid-Afrika en die Jaargang van Reënval oor Suidelike Afrika. W.B.35 Weerburo, Departement van Vervoer. 116 p.

WORKSHOP REPORT 1990. Workshop on Numerical Products from Bracknell, Meteorological Office College, Shinfield Park, Reading, UK. Meteorological Magazine, 26-28 June 1989.

WORLD CLIMATE PROGRAM Research 1988. Modelling the Sensitivity and Variations of the Ocean-Atmosphere System. Report of a workshop at the European Centre for Medium-range Weather forecasts. 11-13 May 1988. World Meteorological Organization, printed September 1988.

WORLD CLIMATE PROGRAM Data 1989. Infoclima: Catalogue of Climate System Data Sets. World Meteorological Organization, April 1989.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION. 1984. Program on Long-range Forecasting Research. Long Range Weather Forecasting - Recent Research. Long Range Forecasting Research Publications series no.3.

WORLD WEATHER RECORDS 1921-1930. 1934. Smithsonian Institution, Washington 616 pp.

WORLD WEATHER RECORDS 1921-1930. 1937. Smithsonian Institution, Washington 1199 pp.

WORLD WEATHER RECORDS 1931-1940. 1947. Smithsonian Institution, Washington 646 pp.

KONFERENSIE BYWONING DEUR DIE PROJEKSPAN

Third International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (Buenos Aires, Argentina) 1989.

(i) Floods over South-Africa during the summer of 1987/88 - J.van Heerden.

(ii) South-African Continental Rainfall Anomaly Prediction based on the phase of the Southern Oscillation. - J.van Heerden.

Sewende Jaarkonferensie van die SA Vereniging van Atmosferiese Wetenskappe (Pretoria), 1990.

(i) Probability of flooding of the Mkomazi River - J.van Heerden and W.J.R.Alexander. (ii) Die 500 hPa sirkulasie in die Suid-Afrikaanse gebied en die distriksreënval tydens warm en koue gebeurtenisse van die ENSO siklus. - M.M.Truter and J.van Heerden.

Agste Jaarkonferensie van die SA Vereniging van Atmosferiese Wetenskappe (Pretoria).

1991.

Meteorological aspects of wide spread rainfall events. - J.van Heerden.

Negende Jaarkonferensie van die SA Vereniging van Atmosferiese Wetenskappe (Pretoria), 1992.

(i) The Great Drought of 1991/92 - J van Heerden.

(ii) Resultate van 'n maandgemiddelde gekoppelde oseaan-atmosfeer analise model vir 'n gedeelte van die Suidelike Halfrond. - M.M.Truter en C.J.de W. Rautenbach.

(iii) Eksperimentele uitvoere van die CSIRO-4 Spektrale Klimaatmodel op die Convex C-120 - C.J.de W.Rautenbach.

Forum vir die ekologie van ariede streke (De Aar) 1992.

Die voorspelling van droë en nat somers oor die sentrale dele van Suid-Afrika. - M.M.Truter.

Tiende jaarkonferensie van die SA Vereniging van Atmosferiese Wetenskappe (Pretoria), 1993.

- (i) 'n Metode vir die saamstel van gewigsfunksies vir reënval-roosterveldinterpolasies. - C.J.de W.Rautenbach.
- (ii) A Personal Computer (PC) based rainfall analysis system. - M.M.Truter, C.J.de W Rautenbach and J.van Heerden.
- (iii) Sirkulasie Anomalië tydens warm en koue fases van die ENSO siklus. - P.C.L.Steyn en M.M.Truter.
- (iv) Rainfall Statistics during El Nino and La Nina periods. - E.Klopper, M.M.Truter and P.C.L.Steyn. First International Conference of the African Meteorology Society (Nairobi, Kenya), 1993. The 1991/92 ENSO event and the drought over Southern Africa. - M.M.Truter.
Fourth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (Hobart, Australia), 1993.
The 1991/92 ENSO event and the Greatest Drought this century over Southern Africa. - J.van Heerden. Sentraalwes (Koöperatief) Beperk (Klerksdorp) 1993.
Reënvalischiëte vir die Sentraalwes bedieningsgebied. - C.J.de W.Rautenbach. Oessimulasie Navorsingsforum (Potchefstroom) 1993.
Reënvalanalise en Vooruitskouing vir die 1993/94 seisoen vir die Wesselsbron Landdrostdistrik. - C.J.de W.Rautenbach.
Efde Jaarkonferensie SA Vereniging vir Atmosferiese Wetenskappe, Pretoria, 1994.
- (i) Oseaan-Atmosfeer Gekoppelde Eksperimente met die CSIRO 4-vlak Klimaat-model. - M.M.Truter en C.J.de W.Rautenbach.
- (ii) An updated rainfall data set and some early results on the relationship between Southern Oscillation (SO) and rainfall in Namibia. - L.Botha and C.J.de W.Rautenbach.

BUITELANDSE BESOEKE

The Second International Conference on Modelling of Global Climate Change and Variability. (Hamburg, Duitsland) 1992. Mnr C.J.de W.Rautenbach.
Workshop on Regional Scenarios and Validation of GCM Output. (Melbourne, Australia) 1993. Prof J van Heerden.

AANHANGSEL A

GEINDEKSEERDE DISTRIKSREëNVAL/ENSO PAKKET

UITRUSTING BENODIG:

1. Minstens 'n 386 PC / 8 MB RAM / 40 MB Hardeskyf/ VGA skerm.
3. LASERDRUKKER (vir "Screen Dump")

INSTALERINGSPROSEDURE:

1. Skep die "directory" => C:\INDEKS
2. Laai al die lêrs wat verskaf is in hierdie directory => C:\INDEKS*. *

LOOP VAN DIE PROGRAM:

1. Gaan na die "directory" => C:\INDEKS en sleutel in (RINDEKS.EXE)
2. Gaan verder deur die prosedures soos verder in hierdie aanhangsel beskryf.
3. Die datastel en pakket kan van tyd tot tyd by die onderstaande adres opgegradeer word.

Meer inligting kan verkry word by:

Leerstoel Weerkunde
Dept. Siviele Ingenieurswese
Universiteit van Pretoria

Tel: 012 4202469 / 012 436526
Fax: 012 433589
E-mail: raut-cj@fanella.ee.up.ac.za

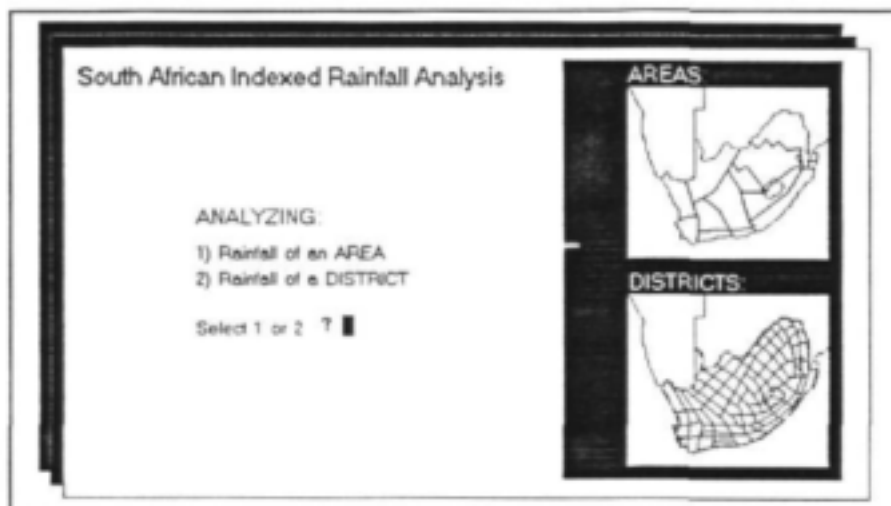
GEINDEKSEERDE DISTRIKSREËNVAL / ENSO PAKKET VLOEIDIAGRAM

C:\INDEKS*.*

Die program word geloop deur in bogenoemde "directory" die volgende in te sleutel:

RINDEKS.EXE

Die volgende sal op die rekenaarskerm verskyn:



Sleutel nou in: [1] 'n Area moet geanaliseer word
[2] Distrikte moet geanaliseer word

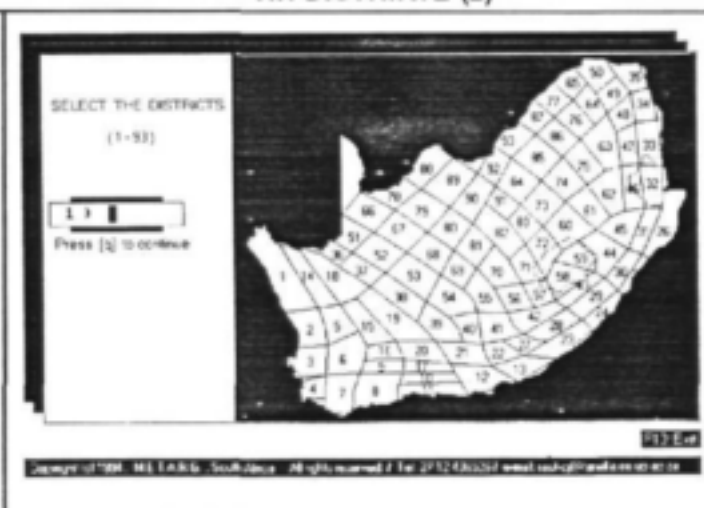
Die volgende sal op die rekenaarskerm verskyn:

VIR 'n AREA (1)



Sleutel die areanommer wat verlang word in
Kies (1-12)

VIR DISTRIKTE (2)



Sleutel die distrikte wat verlang word in.
Druk [ENTER] na elke keuse en sleutel [q] of
[Q] in en daarna [ENTER] indien die keuse afgehandel
is.

Die volgende sal op die rekenaarskerm verskyn:

VIR 'n AREA (1)

SELECT THE AREA - (1-12) T 18

- 1) SUMMER SEASON (OCT-MCH)
- 2) MID-SUMMER SEASON (DEC-FEB)
- 3) SPRING (SEP-NOV)
- 4) AUTUM (MCH-MAY)
- 5) CONSECUTIVE MONTHS

SELECT THE SEASON T 1

RAINFALL CLASSIFICATION

DISTR: 46 68 61 62 72 73 74 75 83 84 85 98 91 92

012 E-4

Copyright © 1998, M.E. TARR, South Africa. All rights reserved. Tel: 27(12)430257 email: m.e.tarr@netcom.co.za



VIR DISTRIKTE (2)

1) SUMMER SEASON (OCT-MCH)

2) MID-SUMMER SEASON (DEC-FEB)

3) SPRING (SEP-NOV)

4) AUTUM (MCH-MAY)

5) CONSECUTIVE MONTHS

SELECT THE SEASON T 1

RAINFALL CLASSIFICATION

DISTR: 1 2 3 4 5

012 E-4

Copyright © 1998, M.E. TARR, South Africa. All rights reserved. Tel: 27(12)430257 email: m.e.tarr@netcom.co.za



Kies die seisoen (1-4) of 'n groepering van opeenvolgende maande (5)

Kies die seisoen (1-4) of 'n groepering van opeenvolgende maande (5)

Indien bogenoemde keuse (5) is kies die opeenvolgende maande op dieselfde wyse as wat die keuse van distrikte vroeër gedoen is.

Die volgende sal op die rekenaarskerm verskyn:

VIR 'n AREA (1)

SELECT THE AREA - (1-12) T 18

- 1) SUMMER SEASON (OCT-MCH)
- 2) MID-SUMMER SEASON (DEC-FEB)
- 3) SPRING (SEP-NOV)
- 4) AUTUM (MCH-MAY)
- 5) CONSECUTIVE MONTHS

PLEASE WAIT

RAINFALL CLASSIFICATION

DISTR: 46 68 61 62 72 73 74 75 83 84 85 98 91 92

012 E-4

Copyright © 1998, M.E. TARR, South Africa. All rights reserved. Tel: 27(12)430257 email: m.e.tarr@netcom.co.za



VIR DISTRIKTE (2)

1) SUMMER SEASON (OCT-MCH)

2) MID-SUMMER SEASON (DEC-FEB)

3) SPRING (SEP-NOV)

4) AUTUM (MCH-MAY)

5) CONSECUTIVE MONTHS

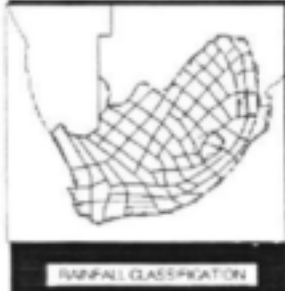
PLEASE WAIT

RAINFALL CLASSIFICATION

DISTR: 1 2 3 4 5

012 E-4

Copyright © 1998, M.E. TARR, South Africa. All rights reserved. Tel: 27(12)430257 email: m.e.tarr@netcom.co.za



WAG VIR DIE AFHANDELING VAN DIE BEREKENINGS

Die volgende sal op die rekenaarskerm verskyn:

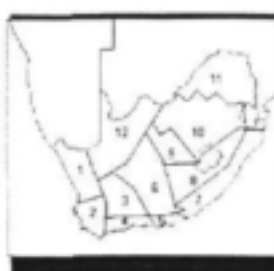
VIR 'n AREA (1)

SELECT THE AREA - (1-12) Y 18

- 1) SUMMER SEASON (OCT-MCH)
- 2) MID-SUMMER SEASON (DEC-FEB)
- 3) SPRING (SEP-NOV)
- 4) AUTUM (MCH-MAY)
- 5) CONSECUTIVE MONTHS

Display Graphics? YES/NO Y

Output data on file - RNDX.DIG



RAINFALL CLASSIFICATION

DISTR: 46 68 61 62 22 73 74 75 83 84 85 98 91 92

F12 End

Copyright © 1991, M.E. TANK, South Africa. All rights reserved. Tel. 27124302567 email: tank@philex.co.za

VIR DISTRIKTE (2)

1) SUMMER SEASON (OCT-MCH)

2) MID-SUMMER SEASON (DEC-FEB)

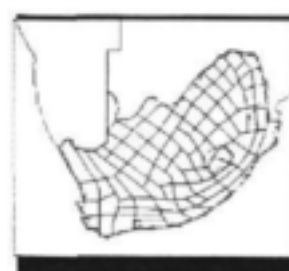
3) SPRING (SEP-NOV)

4) AUTUM (MCH-MAY)

5) CONSECUTIVE MONTHS

Display Graphics? YES/NO Y

Output data on file - RNDX.DIG



RAINFALL CLASSIFICATION

DISTR: 1 2 3 4 5

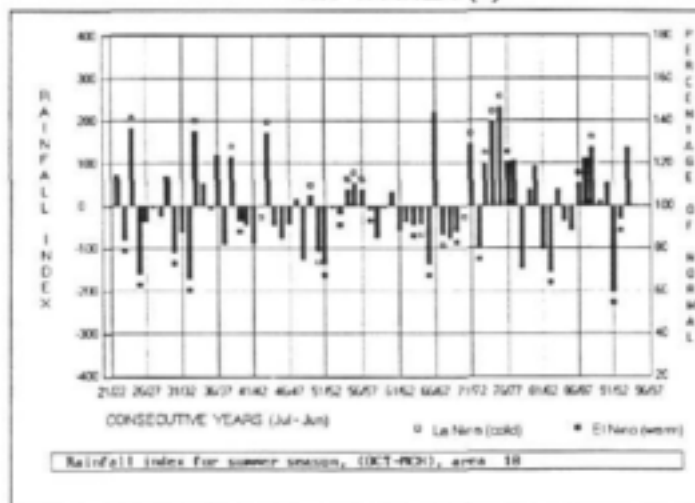
F12 End

Copyright © 1991, M.E. TANK, South Africa. All rights reserved. Tel. 27124302567 email: tank@philex.co.za

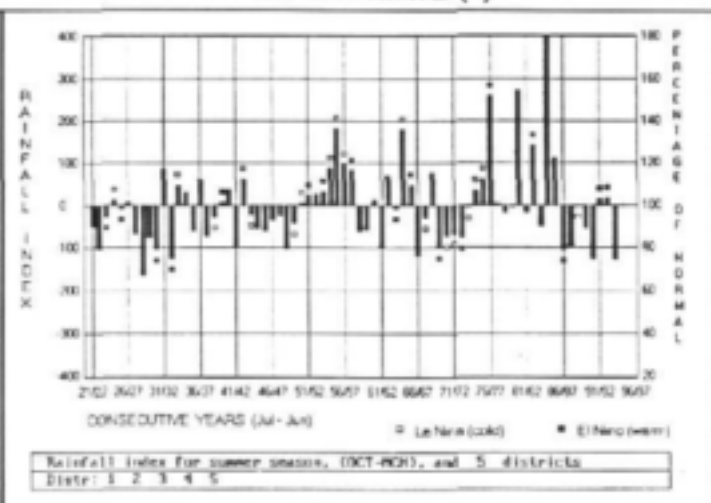
Sleutel in [YES] of [Y] indien grafiese uitvoer op die skerm verlang word

Die volgende sal op die rekenaarskerm verskyn:

VIR 'n AREA (1)



VIR DISTRIKTE (2)



Grafiese uitvoer kan nou met 'n laserdrukker uitgedruk word deur van die [PRINT SCREEN] opsie gebruik te maak. Maak seker dat die regte sagteware vir hierdie opsie op die PC gelaai is.

Nadat die analise en drukwerk afgehandel is kan die sleutel [ENTER] gedruk word om die program te verlaat. Die program kan ook enige tyd onderbreek word deur die sleutel [F10] te druk.

AANHANGSEL B

DIE ARGIVERINGS EN ANALISE PAKET VIR DIE DAAGLIKSE 12H00 WEERKAART

UITRUSTING BENODIG:

1. PC minstens 286 met minstens 40 MB Hardeskyf.
2. DOS 5
3. Opsioneel: LASERDRUKKER ("Screen Dump")

PROSEDURE:

Die pakket is volledig vervat in altesaam 4 rekenaarskyfies.
"Stiffies van 1.44 MB".

Maak 'n "DIRECTORY" met die naam WK1 oop op die C: skyf van u
PC.

Maak "SUB Directories" met die name BAT, LIB en PHILDAT oop in die
Direcory C:\WK1

Laai al die al die data op die Skyfies Nr 3 en 4 (Onder PHILDAT)
na die C:\WK1\PHILDAT skyf en gebruik die routine PKUNZIP wat verskaf
word op Skyfie 4 om die 7 dataleërs te vergroot (dekodeer). Laai
die dataleër LANGEMSI.GEM na C:\WK1\PHILDAT

Laai die data op Skyfie 4 onder die "SUB DIRECTORIES" BAT LIB en
MAP na die betrokke C:\WK1\BAT of C:\WK1\LIB OF C:\WK1\MAP

Laai die res van die leërs op Skyfies 1 en 2 na C:\WK1

Die "PRINT SCREEN" opsie moet gebruik word indien uitvoer grafika deur 'n Laserdrukker gedruk
word.

BEGIN VAN DIE PROGRAM:

Gaan na die "Directory" WK1 en tik in HOOFKIES

Daarna sal die keuses wat beskikbaar is op die skerm verskyn.
Illustrasie van KEUSES volg.

Indien weerkaart versyfering nodig is moet eers geskakel word met:

Leerstoel Weerkunde
Dept. Siviele Ingenieurswese
Universiteit van Pretoria

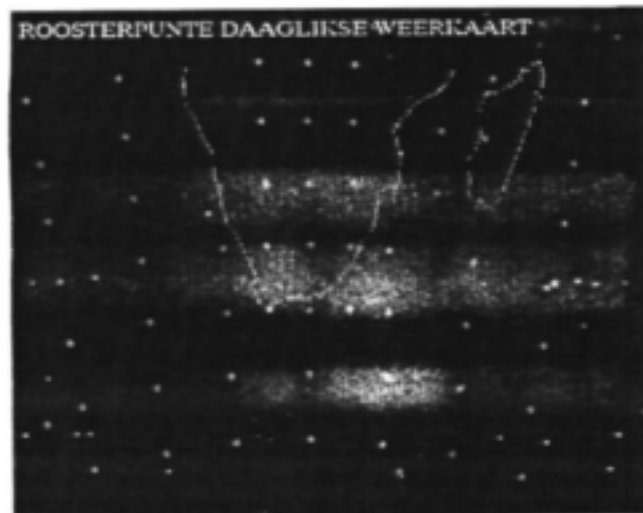
Tel: 012 4202173
Fax: 012 433589
E-mail: vhee-j@fanella.ee.up.ac.za

WEERKUNDE NAVORSINGSPROJEK: Hoofkieskaart
1 = Eindig rekenaarsessie 2 = Versyfering van die weerkaart 3 = Toets die versyferde data 4 = Analise van versyferde data
Kies 'n nommer of (en + ENTER)

ANALISE VAN VERSYFERDE DATASKERM
1 = Gaan terug na Hoofkieskaart 2 = Bereken maand gemiddeld 3 = Bereken anomal van maand gemiddeld 4 = Uitvoer van resultate
Kies 'n nommer of (en + ENTER)

VERSYFERING VAN DIE WEERKAART
1 = Gaan terug na Hoofkieskaart 2 = Begin 'n nuwe maand vir versyfering 3 = Gaan voort met versyfering vir maand 4 = Maak korreksies aan versyferde data 5 = Druk die dataleërs
Kies 'n nommer of (en + ENTER)

UITVOER VAN GE-ANALISEERDE DATA
1 = Gaan terug na Analise Skerm 2 = Druk resultate 3 = Grafiese voorstellings (Gekleurd) 4 = Grafiese voorstellings (Wit en Swart)
Kies 'n nommer of (en + ENTER)



AANHANGSEL C

EXECUTIVE SUMMARY

**TECHNIQUES FOR SEASONAL AND LONGER TERM
RAINFALL PREDICTION IN SOUTH AFRICA**

by

J van Heerden, C J de W Rautenbach and M M Truter

**Chair in Meteorology
Department of Civil Engineering
University of Pretoria
Pretoria, 0002, South Africa**

**Supplement to the Final Report, Project 306 which is the full
report to the Water Research Commission on the Project:
"TEGNIEKE VIR SEISOENALE EN LANGERTERMYN-REëNVAL
VOORSPELLING IN SUID-AFRIKA"**

ISBN: KS/306, 1 86845 184 4

Project Leader: Prof J van Heerden

TECHNIQUES FOR SEASONAL AND LONGER TERM RAINFALL PREDICTION IN SOUTH AFRICA

by

J van Heerden, C J de W Rautenbach and M M Truter

BACKGROUND AND MOTIVATION

The science of weather prediction has progressed to the point where meteorologists, using a world wide observational network, sophisticated numerical models and the fastest computers, can now provide reliable prediction for five days ahead. Some confidence exists that the period could soon be extended to 10 to 15 days when a theoretical limit, due to creation of chaos in the model, is reached. Reliable long term rainfall prediction has so far eluded man, though not through lack of trying. In the past meteorologists have attempted to use statistical and other relationships to extend forecasts to seasonal and decadal predictions, all with very little success. Researchers have known about the irregular inter-annual and global oscillation in atmospheric pressure (*Southern Oscillation* (SO)) and sea surface temperature (SST - El Nino) in the tropical Pacific Ocean basin ever since the pioneering work of Walker and Bliss (1928-32). Meteorologists only recently began to study the world wide scope and inter-relationships of this event, now called the *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) phenomenon.

A severe El Nino (*warm* phase ENSO) was held responsible for the severe and anomalous weather which struck the world during the southern summer of 1982/83. Severe droughts devastated large parts of Africa, Australia and Asia while heavy flooding occurred over the west coast of the USA and elsewhere during this infamous El Nino event. Thousands lost their lives while agricultural and economical losses ran into billions of rands. A world wide research effort soon established the basic forcing mechanisms linked to the tropical Pacific Ocean. South African researchers were quick to describe the relationship between the phases of the ENSO and South African rainfall. Work by Lindesay and Harrison (1986/90), Jury *et al* (1991/93), Schulze (1983/89) and Van Heerden *et al* (1988) all illustrated how:

- droughts over the continental parts of southern Africa tend to accompany the warm phase ENSO (negative SO), and
- above normal rainfall is likely during the cold phase ENSO (positive SO) event.

The fact that the phase of the ENSO may be predicted with considerable confidence as early as late winter and spring provided the first scientifically acceptable seasonal summer rainfall outlook applicable to the continental

parts of South Africa. Prognoses of summer rainfall anomalies became possible as early as September or October. However very little could be said about temporal and geographical variation of rainfall, even knowing what the ENSO phase would be. Predicting the magnitude of the rainfall anomaly remained guesswork, contrary to some claims.

South Africa is a dry country. Only a very small part of the land along the eastern coastal regions and escarpment gets more than the world average of 1000 mm rain per year. Better seasonal rainfall prediction will be very advantageous to the agricultural community. Water management has become very difficult during the last few decades. Water restrictions, near empty reservoirs in the face of an ever increasing demand are becoming frequent. Reliable seasonal rainfall prediction will contribute significantly to future water management procedures and fully justify all efforts to develop techniques with this aim. This project sets out to develop techniques which can be applied to predict rainfall tendency or anomalies before the onset of the summer rainfall season.

OBJECTIVES OF THE PROJECT

The objective of this project as set out in the contract can be expressed as:

Research aimed at the investigation of techniques which can be applied to predict rainfall anomalies over South Africa for periods ranging from two weeks to several months in advance.

In order to undertake this ambitious task, the research effort was subdivided into four research components:

COMPONENT 1: SEASONAL RAINFALL TENDENCIES

The relationship between South African rainfall and the ENSO was investigated and techniques were developed to provide a seasonal rainfall prediction.

COMPONENT 2: PREDICTIONS UP TO 60 DAYS AHEAD

Research was aimed at linking the ENSO phenomenon to the frequency and intensity of certain synoptic scale weather systems and in this way to extend the rainfall outlook by a month.

COMPONENT 3: MONTHLY MEAN CIRCULATION

Research was aimed at investigating any links between the monthly average atmospheric circulation, standing waves and rainfall.

COMPONENT 4: MODELLING

General Circulation Models (GCM) programmed to conserve global energy, also referred to as Climate Models (CM), are useful for the investigation of the physical and dynamical climatic forcing processes, as well as climate response to slowly changing boundary conditions. Research on this component also aimed to model seasonal climate scenarios with the view to develop rainfall prediction techniques.

SCIENTIFIC RESULTS

Considerable scientific progress was made in the research centered around components 1 and 4. The research in component 4 was a first in South Africa when the Commonwealth Scientific Industrial Research Organization, Australia (CSIRO) 4-Level Climate Model (CSIRO4), developed by Gordon (1992) from the CSIRO, Division of Atmospheric Research(DAR), was made operational on the Convex C120 computer at the University of Pretoria (UP). Climate model runs (Climate Scenarios) were also made available to other researchers. A useful technique for seasonal prediction based on the phase of the ENSO also resulted from the research on component 1. The main research efforts in components 2 and 3 were made by South African Weather Bureau researchers completing their post graduate research at UP. Project team members also participated in the research under the scientific leadership of Mr D.O. Triegaardt whose work extended to the aims of components 2 and 3.

COMPONENT 1: SEASONAL RAINFALL TENDENCIES

Research indicated that the phase of the ENSO can be predicted with some accuracy several months before the southern summer. This is achieved by the analysis of monthly average data computed from the daily observations provided by the globally distributed weather stations, supplemented by observations and data from ships and satellites. The Climate Analysis Center (CAC) of the USA Weather Service performs this analysis and their monthly analysis is accessed, each month, by computer via Internet as soon as it becomes available. The following ENSO indicators are particularly important, and were linked to South African rainfall:

- *The Southern Oscillation Index (SOI).*
- *SST Anomalies over the tropical Pacific Ocean.*
- *Depth of the oceanic thermocline over the tropical Pacific Ocean.*
- *850 hPa easterly wind anomalies over the tropical Pacific Ocean.*
- *200 hPa westerly wind anomalies over the tropical Pacific Ocean.*
- *SST anomalies over the central tropical Indian Ocean.*
- *Outgoing Long Wave Radiation (OLR) over central Pacific Ocean.*
- *"QBO" (Singapore 50 hPa zonal wind).*
- *Statistical and GCM modelling results.*

Each month, as soon as the analysis of the CAC becomes available, these parameters are tabled as either indicative of a warm (W), cold (C) or no (O) phase. At least 60% to 70% of these parameters must be indicative of the same phase, by the southern spring, before any reliable prediction of the expected ENSO phase can be made. Consultation with national and international researchers is sought before the seasonal predictions are issued. The prediction is updated each month. The seasonal outlook can only be expressed in the following terms:

WARM PHASE EXPECTED:

Below normal rainfall is probable over the eastern and central continental parts of South Africa.

COLD PHASE EXPECTED:

Above normal rainfall is probable over the eastern and central continental parts of South Africa.

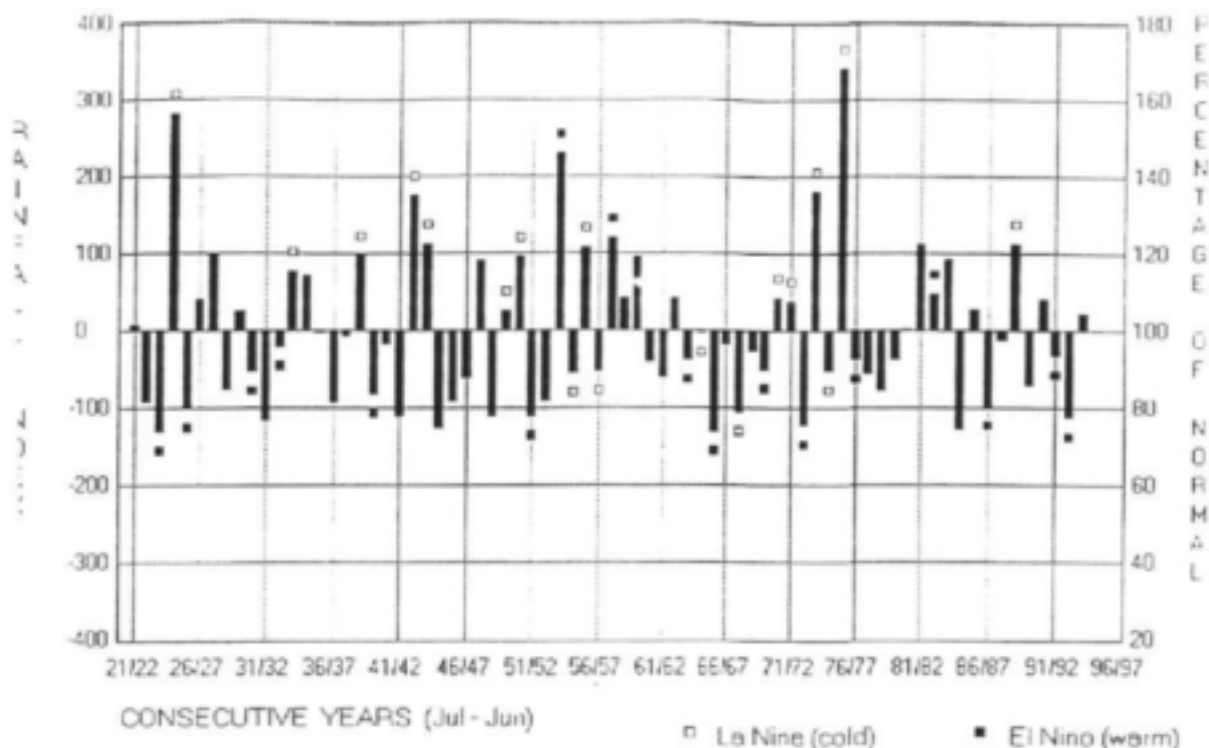
NO CLEAR PHASE CHANGE PREDICTED:

No reliable outlook is possible. Rainfall within one standard deviation from the mean is the most probable.

ONGOING WARM OR COLD PHASE:

Normal rainfall is the most probable. Great spatial variability in rainfall can be expected. The outlook is not reliable.

Efforts to provide reliable regional scale rainfall prediction have generally failed. In order to provide users with some regional information, a computer based system was developed to display the South Africa Weather Bureau's (SAWB) district rainfall and ENSO data. Figure 1 illustrates the rainfall during the month of December for district 80 (centered around Kimberley) and also indicates the phase of the ENSO. The South African Long-lead Forecast Forum (SALFF) came into being on 31 October 1994. This group, consisting of SAWB and University researchers, aims to provide regular seasonal rainfall predictions in a cooperative manner and to further research and model development in this field.



Rainfall index for (DEC-DEC), and 1 districts

Distr: 80

fig.1. Rainfall index for district 80 (Kimberley) for December months (1921 to 1994). The warm phase of the ENSO is indicated by shaded blocks and the cold phase of the ENSO by unshaded blocks. The rainfall index was normalized with the standard deviation.

COMPONENTS 2 AND 3: PREDICTION TO 60 DAYS AHEAD AND THE MONTHLY MEAN CIRCULATION.

A research team in the SAWB operated under the scientific leadership of Mr D.O. Triegaardt. The wide scope of their research soon spread to the aims of components 2 and 3. Two members of this team are continuing with post graduate research at UP, mostly on aspects of components 2 and 3.

Mr J Vermeulen was granted a MSc for the research on the use of time lagged average forecasts computed from GCM prognoses. Results indicated that in this way weather forecasts beyond 6 days ahead may be possible. Detailed research on the occurrence of atmospheric long waves in the Southern Hemisphere and the role they play in South African weather is nearing completion. The European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) provided the data fields and model output used in this research. Research on the use of lagged average forecasting and extended range ensemble forecasting indicated the possibility of extending forecasts to beyond 10 days.

During 1993/94 a SAWB researcher, Mr WA Landman received training on extended range forecasting at the Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, New York. He developed a Canonical Correlation Analysis (CCA) rainfall prediction model for South Africa. The major results of this research can be summarised as follow:

- *It is possible to predict rainfall for individual months using CCA models.*
- *Better results can be expected if rainfall is predicted for groups of summer months.*
- *SST anomalies over the tropical Indian Ocean are the best predictors of seasonal rainfall over South Africa.*
- *SST anomalies over the southern Atlantic Ocean may have some potential as a seasonal predictor.*

Triegaardt and Landman (1994), building on earlier research by other South African researchers, described the atmospheric circulation prevailing during dry and wet periods lasting longer than one week. Their results are important to identify these circulation patterns in the analysis of GCM output. Rainfall scenarios from Climate GCM's are generally not good. Identifying persistent circulation patterns in the GCM output may be far more useful to identify anomalous rainfall patterns than the actual GCM rainfall fields. Triegaardt and Landman (1994) isolated the following circulation patterns:

WET PERIODS:

- *A long wave ridge (wave number 3-4) is present SW, S or SE of South Africa.*
- *The strength of the westerlies (30-40°S) decreases.*
- *Positive pressure anomalies are present SW, S and SE of South Africa.*
- *A cut-off low over South Africa often accompanies these features.*
- *Divergent upper circulation is present downwind of an upper air trough over the west coast.*

DRY PERIODS:

- *A long wave trough is present SW, S or SE of South Africa.*
- *Stronger than normal westerlies and a northward shift of the jetstream occurs over South Africa.*
- *A well developed trough is present south of South Africa.*
- *A closed upper air high accompanying subsiding air over South Africa will suppress rainfall even if other favourable patterns are present.*
- *A deep tropical low or tropical cyclone is present over the Mozambique Channel.*

Co-operative research between the project team and staff the University of Wisconsin-Madison, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, resulted in the development of a statistical seasonal prediction system, incorporating a neural networking model (NNM), (Hastenrath, Greischar and Van Heerden, 1995). The neural networking model incorporating the Southern

Oscillation Index (SOI) and the 50 hPa zonal wind above Singapore (QBO) proved to be the best predictor. The training period for this model was 1954-1978 and the verification period 1979-1993. This neural networking model explained 62% of the variance in the 1979-1993 data set. However the model failed to predict the rainfall for the 1993/94 season correctly. Below normal rainfall predicted (by October/November 1994) for the 1994/95 summer was much closer to the mark. Statistical prediction techniques all suffer from the fact that they do not include any of the physics or dynamics of the atmosphere and cannot cope with any unexpected changes in the global circulation, which do occur. However neural networking models have demonstrated considerable potential and further model development with the aim of operational implementation is justified.

COMPONENT 4: MODELLING

Sophisticated as they may be, GCM's have not yet reached the stage where they can provide seasonal or climate predictions. They are powerful tools for investigating the effect on the climate by the slow changing boundary conditions such as sea surface temperature and land surface albedo. GCM's have also been used extensively to determine what the effect on climate will be due to anthropogenic influences such as the burning of fossil and biomass fuels (greenhouse warming experiments). It must be remembered that these models create a possible climate scenario and that attempts to use them for climate prediction may still be premature.

During 1992 the CSIRO (DAR) made the code for the 4-level global spectral climate model (referred to as the CSIRO-4) available to the Project Team. The computer (CONVEX C-120) used for the model integrations was generously supplied by Datakor. The CSIRO-4 (Gordon, 1992) is a global energy conserving R21 spectral model with four vertical levels. After the calculation of a 20 year model reference climate, referred to as the model climate, three experiments were carried out, using different SST anomalies to model the climate's response to typical extreme phase ENSO forcing. In the **first experiment** the response of the global general circulation to positive SST anomalies in the tropical Indian Ocean northeast of Madagascar was modelled. In this area of roughly 20 x 20 degrees the SST anomaly was increased to 2, 4 and 5 degrees respectively and in each case a 5 year climate simulated. In each case the new (anomaly) climate was compared with the reference climate to determine the response to the SST forcing.

In the **second experiment** a typical El Nino situation was forced in the model by imposing large positive SST anomalies (+5 Kelvin (K)) in the tropical Pacific Ocean. In this case the model climate was compared actual atmospheric with conditions which had occurred during the 1991/92 warm phase ENSO. The verification data-fields were taken from the monthly climate supplied by the

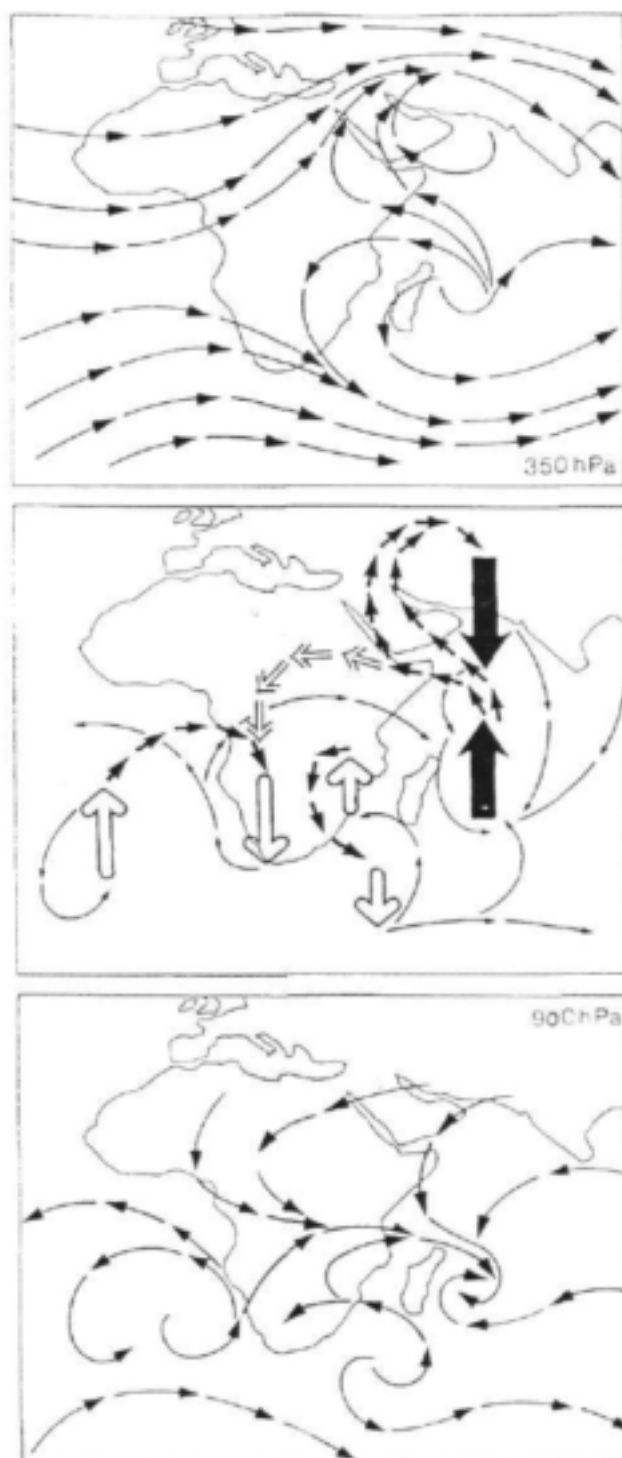


Fig.2(a). The basic flow field at 350 hPa resulting from the +6K SST anomaly forcing over the Indian ocean.

Fig.2(b). Major areas of vertical motion are indicated by the large black arrows. Secondary areas of vertical motion are indicated by the large open arrows. The thin black arrows and intermediate arrows indicate relative motion (divergence) at 900 hPa and 350 hPa.

Fig.2(c). Same as fig.2(a) but at 900 hPa.

CAC. The third experiment returned to the Indian Ocean and performed an experiment with positive SST anomalies northeast of Madagascar and simultaneously negative SST anomalies to the south of Madagascar. This so called 'Dipole Experiment' had SST anomalies of 2, 4 and 6 K, positive in the north, negative in the south, imposed on the SST climate. In this case the boundaries to the anomalies were smoothed to reduce instabilities. In each case the model climate was compared with the model's reference climate.

Figure 2 illustrates the circulation change observed during the 6 K Dipole Experiment. This figure also shows the origin of the subsidence, which suppresses rainfall over South Africa during warm phase ENSO events. Notably absent is a direct link between the large divergences at 350 hPa over the central Indian Ocean and the subsidence over South Africa. A link between the subsidence over South Africa and the upper Atlantic air, through the enhancement of the mid-latitude westerlies, is also established. At the 900 hPa level the moisture flux over southern Africa becomes perturbed and a large outflow into the Indian Ocean from tropical eastern Africa becomes established. Over the Mozambique channel the flow becomes northward also moving moisture away from southern Africa. The strong north and southward diverging upper air above the Indian Ocean should be noted as well as the resulting strengthening of the westerlies north of Arabia and to a lesser degree south of South Africa. The

SST anomalies modelled in the three experiments exceeded observed anomalies, especially in the Indian Ocean. The CSIRO-4 General Circulation Model (GCM) has only 4 levels in the vertical and this excessive forcing at the lower boundary does not create instabilities while the model climate adjusts to this large artificial forcing.

Mr C.J.deW.Rautenbach was invited to Australia by the CSIRO during 1995 to be trained on the new CSIRO-9 GCM. This 9-level GCM is considered to be the best available. As part of his training programme Mr Rautenbach repeated experiment 1, but in this case with more realistic SST anomalies (+2 K) over the Indian Ocean. The results from this experiment corroborated the CSIRO-4 results of experiments 1 and 3. Figure 3 illustrates the rainfall anomalies resulting from the positive SST forcing over the Indian Ocean. Over most of the northeastern parts of South Africa rainfall deficiencies of -1mm to -2mm per day were modelled, or approximately 30mm to 60mm below the model climatic mean rainfall. The positive anomalies modelled for the southwestern parts of South Africa are over the area where the model climate indicates 0mm to 1mm rain per day. The positive anomalies modelled here should not be considered a significant positive trend but could relate to increased westerlies and frontal weather over the south western parts of the country. The CSIRO has made the CSIRO-9 GCM available to the project team and this model is now also available to South African scientists through the Project Team.

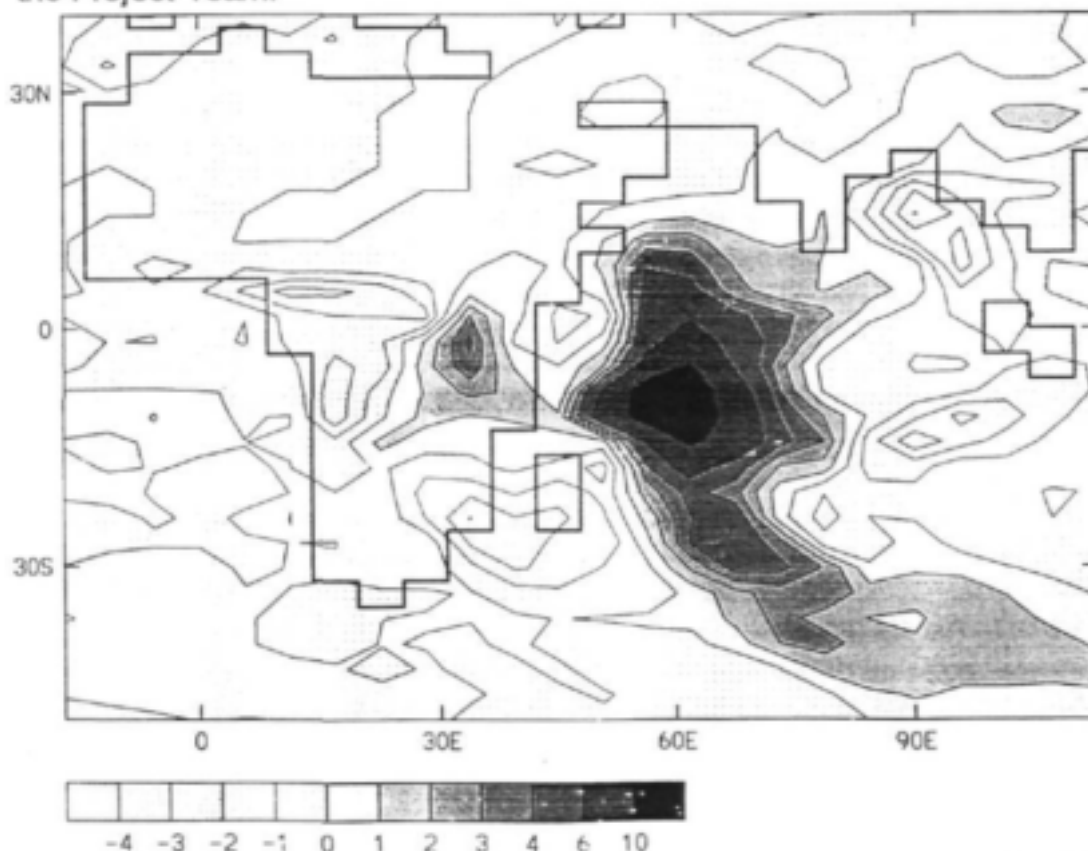


Fig.3. Rainfall anomalies (mm/day) simulated by the CSIRO-9 for February which developed as a result of a +2K SST anomaly over the western tropical Indian ocean. The double lined box shows the area of the +2K SST anomaly.

Careful analysis of the climate scenarios created during the four experiments identified the features listed below. It is also interesting to compare these features with the analysis of dry-spell circulation by Triegaardt and Landman (1994).

- *Upper air westerlies increase south and southwest of South Africa.*
- *Subsidence increases over the eastern parts of South Africa.*
- *The surface flow over the Mozambique Channel receives an anomalous southerly component resulting in enhanced northward advection of moist maritime air. This northward flow seriously reduces the amount of moisture reaching southern Africa.*
- *World-wide synoptic scale perturbations appear in the model circulation in reaction to the strong convective and temperature perturbations which develop over the positive SST anomalies.*
- *The circulation change observed over South Africa appears to be a non-linear response to the primary convective forcing and is therefore difficult to predict in time and space.*

In another unrelated experiment using the United Kingdom Meteorological Office (UKMO) 15-level GCM (Tennant and Van Heerden, 1994), model results indicated that the South African plateau plays a fundamental role in the development of cut-off (upper air) low pressure systems. Cut-off lows are the major flood producing systems in South Africa. The UKMO Model results also indicated that SST anomalies near South Africa do not significantly influence the circulation over the country on time scales shorter than 5 days.

SOFTWARE DEVELOPED AND DATA GENERATED DURING THE PROJECT

During the research phase of component 1 a personal computer (PC) based for displaying the system South African Weather Bureau District Rainfall and ENSO information was developed. This system is user-friendly and provides the means to view rainfall and ENSO relationships on user selected temporal and spatial scales. The Weather Bureau Daily Bulletin 1200 UT weather maps for the period 1960 to 1992 were also digitised. Digital pressure data for the summer months October to March were available. Many analysis programmes have been developed to analyse this daily digital data set. Computer programmes are available for the calculation of means, the vorticity fields and the frequency of significant pressure systems south of the country, to name but a few.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Seasonal rainfall prediction based on the phase of the ENSO is still the only technique with a proven track record. Statistical models, neural networking models and other methods may have the potential to improve the spatial and temporal accuracy of the seasonal outlook. However, these methods generally ignore atmospheric processes or attempt to include them in an indirect manner. Research has illustrated the potential of neural networking models for seasonal rainfall prediction. Their potential for improving the regional seasonal outlooks has not been tested. More research on neural networking models is justified. The development of the South African Long-lead Forecast Forum (SALFF) is an important step and has already provided the first "official" seasonal rainfall outlook.

The influence of large scale tropical SST anomalies, over the Indian and Pacific Oceans, on South African rainfall was illustrated and modelled. Atmospheric circulation pattern change over South Africa due to these anomalies can be described as the non-linear atmospheric response to the convective forcing above these positive SST anomalies. Rainfall anomalies over South Africa are therefore extremely difficult to predict accurately in space and time.

Modelling, making use of the latest versions of global GCM's, must continue in order to gain better insight into climate processes. These models are also the best means for investigating and developing future seasonal rainfall prediction schemes. The project team has acquired the CSIRO-9 GCM, under license from the CSIRO. A working relationship with the CSIRO(DAR), has been established and this co-operative effort will considerably strengthen the existing modelling groups which are developing in South Africa.

The project has gone a long way towards achieving the goal of developing a seasonal rainfall prediction technique. A great deal remains to be done. Much greater understanding of climatic change and forcing now exists. The means to further expand this knowledge has been acquired and should be fully utilized. Support from the Water Research Commission (WRC) and the Foundation for Research Development (FRD) will make the establishment of a future South African Climate Modelling effort possible. Submissions in this regard have been made to the WRC.

ACKNOWLEDGEMENTS

The support and guidance of the WRC staff, the Steering Committee, the South African Weather Bureau, Cordata, the CSIRO (DAR) and staff from South African universities as well as the University of Wisconsin-Madison is appreciated and acknowledged.

REFERENCES

- GORDON H.B. (1992), The CSIRO 4-level Atmospheric General Circulation Model. *CSIRO Division of Atmospheric Research, Technical Paper*, 26.
- HASTENRATH S., GREISCHAR L. and VAN HEERDEN J. (1995), Prediction of the summer rainfall over South Africa. *Journal of Climate*, Vol 8, no 6.
- JURY M.R. and LUTJEHARMS J.R.E. (1993), Die struktuur en moontlike aandrywingskragte van die 1991-1992-droogte in suidelike Afrika. *SA Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, 12.
- JURY M.R. and PATHACK B. (1991), A study of climate and weather variability over the tropical southwest Indian Ocean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 47, 36-48.
- JURY M.R., PATHACK B.M.R. and SOHN B.J. (1992), Spatial structure and interannual variability of summer convection over southern Africa and the SW Indian Ocean. *S.Afr J.Sci.*, 88, 275-280.
- JURY M.R. PATHACK B.M.R. (1993), Composite climatic patterns associated with extreme modes of summer rainfall over southern Africa: 1975-1984. *Theoretical and Applied Climatology*, 47, 137- 145.
- LINDESAY J.A. (1986), Southern African circulation and the Southern Oscillation. *South African Society Atmos. Sci. Newsletter*, 4, 9-14.
- LINDESAY J.A. (1988), South African Rainfall, The Southern Oscillation and a Southern Hemisphere semi-annual cycle. *Journal of Climatology*, 81, 17-30.
- LINDESAY J.A., HARRISON M.S.J. and HAFFNER M.P. (1986), The Southern Oscillation and South African rainfall. *South African Journal of Science*, 82, 196-198.
- SCHULZE G.C. (1983), 'n Moontlike verband tussen die Suidelike Ossiilasie/El Nino-verskynsel en droogtes oor die somerreënvalstreke van Suid-Afrika. 'n Voorlopige studie. *Suid-Afrikaanse Weerburo Nuusbrieff*, 410, 79-84.
- SCHULZE G. (1984), 'n Oorsigtelike bespreking van drukveranderings en sinoptiese drukpatrone in die Suidelike Halfrond in die tydperk Oktober 1982 tot Februarie 1983. *South African Journal of Science*, 80, 94-97.
- SCHULZE G.C. (1988), El Nino en La Nina - Die seun en die dogter. *Weerburo Nuusbrieff*, 475, 7-8.
- TENNANT W.J. and VAN HEERDEN J. (1994), The influence of orography and local sea-surface temperature anomalies on the development of the 1987 Natal floods: a general circulation model study. *South African Journal of Science*, 90, 45-49.
- TRIEGAARDT D.O. and LANDMAN W.A. (1994), The influence of atmospheric long-waves on summer rainfall in the Transvaal, Orange Free State and Natal. *Technical Paper*, 26, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Pretoria.
- VAN HEERDEN J., TERBLANCHE D.E. and SCHULZE G.C. (1988), The Southern Oscillation and South African summer rainfall. *Journal of Climatology*, 8, 577-597.
- WALKER G.T. and BLISS E.W. (1928), World weather III. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, II,17, 97-134.
- WALKER G.T. and BLISS E.W. (1930), World weather IV. Some applications to seasonal foreshadowing. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, III,24, 81-94.
- WALKER G.T. and BLISS E.W. (1932), World weather V. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, IV,36, 53-84.

