

# Die wisselwerking tussen oseaan en atmosfeer: 'n Oorsig\*

J.R.E. Lutjeharms

Nasionale Navorsingsinstituut vir Oseanologie, WNNR, Posbus 320, Stellenbosch 7600

## SAMEVATTING

*Die atmosfeer en oseaan vorm uit 'n funksionele oogpunt 'n gekoppelde eenheid. Hulle werk op mekaar in oor 'n wye ruimtespektrum heen, vanaf molekulêre tot globale skaal. Die belangrikheid daarvan om die oseaan en atmosfeer as 'n gekoppelde stelsel te beskou, word ten beste geïllustreer deur die wisselwerking tussen die twee te bekyk sover dit klimaat raak. Dit word hier gedoen deur die probleme van 'n toename in koolsuurgas in die atmosfeer, die invloed van seeoppervlak-temperatuur op die weer en die wêreldwye El Niño-gebeurtenis te bespreek. Ten besluite word daar kortliks verwys na Suid-Afrikaanse navorsing in hierdie verband*

## ABSTRACT

### *The interaction between ocean and atmosphere: a review*

*The atmosphere and the ocean may, from a functional point of view, be regarded as forming a coupled entity. They interact on a wide spatial range, from the molecular to the global. The necessity of considering the ocean and the atmosphere as a coupled system is illustrated most effectively if the interaction between them is studied insofar as it affects climate. This is done here by discussing the problem of an increase in atmospheric carbon dioxide, the influence of sea surface temperatures on the weather and the global El Niño/Southern Oscillation phenomenon. In conclusion mention is made of South African research in this connection.*

## INLEIDING

Navorsing oor die atmosfeer is geruime tyd bedryf sonder dat die oseaan voldoende, of selfs enigsins, in berekening gebring is. Hierdie gesigspunt is nie alleen kortsigtig nie, maar selfs belemmerend aangesien die atmosfeer en die oseaan in 'n simbiotiese verhouding tot mekaar staan. Die fisiese koppeling tussen dit twee vloeistof-stelsels is fundamenteel en bepalend van aard.

Die belangrikheid van hierdie uitgangspunt blyk byvoorbeeld uit pogings tot langtermyn-weervoorspelling. Met die toename in omvang en sofistikasie van numeriese modelle van die atmosfeer het dit moontlik geword om akkurate weervoorspelling al verder die toekoms in te maak. Die aanvangstoestande wat in hierdie modelle gebruik word, is bepalend vir hoe ver die toekoms in die modelle nuttig is. Tot op hede het alle modelle na minder as 14 dae gefaai. Een van die aanvangstoestande wat in baie van die modelle buite rekening gelaat is, is die seeoppervlak se temperatuur. Onlangse navorsingsresultate dui egter daarop dat sulke langdurige seeoppervlak-temperatuurafwykings moontlik belangrike dryffunksies vir die atmosfeer is<sup>1</sup> wat 'n langtermyn-stabiliserende invloed op weerstoestande mag uitoefen. Die kousale verband tussen seetemperatuur en langtermyn-weerstoestande word egter nog swak verstaan.

Dit is egter op die gebied van die klimatologie waar die verwantskap tussen die atmosfeer en die oseaan die duidelikste blyk. Die bewering kan met reg ge-

maak word dat die oseane ons sleutel tot kennis van klimaat in die verlede is en sentraal staan tot ons begrip van klimaat in die toekoms.<sup>2</sup> Die kardinale belang van 'n fundamentele begrip van klimaatsverandering is die afgelope dekade op die voorgrond geplaas toe relatief geringe skommelings in die klimaat wêreldwyd ramspoedige gevolge gehad het. Die droogte in die Sahel, in Australië en in Suider-Afrika, die afname in die graanoes in die Sowjet-Unie en die ineenstorting van die Peruviaanse visnywerheid is almal toe te skryf aan sulke klein klimaatskommelings.

Die wisselwerking tussen atmosfeer en oseaan kan dus waarskynlik ten beste geïllustreer word deur die klimatologiese aspek daarvan te oorweeg, al is dit op verre na nie die enigste wisselwerking nie. In hierdie oorsig sal ons ons bepaal by drie aspekte van klimaat, naamlik die probleem van die toename in koolsuurgas in die atmosfeer, die invloed van seeoppervlak-temperatuur op die weer en laastens die El Niño/Suidelike Skommeling-gebeurtenisse.

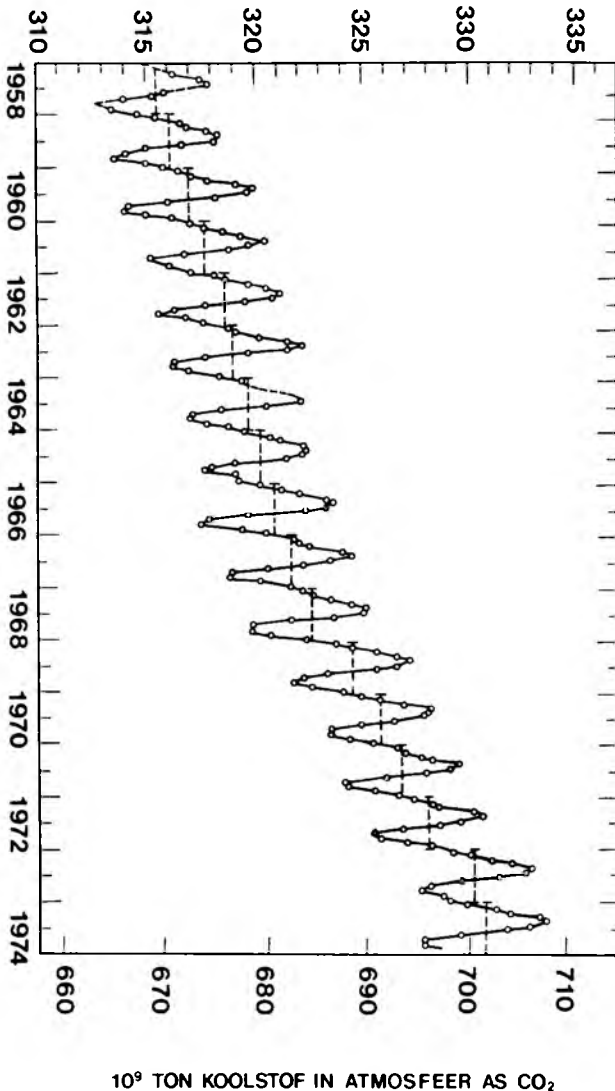
### Die Koolsuurgasprobleem

Die konsentrasie van koolsuurgas in die atmosfeer is besig om toe te neem. Waar daar bereken word dat dit voor die industriële omwenteling tussen 270 en 290 dele per miljard was, is dit op die oomblik 330 dele per miljard.<sup>2</sup> Hierdie toename is bowendien besig om te versnel. Daar is naamlik bereken<sup>3</sup> dat in die 50 jaar voor 1936 150 miljard ton koolsuurgas geproduseer is deur die verbranding van fossielbrandstowwe soos steenkool en aardolie. Op die huidige tydstip het die geraamde produksie toegeneem tot 18 miljard ton per jaar.

Die toename in koolsuurgas in die atmosfeer word

\*Hierdie artikel is gebaseer op 'n referaat wat gelewer is tydens die Eerste Simposium van die S.A. Vereniging vir Atmosferiese Wetenskappe, 26 Oktober 1984, Pretoria.

## KOOLSUURGAS KONSENTRASIE dpm vlg volume



FIGUUR 1: Lesings van atmosferiese koolsuurgasinhoud van 1958 tot 1974 soos gemeet by die Mauna Loa-observatorium in Hawaii.<sup>4,5</sup> 'n Jaarlikse siklus sowel as 'n langtermyn-toename is merkbaar. (Soos weergegee deur P.G. Brewer.<sup>2</sup>)

baie aanskoulik in Figuur 1 weergegee, wat bestaan uit 'n rekord van koolsuurgaskonsentrasies by Hawaii van 1958 tot 1974.<sup>4,5</sup> Die toename oor hierdie tydperk en selfs die tempoversnelling is duidelik sigbaar. Die merkbare jaarlikse siklus hou verband met die bind van koolstof deur fotosintetiserende plante gedurende die noordelike somer en die daaropvolgende vrystelling van koolsuurgas aan die atmosfeer in die winter wanneer die plantmateriaal ontbind.

Hierdie voortdurende toename in koolsuurgas, sou dit ongesteurd voortgaan, het die potensiaal tot klimatologiese rampspoedige gevolge. Koolsuurgas besit naamlik die eienskap dat dit kortgolfstrale deurlaat, maar langgolfstrale selektief absorbeer. As gevolg hiervan tree dit as 'n eenrigting-filter op wat sonlig deurlaat. Die sonbestraling word dan deur die aardoppervlak geabsorbeer. Op sy beurt straal die verwarmde aardoppervlak langgolf-hittegolwe uit wat egter deur die koolsuurgas geabsorbeer word. 'n

Toename in koolsuurgas in die lug veroorsaak dus 'n toename in die gemiddelde aardtemperatuur. Hierdie effek staan verkeerdelik bekend as die somerhuisieffek (*greenhouse effect*) omdat daar geruime tyd geglo is dat die temperatuurtoename in 'n somerhuisie van glas die resultaat sou wees van 'n soortgelyke meganisme.

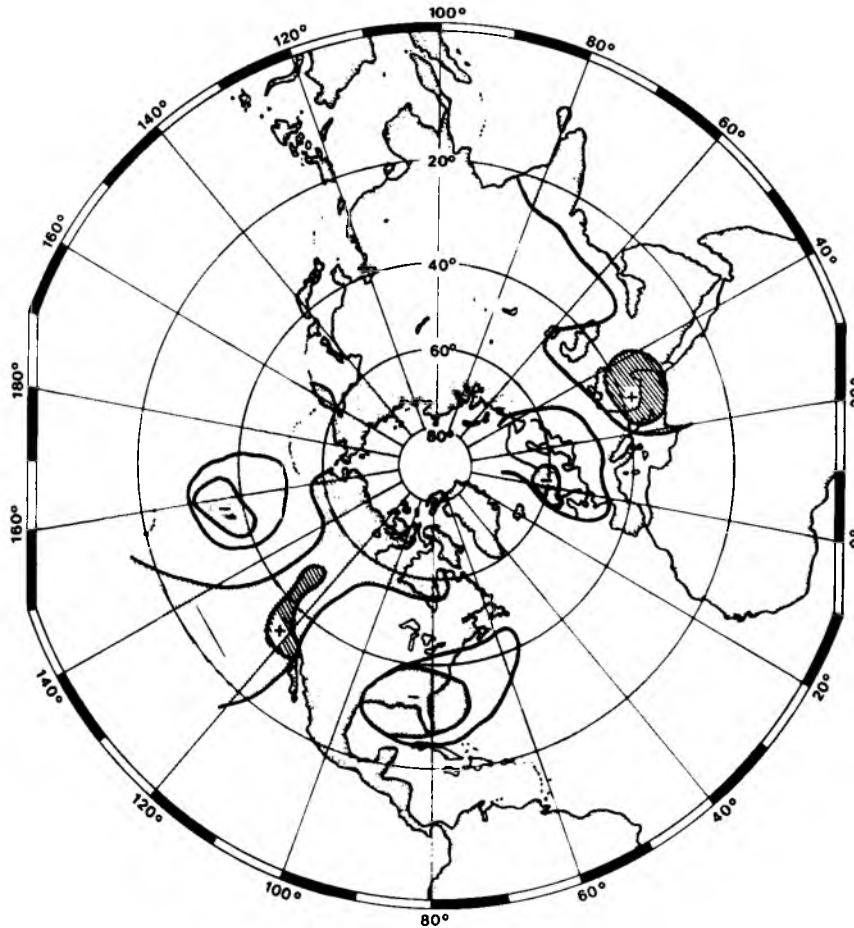
Daar word bereken dat, as die mens koolsuurgas bly produseer teen die huidige tempo, die koolsuurgasinhoud van die atmosfeer teen die einde van hierdie eeu sal verdubbel het. Verantwoordelike voorspellings, gebaseer op numeriese modelle, dui daarop dat so 'n toename verantwoordelik sal wees vir verhoging in die temperatuur van die aardoppervlak tussen 1,5 en 3°C.<sup>6,7</sup> Daar is ook bereken dat 'n temperatuurtoename van hierdie aard sal veroorsaak dat omvangryke dele van die ysbedekking van Antartika sal smelt,<sup>8</sup> wat op sy beurt gevolg sal word deur 'n berekende gemiddelde styging van 5 m in seevlak, die oorstroming van byna alle groot kusstede en selfs die uitsterwe van 'n groot aantal plant- en diersoorte.<sup>9</sup>

Nou is dit egter interessant dat van die totale volume mensgeproduseerde koolsuurgas alleen sowat 50% op die oomblik in die atmosfeer aanwesig is.<sup>2</sup> Die waarskynlikheid is groot dat die res op die een of ander wyse deur die oseaan geabsorbeer is. As die oseaan dus so 'n deurslaggewende rol in die wêreldwye koolsuurgasbalans speel, is dit belangrik om die meganismes waardeur die oseaan koolsuurgas absorbeer, beter te verstaan.

In die eerste plek absorbeer seewater wel koolsuurgas. Die indringing van die onlangse toename in koolsuurgas raak egter alleen maar die boonste oseaanlaag van ongeveer 700 m. Die hoeveelheid wat hier geabsorbeer word, hang af van die temperatuur van die bepaalde watermassa en die deeldruk van die koolsuurgas in die atmosfeer. Waar warm watermassas deur seestrome meegevoer word na kouer dele van die aardbol en daar afkoel, soos byvoorbeeld in die geval van die Agulhasstroom, neem die vermoë van die kouer wordende water om meer koolsuurgas te absorbeer toe. Omgekeerd, waar kouer water met 'n hoë koolsuurgaslading verwarm word, stel dit koolsuurgas vry. Aangesien die gemiddelde osean-temperatuur konstant bly, is hierdie dinamiese balans tussen koolsuurgas en die oseaan al duisende jare onversteurd.

Bogenoemde proses vind egter net plaas in die boonste laag van die oseaan. Die oseaan het daarby ook 'n vertikale sirkulasie waardeur water met baie hoë digtheid in die hoë breedtegrade, soos byvoorbeeld naby Antarktika, gevorm word en na die oseaanbodem afsak, versprei en so die bodemlaag van alle oseaan-omgewings vorm. Hierdie uiters koue onderste laag vermeng langsaam na bowe, waardeur die siklus herhaal word. Voorlopige berekenings dui egter daarop dat hierdie vertikale vermenging uiters stadig plaasvind en dat dit enkele eeue mag duur voor so 'n siklus voltooi is. Die indra van 'n verhoogde koolsuurgasinhoud aan die seeoppervlak die oseandieptes in, mag dus 'n baie langsame proses wees.

'n Bykomende oseaanproses waardeur koolsuur-



**FIGUUR 2:** Hoofkomponent-ontleding van seeoppervlak-temperature en lugtemperature oor landgebiede vir die Noordelike Halfrond gedurende die noordelike winter. Die tydperk gedek strek van 1950 tot 1977. Gearseerde areas dui op gebiede waar die temperature positief korreleer, terwyl gestippelde areas negatief gekorreleer is. (Soos weergegee deur T.P. Barnett.<sup>11</sup>)

gas aan die atmosfeer onttrek word, vind plaas deur die fotosintese van oseaan-alge, die fitoplankton. Hierdie eensellige plantjies fikseer atmosferiese koolsuurgas, hoofsaaklik as organiese koolstofverbindinge en as kalsiumkarbonaat. Wanneer die plantjies vrek, val hulle deur die waterkolom en word 'n groot deel van hulle koolstofinhoud in die bodemsedimente opgeneem. Dit is grotendeels 'n eenrigting-proses wat al duisende jare in dinamiese ewewig verkeer.

Dit mag van belang wees in die problematiek van die oseaan se opname van bykomende koolsuurgas dat die diepsee onderversadig is sover dit twee van die minerale vorms van kalsiumkarbonaat, kalsiet en aragoniet, aanbetref.<sup>2</sup> As die koolsuurgasinhoud van seewater toeneem, neem die pH af en word die oplos-tempo van kalsiumkarbonaat in die bodemsedimente versnel. Hierdie proses lei dat tot 'n toename in die vermoë van die oseaan om koolsuurgas te absorbeer. Hier is dus moontlik 'n baie interessante terugvoermeganisme waardeur 'n toename in atmosferiese koolsuurgas die vermoë van die oseaan om koolsuurgas te absorbeer verhoog.

Die reaksietyd van hierdie meganismes is onbekend. Of hulle kan bydra om die voorspelde katastrofes te verhoed of te demp is eweneens onbekend.

Dit is egter duidelik dat die probleem van 'n toename in koolsuurgas in die atmosfeer nie benader kan word sonder om die invloed van die oseaan in ag te neem nie.

#### Seeoppervlak-temperature en die weer

'n Tweede navorsingsgebied in die klimatologie waarin die koppeling tussen oseaan en atmosfeer duidelik na vore kom, is die studie van die invloed van seeoppervlak-temperatuur op die weer. Daar vind naamlik voortdurend 'n hitte-oordrag plaas tussen die oseaan en die atmosfeer; 'n ingewikkelde tweerigtingproses wat deur 'n groot aantal faktore beïnvloed word.

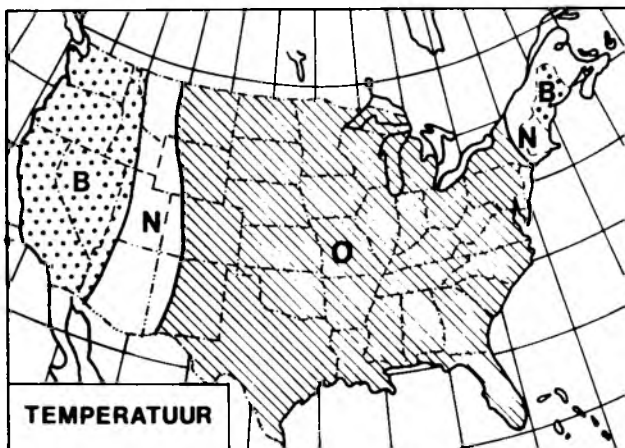
Om hierdie proses beter te begryp, kan mens van 'n paslike analogie, dié van 'n groot, ingewikkelde firma se finansiële sake gebruik maak. Wil 'n mens naamlik graag so 'n firma se werking begryp, is dit soms nuttig om by sy begroting te begin. Deur vas te stel wat die bronne van inkomste is en waarheen die meeste uitgawes gekanaliseer word, kan 'n mens heelwat oor 'n firma leer. Soortgelyke begrotings word ook vir die hitte van die oseaan opgestel: waar verloor die oseaan hitte en waar kry hy hitte toegevoeg? Hoe word hitte in die oseaan self van gebied na gebied oorgedra? Aangesien die gemiddelde tempera-

tuur van die oseaan nie toeneem nie, verwag 'n mens 'n balans in hitteverlies en -toevoeging.

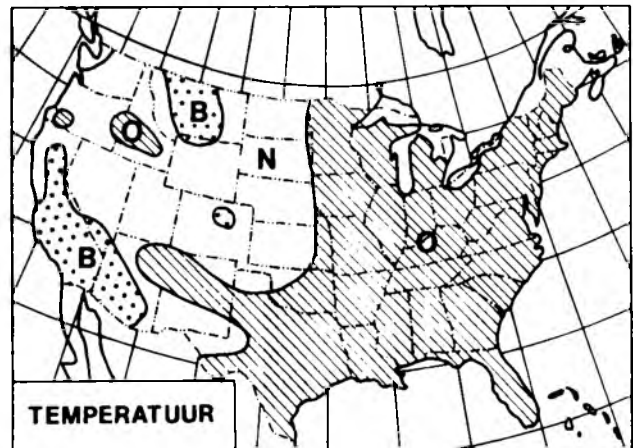
Die algemene hittebegroting van die oseane sien min of meer as volg daaruit: In tropiese gebiede tree die oseaan op as 'n hitte-absorbeerder.<sup>10</sup> Hier dring sonstrale die helder tropiese water die diepste binne. 'n Klein gedeelte daarvan word weer teruggestraal in die vorm van langgolf-hittestrale. Waar die lug koeler is as die water, mag daar verder direkte hitteverlies wees, terwyl verdamping ook afkoeling van die seeoppervlak sal veroorsaak deur verlies van latente hitte. Al hierdie prosesse is op 'n ingewikkelde wyse afhanklik van die wind en van golwe. In die poolgebiede is die netto hittevloed ook hoofsaaklik in een rigting, maar hier van die oseaan na die atmosfeer. In die middel-breedtegrade-sone, daarenteen, is daar 'n netto hittewins in die somer, maar hierdie hitte word in die winter weer aan die atmosfeer prysgegee. Die netto hittewins in die trope en die netto hitteverlies in die poolstreke word in die oseaan gekompenseer deur die westelike randstrome, soos die Agulhasstroom, wat warm water van die trope poolwaarts vervoer. Daar is ook 'n kompensasië deur die diep seestrome, soos die Antarktiese Bodemwater se beweging, waardeur koue poolwater teruggevoer word na die trope. Hierdie hele proses verkeer in 'n langdurige ewewig.

Watter invloed het hierdie massiewe, goedgebalanseerde hittemasjien van die oseaan op die atmosfeer? Dit is in hierdie verband insiggewend om daarop te let dat die hittekapasiteit van die boonste 3 meter van die oseaan ooreenstem met die hittekapasiteit van die totale lugkolom van die atmosfeer daarbo.<sup>10</sup> Die oseaan is dus 'n reuse hitereservoir, wat baie langsaam verander weens sy enorme hitte-kapasiteit. Dit lyk dus waarskynlik dat die oseaan steeds 'n remmende, dempende invloed op die atmosfeer sal uitoefen en nooit self as 'n opwekker van verandering sal optree nie.

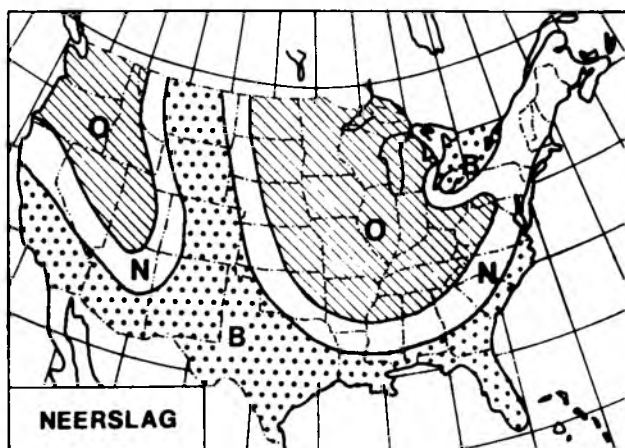
Statistiese ontledings van die oppervlak-temperatuurveld van die aarde dui egter daarop dat die oseaan- en die lugtemperatuur direk gekoppel is.<sup>11</sup> 'n Hoofkomponent-ontleding van sulke temperature vir die Noordelike Halfrond (Figuur 2) dui daarop dat as seeoppervlak-temperatuur van die oostelike Stille Oseaan buitengewoon hoog is, die lugtemperatuur oor die suid-oostelike deel van Noord-Amerika en oor Noord-Europa buitengewoon laag sal wees. Die lugtemperatuur oor die Midde-Ooste sal daarenteen buitengewoon hoog wees. Tot 20% van die totale veranderlikheid van die Noordelike Halfrond se temperatuurveld kan aan hierdie verskynsel toegeskrywe word. Veranderings in die seetemperatuur vind dus gelyktydig met lugtemperatuurverandering plaas.



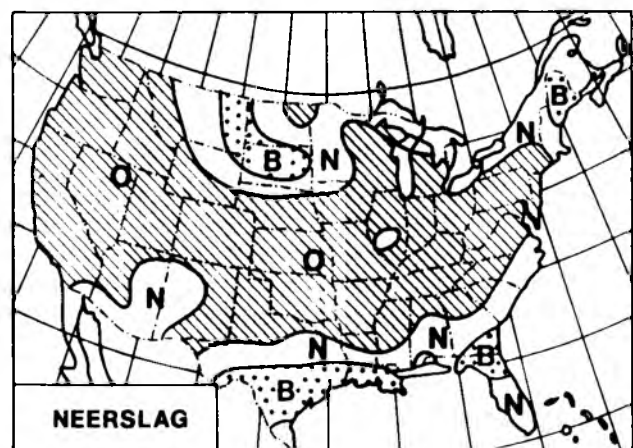
VOORSPEL (winter 1976-77)



WAARGENEEM (winter 1976-77)

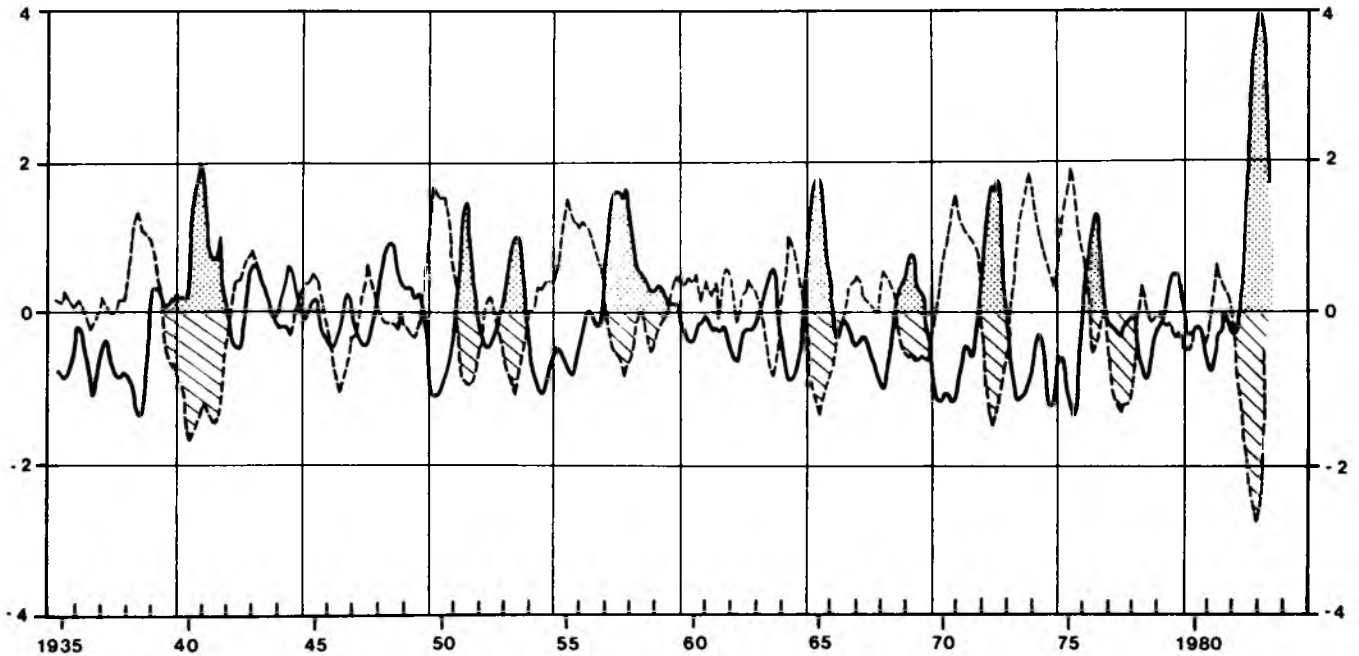


NEERSLAG



NEERSLAG

FIGUUR 3: Die voorspelde en die waargenome temperature en neerslag vir die Verenigde State van Amerika vir die wintermaande, Desember tot Februarie, van 1976-77. Die notasie is: B vir bo-normaal, N vir normaal, O vir onder-normaal. Die voorspelling is op 1 Desember 1976 gemaak vir gegewens versamel tot en met 23 November 1976. (volgens Namias.<sup>14</sup>)



**FIGUUR 4:** 'n Vergelyking tussen indekse van die Suidelike Skommeling en die El Niño-gebeurtenis. Die indeks vir die El Niño is die seeoppervlak se temperatuur-afwykings by Puerto Chicama in Peru (soliede lyn) en die indeks vir die Suidelike Skommeling is die gestandaardiseerde verskil in atmosferiese druknomalië by seevlak tussen Tahiti en Darwin, Australië. Sterk Suidelike Skommelings word deur arsering getoon; nege groot El Niño's sedert 1935 word deur stippeling geïdentifiseer. (Soos weergegee deur Rasmusson.<sup>19</sup>) 'n Duidelike korrelasie tussen die voorkoms van die twee verskynsels is waarneembaar.

Hierdie bewese koppeling tussen oseaantemperatuur en atmosfeer is deur Namias en Born<sup>12</sup> nog verder gevoer deurdat hulle die historiese gegewens oor afwykings in seeoppervlak-temperatuur en afwykings in lugdruk statisties vergelyk het. 'n Regressiemodel vir die Noord-Stille Oseaan is ontwikkel waardeur die een veld van die ander afgelei word. Kennis van afwykings in die seeoppervlak-temperatuurveld kan dus gebruik word om afwykings in die lugdrukveld te voorspel. Waarnemings het aangetoon dat hierdie voorspellings 'n hoë mate van betroubaarheid besit.<sup>12</sup> Daar is dus hier weer eens sprake van 'n beduidende koppeling tussen die atmosfeer en die oseaan. Die koppelingsmeganismes is tot op groot hoogte onbekend.<sup>11</sup> 'n Mens kan met 'n groot mate van sekerheid aanneem dat die oordrag van hitte en momentum hier die grootste rol speel, maar hierdie oordragprosesse word swak begryp.

Namias<sup>13</sup> en andere het egter voortgebou op die gedagte van die oseaan se termiese stabiliteit en probeer vasstel of afwykings van die seeoppervlak-temperatuur standhoudend is van jaar tot jaar. Dit het geblyk dat dit wel die geval is en dat 'n goeie kennis van afwykings tydens een jaar heel doelmatig gebruik kan word vir die voorspelling van seetemperatuur-afwykings die volgende jaar. Aangesien daar alreeds bewys is dat afwykings van seetemperature gekoppel is aan afwykings van lugdruk, word dit dus moontlik om die seeoppervlak-temperatuur van een jaar te gebruik om weergesteldhede vir die volgende jaar te voorspel.

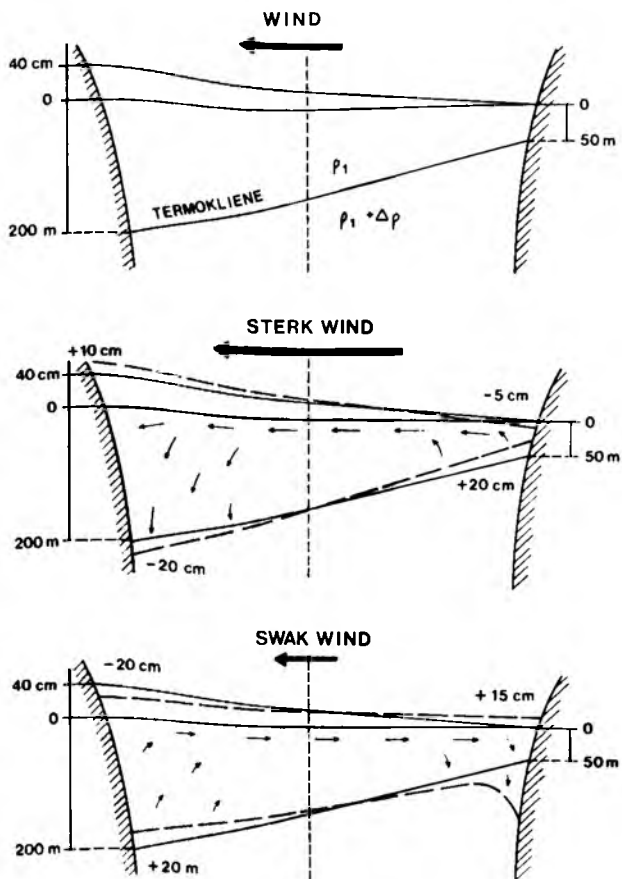
'n Voorbeeld van so 'n voorspelling vir temperatuur en neerslag oor die aanmeakaargrensende state van die VSA word in Figuur 3 weergegee. Die model

het met 'n besonder mate van sukses 'n neerslag en temperatuur benede die normale vir die oostelike dele van die VSA vir die winter van 1976-1977 voorspel.<sup>14</sup> Uiteraard koue weer, egter met weinig sneeu, is inderdaad ondervind, en op baie plekke het die ski-oorde daardie winter leeggestaan weens 'n gebrek aan skioppervlakke! Ander navorsers, soos byvoorbeeld Barnett en Preisendorfer,<sup>15,16</sup> maak gebruik van 'n regressie-model waarin hulle weerstoestandpatrone, insluitende seeoppervlaktemperatuurpatrone, van die huidige jaar statisties vergelyk met historiese patrone van jare in die verlede. As daar 'n jaar gevind word waarvan die patrone baie ooreenstem met dié van die huidige jaar, dan word die jaar wat die geïdentifiseerde historiese een volg, gebruik om volgende jaar se toestande met heelwat sukses te voorspel. Seeoppervlaktemperatuur speel in hierdie statistiese metode 'n belangrike rol.

Nieteenstaande die feit dat die koppelingsmeganismes tussen atmosfeer en oseaan swak of alleen gedeeltelik begryp word, is die statisties waarneembare koppelings nogtans so stewig dat hierdie voorspellings met 'n groot mate van sukses bekroon is. Die fundamentele rol wat die wisselwerking tussen die oseaan en die atmosfeer ook hier speel, is dus klaarblyklik.

#### Die El Niño-gebeurtenis

Die klimatologiese gebeurtenis wat in die jongste tyd waarskynlik die meeste bekendheid by die algemene publiek verwerf het, is die El Niño en word hier as laaste voorbeeld van oseaan/atmosfeer-wisselwerking in die klimatologie bespreek. Tydens die afgelope paar jaar is swaar droogtes in Suider-Afrika,



FIGUUR 5: Die reaksie van die oseaanstruktuur op veranderinge in die atmosfeer oor die Stille Oseaan. 'n Opeenhoping van warmer water in die weste en 'n wes-oos helling in die termokliene is normaalweg aanwesig (a). Hierdie eienskappe neem toe wanneer die winde in sterkte toeneem (b), wat gewoonlik plaasvind voor die aanvang van 'n Suidelike Skommeling. Na afloop van 'n skommeling (c) is die windveld swakker, die opgehoopde warm water vloei terug en die termokliene in die oostelike deel van die oseaan word na benede gedruk. Dit staan dan bekend as die El Niño. (volgens Wyrтки.<sup>21</sup>)

Australië en die Sahel-lande suid van die Sahara-woestyn ondervind. In dele van Noord- en Suid-Amerika was daar buitengewoon hoë reënneerslae met gepaardgaande oorstromings. In die openbare pers is 'n groot aantal van hierdie natuurrampe aan die invloed van die El Niño toegeskryf.<sup>17</sup> Wat is hierdie El Niño?

El Niño is die Spaans vir manlike kind, of, in hierdie geval, die Christuskind. Dit beskryf 'n katastrofiese verandering in die oseaanklimaat wat op onge-reelde tye, maar meesal ongeveer oor die Kersseisoen, langs die Suid-Amerikaanse westkus voorkom. 'n Laag warm water beweeg stadig suidwaarts vanaf die ewenaar, al langs die westkus af, en bedek binne 'n paar maande die normale koue water wat langs hierdie kusgebied aangetref word. Hierdie warm bollaag demp die normale opstuwings van koue, voedingsryke diep water langs die kus wat noodsaaklik is vir die stimulering van die voedselketting. Normaalweg vorm hierdie opstuwingsgebied die onderbou vir die groot visserynywerheid van hierdie land. Tydens 'n El

Niño-jaar faal die vissery en miljoene voëls, wat ook afhanklik is van die stapelvis, vrek. Die landbou in hierdie lande is hoofsaaklik aangewese op die guano-industrie vir kunsmis, maar hierdie nywerheid faal ook weens gebrek aan grondstowwe, wat dan op sy beurt weer die ineenstorting van die landbou veroorsaak.<sup>18</sup>

Weens die belangrike ekonomiese implikasies van die El Niño is dit oor baie jare intensief uit 'n oseanologiese oogpunt bestudeer. Dit is egter steeds as 'n plaaslike oseaanverskynsel beskou en behalwe vir 'n meer uitgebreide en meer gedetailleerde beskrywing van die verskynsel self, is weinig vordering gemaak met 'n begrip van die oorsake of die voorspelbaarheid van die verskynsel.

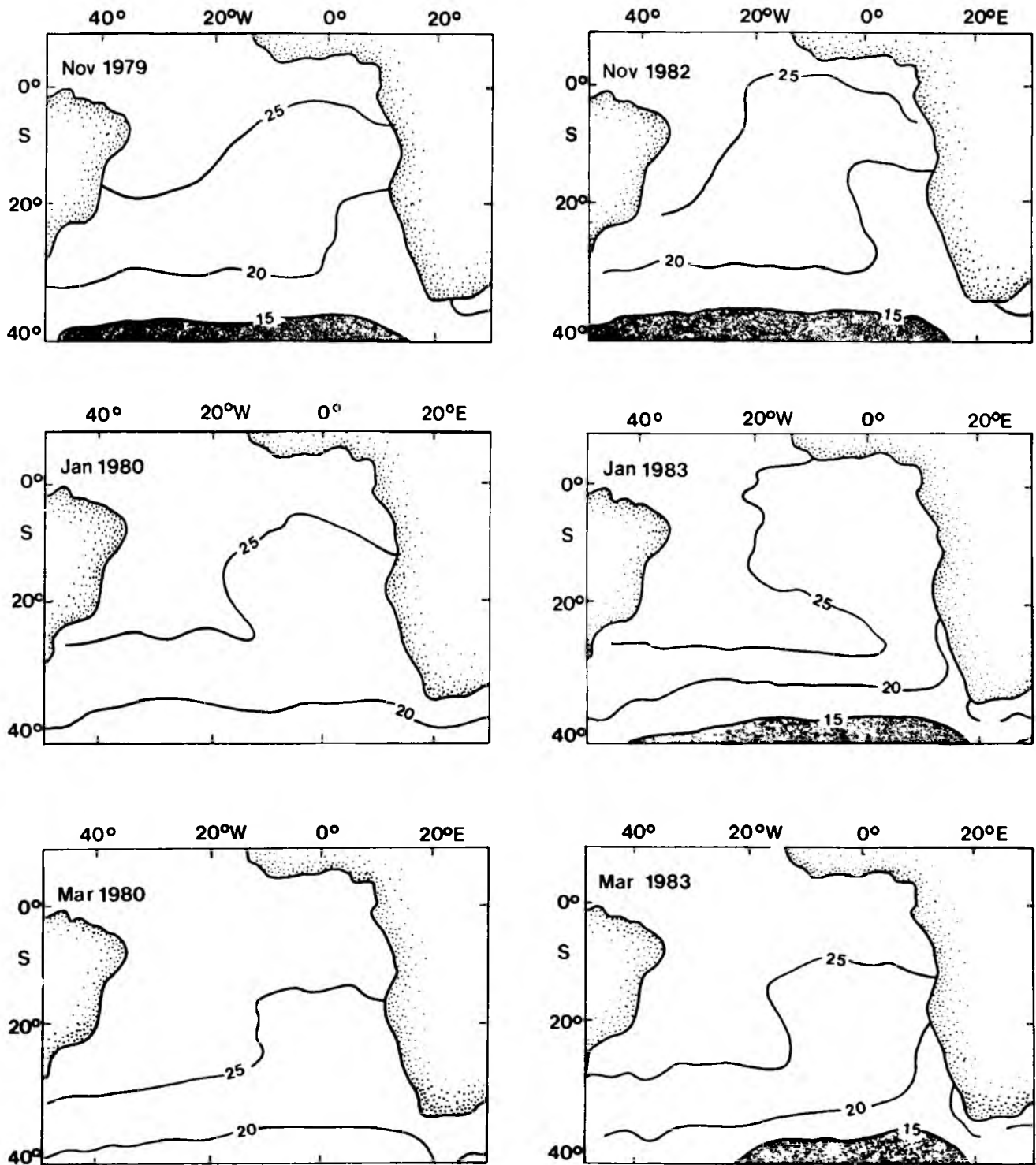
Oor die afgelope paar jaar is grootskaalse navorsingsprogramme oor die breedte van die Noord-Stille Oseaan geloods om die oorsake van die El Niño te probeer vasstel. Opwindende resultate het daartoe gelei dat die El Niño vandag gesien word as maar een oseaan-simptoom van 'n wêreldwye skommeling in atmosfeertoestande.

Hierdie skommelings is al sedert die twintigerjare bekend toe 'n Britse weerkundige, G. Walker, aangetoon het dat afwykings van die gemiddelde lugdruk in patrone voorkom wat 'n hele halfrond kan omsluit. So het hy aangetoon dat die jaarlikse lugdrukafwykings by Djakarta, Indonesië, goed korreleer met afwykings wêreldwyd. As die lugdruk hoër as normaal is by Djakarta, dit wil sê aan die westekant van die Suid-Stille Oseaan, dan is dit laer as gewoonlik aan die oostekant van hierdie osean, en omgekeerd. Die jaarlikse gemiddelde lugdruk beweeg dus op onreëlmatige wyse op en af soos 'n wipplank oor die Stille Oseaan. Hierdie verskynsel staan dan ook bekend as die Suidelike Skommeling (*Southern Oscillation*). 'n Vergelyking tussen indekse van die voorkoms van El Niño soos byvoorbeeld die temperatuurafwykings in die seeoppervlak langs die Suid-Amerikaanse westkus, en indekse van die Suidelike Skommeling soos byvoorbeeld die verskil in atmosferiese druk tussen Tahiti (Frans-Polinesië) en Darwin (Australië) dui daarop dat daar 'n baie hoër korrelasie tussen die voorkoms van hierdie twee verskynsels bestaan (Figuur 4). Die verband tussen hierdie twee verskynsels, een in die osean, die ander in die atmosfeer, is in 1969 finaal gelê deur J. Bjerknes.<sup>20</sup> Hierdie werk beklee 'n belangrike plek in die annales van navorsing oor globale osean-atmosfeer-wisselwerking.

Op daardie stadium is die meganismes waardeur hierdie twee stelsels gekoppel is egter nog swak verstaan. Die afgelope paar jaar is baie navorsing oor hierdie probleem gedoen, is daar 'n redelik duidelike begrip gevorm en het El Niño's selfs redelik voorspelbaar geword. Tientalle navorsers van formaat het aan hierdie internasionale projekte deelgeneem. Een van die leiers in hierdie verband was professor K. Wyrтки, wat 'n besonder leesbare samevatting van ons huidige begrip van die Suidelike Skommeling/El Niño geskryf het.<sup>21</sup>

Die wisselwerking tussen die atmosfeer en die





**FIGUUR 6:** Seeoppervlak-temperatuur vir 'n normale, verteenwoordigende somer in die linkerhandse paneel (November 1979 – Maart 1980) en vir die El Niño/Suidelike Skommelingjaar (November 1982 – Maart 1983). Hierdie temperatuur is gemiddeldes afgelei van infrarooi radiansiewaardes soos gemeet deur die NOAA-satellietreeks.<sup>35</sup> Die groot gebied kouer water in die suide en die tong warmer water vanaf Suid-Ameria is duidelik waarneembaar vir die 1982-83-seisoen. (Volgens Gillooly & Walker.<sup>31</sup>)

oseaan in die Stille Oseaan word skematies in Figuur 5 weergegee. Tydens normale toestande is die Paaseiland-hoogdrukstelsel en die Indonesiese laagdrukstelsel goed ontwikkel met gevolglike sterk Suidoos Passaatwinde. Die wind veroorsaak 'n opeenhoping van warmer water in die weste, druk die termokliene in die ooste na benede en sorg vir 'n verhoging in seevlak in die ooste. (Die termokliene vorm die grens tussen die warm, voedingsstofarme oppervlakwater en

die koue, voedingsryke dieper water). Die verskil in oseaantemperature tussen die westelike en die oostelike deel van die oseaan versterk die Walker-sirkulasie, dit wil sê die hoog- en laagdrukstelsel in die atmosfeer. Ons het dus hier te doen met 'n positiewe terugvoerstelsel. Hierdie toestand kan etlike jare duur.

Om redes wat nog onbekend bly, vind die Suidelike Skommeling dan plaas waardeur die laag- en hoog-

drukstelsels verflou, die drukgradiënt afneem en die Suidoos Passaatwinde swakker is.<sup>21</sup> Dit vind gewoonlik plaas nadat die hele stelsel abnormaal sterk was. Die opeengehoopte warmer water in die westelike deel van die oseaan voel nou nie meer die stuwings van die winde hier nie en beweeg terug in die vorm van 'n Kelvingolf op die ewenaar wat binne ongeveer 60 dae die oseaan kruis. Hierdie vloedgolf warm water bereik dan die weskus van Suid-Amerika waar dit die termokliene na benede druk (Figuur 5). Die afname in sterkte van die windveld veroorsaak bowendien 'n swakker opstuwings van kouer water langs die Suid-Amerikaanse weskus, sodat die hele gebied se water vinnig warmer word.

Of die wisselwerking tussen atmosfeer en oseaan op die een op ander wyse verantwoordelik is vir die plotselinge omskakeling van die een toestand na die ander is onbekend. Dit is egter wel duidelik dat die wisselwerking tussen die twee 'n groot bydrae lewer tot die handhawing van die twee stabiele vorms van die Suidelike Skommeling.<sup>21</sup>

#### Navorsing in Suid-Afrika

Die vraag duik onmiddellik op of 'n verskynsel soos die El Niño nie ook in die Suid-Atlantiese of Suid-Indiese Oseaan aanwesig is nie, en, indien wel, watter invloed dit op ons weer in Suider-Afrika sou hê. Ongelukkig is daar nog baie weinig navorsing hieroor in Suid-Afrika gedoen. In Augustus 1983 is daar wel 'n simposium gehou oor die "warm gebeurtenis" van 1982-83 aan ons weskus.<sup>22-31</sup> Hierdie "warm gebeurtenis" het saamgeval met die El Niño van 1982-83 in die Stille Oseaan.

Allelei insiggewende en gedagteprikkende gegewens is tydens hierdie simposium voorgelê. So het dit geblyk dat die gemeenskappe van vlakwater-mariene organismes aan die Suid-Afrikaanse kus gedurende 1982-83 aansienlike veranderings getoon het.<sup>23</sup>

Die geografiese bereik van hierdie organismes het opmerklik verander, asook die samestelling van die gemeenskappe en die rekruteringspatrone. Suid-Afrikaanse seevoëlkolonies het hier en daar broeimislukkings ervaar, daar was 'n geringe toename in die sterftekoers vir seevoëls sowel as 'n opmerkbare verskuiwing in hulle dieet.<sup>24</sup> Hierdie veranderings in dieet kan waarskynlik toegeskrywe word aan die feit dat die ansjovis-konsentrasie besonder laag was. Shannon *et al.*<sup>22</sup> het naamlik aangetoon dat die Suid-Afrikaanse ansjovisvangste vroeg in die vangseisoen van 1983 die laagste die afgelope tien jaar was.

Hierdie afwykende tendense in die gedrag van die biologiese komponente van die Suider-Afrikaanse opstuwingsstelsel mag te wyte wees aan die afwykings in die fisiese omgewing. In die somer van 1982-83 is daar buitengewoon hoë temperature langs die suidwestelike kus van Suid-Afrika<sup>25</sup> gemeet, terwyl die temperature langs die kus van Suidwes-Afrika andersyds benede normaal was.<sup>26</sup> Die opstuwingsintensiteit langs die Kaapse Skiereiland was maar sowat tweederdes van dié wat tydens 'n normale somer ondervind word.<sup>28</sup> Dit kan, op sy beurt, moontlik

toegeskrywe word aan die afwykende winde wat tydens hierdie somer langs die Kaapse kus ondervind is.<sup>29</sup>

Die afwykings gedrag van al hierdie verskillende faktore langs die Suid-Afrikaanse kus tydens die sterk El Niño/Suidelike Skommeling-jaar dui beslis wel op die moontlikheid dat ons hier te doen het met telekonnesies, dit wil sê, met plaaslike gebeurtenisse wat verband hou met globale veranderings of veranderings op ander plekke. Van Loon en Madden<sup>32</sup> het in hulle ondersoek na die globale effek van die Suidelike Skommeling vasgestel dat tydens die lae, of negatiewe, fase van dié skommeling die westewinde in die Atlantiese en Indiese Oseaan noord van 45°-50°S sterker waai, terwyl hulle aan die poolkant van hierdie sone swakker word. Schulze<sup>30</sup> het aangetoon dat hierdie neiging wel in die somer van 1982-83 aanwesig was en het voorgestel dat daar 'n korrelasie bestaan tussen die afwykende drukpatrone van vinnig bewegende frontale laedrukstelsels suid van die land en die lae fase van die Suidelike Skommeling.

'n Besonder insiggewende ontleding van Gillooly en Walker<sup>31</sup> het ook aangetoon dat die seeoppervlaktemperatuur gedurende hierdie El Niño/Suidelike Skommeling-jaar in die Suid-Atlantiese Oseaan buitengewoon laag was (Figuur 6). In Figuur 6 word die maandelikse gemiddelde temperature vir 'n verteenwoordigende, normale jaar gekontrasteer met die temperature wat in die somer van 1982-83 gemeet is. Hierdie gemiddeldes berus op geïnterpreteerde infrarooi radiansiewaardes soos gemeet deur instrumente aan boord van die NOAA-reeks satelliete. Tussen 50 en 250 lesings is per meetpunt geneem, afhange van wolkbedekking,<sup>33,34</sup> terwyl die akkuraatheid van individuele lesings binne 'n standaardafwyking van 0,25°C val.

Waar alle seeoppervlaktemperatuur noord van 40°S breedtegraad teen Januarie van 'n normale jaar hoër as 15°C is, was 'n groot deel van die seeoppervlak in die Suid-Atlantiese Oseaan in 1983 tot ná Maart koeler as 15°C. Aangesien die 14°C isotherm aan die seeoppervlak goed ooreenstem met die ligging van die Subtropiese Konvergensie,<sup>35</sup> mag dit dui op 'n belangrike verskuiwing in die ligging van hierdie front<sup>36</sup> wat gevolge vir die weerstoestande oor Suidelike Afrika mag hê.<sup>37</sup> Verder is daar 'n tong warmer water, wat in Figuur 6 goed uitgebeeld word deur die 25°C isotherm vir Januarie 1983, wat gedurende hierdie somer baie verder dwars oor die Suid-Atlantiese Oseaan beweeg het as normaalweg. Hierdie tong mag verband hou met 'n algemene toename in die intensiteit van die hoogdrukstelsel oor die oseaan in Januarie 1983<sup>31</sup> en die verwagte toename in windsterkte noord van 45°S.<sup>33</sup>

'n Paar onlangse oorsigte<sup>38-41</sup> het egter getoon dat daar uiters weinig navorsing oor die wisselwerking tussen die oseaan en die atmosfeer, sover dit klimaat betref, in die Suidelike Halfrond uitgevoer is. In Suid-Afrika vorm hierdie gebrek 'n besondere leemte in ons natuurwetenskaplike mondering, 'n leemte wat op die lang termyn beslis belangrike weerkundige en ekonomiese konsekwensies mag hê.



### Gevolgtrekkings

Dit is uit voorafgaande duidelik dat, alleen al sover dit die studie van klimaat aanbetref, die oseaan nie buite rekening gelaat kan word in weerkundige navorsing nie. Dit geld vir die koolsuurgastoenname-probleem, die langtermyn-voorspelling van weer en klimaat, sowel as 'n studie van die El Niño/Suidelike Skommeling-verskynsel.

Die enkele belangrikste gevolgtrekking waartoe hierdie oorsig dus kom, kan miskien die beste saamgevat word in die woorde van professor Klaus Wyrтки:<sup>21</sup>

“The Ocean and the atmosphere are not two separate fluids but rather, form the two most important components of a large heat engine that determines the fluctuations of our climate.”

### Verwysings

- White, R.M. (1978). Oceans and climate: an introduction, *Oceanus*, 21, 2-3.
- Brewer, P.G. (1978). Carbon dioxide and climate, *Oceanus*, 21, 12-17.
- Callender, G.S. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature, *Q.J. Roy. meteor. Soc.*, 64, 223-240.
- Keeling, C.D. (1968). Carbon dioxide in surface ocean waters, *J. geophys. Res.*, 73, 4543-4553.
- Baes et al. (1976). The global carbon dioxide problem, Oak Ridge National Laboratory, Report No. ORNL-5194.
- Schneider, S.H. (1975). On the carbon dioxide-climate confusion, *J. atmos. Sci.*, 32, 2060-2066.
- Manabe, S. & Wetherald, R.T. (1975). The effect of doubling the CO<sub>2</sub> concentration on the climate of a general circulation model. *J. atmos. Sci.*, 32, 3-15.
- Mercer, J.H. (1978). West antarctic ice sheet and CO<sub>2</sub> greenhouse effect: a threat of disaster, *Nature*, 271, 321-325.
- McLean, D.M. (1978). A terminal Mesozoic “Greenhouse”: Lessons from the past, *Science*, 201, 401-406.
- Bryan, K. (1978). The ocean heat balance, *Oceanus*, 21, 19-26.
- Barnett, T.P. (1978). Ocean temperatures = precursors of climate change? *Oceanus*, 21, 27-32.
- Namias, J. & Born, R.M. (1972). Empirical techniques applied to large-scale and long-period air/sea interactions, a preliminary report, *Scripps Institution of Oceanography Ref. Ser.* No. 72-1.
- Namias, J. (1975). *Short period climatic variations*, Vol. I and II, *The collected works of J. Namias 1934 through 1974*, San Diego, University of California, 905.
- Namias, J. (1978). Multiple causes of the North American abnormal winter 1976-77, *Mon. Weath. Rev.*, 106, 279-295.
- Harnack, R.P. & Landsberg, H.E. (1978). Winter season temperature outlooks by objective methods, *J. geophys. Res.*, 83, 3601-3616.
- Barnett, T.P. & Preisendorfer, R.W. (1978). Multifield analog prediction of short-term climate fluctuations using a climate state vector, *J. atmos. Sci.*, 35, 1771-1777.
- Glantz, M.H. (1984). Floods, Fires and Famine: is El Niño to blame? *Oceanus*, 27, 14-19.
- O'Brien, J.J. (1978). El Niño – and example of ocean/atmosphere interactions, *Oceanus*, 21, 40-46.
- Rasmusson, E.M. (1984). El Niño: the ocean/atmosphere connection, *Oceanus*, 27, 4-12.
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Weath. Rev.*, 97, 163-172.
- Wyrтки, K. (1982). The Southern Oscillation, Ocean-Atmospheric Interaction and El Niño, *Marine Technol. Soc. J.*, 16, 3-10.
- Shannon, L.V., Crawford, R.J.M. & Duffy D.C. (1984). Pelagic fisheries and warm events: a comparative study, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 51-60.
- Branch, G.M. (1984). Changes in intertidal and shallow-water communities of the south and west coast of South Africa during the 1982/1983 temperature anomaly, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 61-65.
- Duffy, D.C., Berruti, A., Randall, R.M. & Cooper, J. (1984). Effects of the 1982-3 warm water event on the breeding of South African seabirds, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 65-69.
- Walker, N., Taunton-Clark, J. & Pugh, J. (1984). Sea temperatures off the South African west coast as indicators of Benguela warm events, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 72-77.
- Boyd, A.J. & Agenbag, J.J. (1984). Seasonal temperature and salinity trends off central Namibia between 1978 and 1983 with particular reference to the cool winter of 1982, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 77-79.
- Brundrit, G.B., de Cuevas, B. & Shipley, A.M. (1984). Significant sea-level variations along the west coast of Southern Africa 1979-83, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 80-82.
- Hutchings, L., Holden, C. & Mitchell-Innes, B. (1984). Hydrological and biological shipboard monitoring of upwelling off the Cape Peninsula, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 83-89.
- Nelson, G. & Walker, N. (1984). Comparison of summer winds on the west coast of South Africa between 1979 and 1983 and the response of coastal upwelling, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 90-93.
- Schultze, G. (1984). 'n Oorsigtelike bespreking van drukveranderings en sinoptiese drukpatrone in die suidelike halfrond in die tydperk Oktober 1982 tot Februarie 1983, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 94-97.
- Gillooly, J.F. & Walker, N.D. (1984). Spatial and temporal behaviour of sea-surface temperatures in the South Atlantic, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 97-100.
- Van Loon, H. & Madden, R.A. (1981). The Southern Oscillation. Part I, Global associations with pressure and temperature in northern winter, *Mon. Weath. Rev.*, 109, 1150-1162.
- Brower, R.L., Gahrband, H.S., Pichel, W.G., Signore, T.L., & Walton, C.C. (1976). Satellite derived sea-surface temperatures from NOAA spacecraft, *NOAA Technical Memorandum*, NESS 78, 74 pp.
- Brower, R.L., Pichel, W.G., Walton, C.C. & Signore, T.L. (1975). Current status and quality of global operational sea surface temperatures from satellite infrared data, *Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing on Environment*, 6-10 October 1975, Michigan, 8 pp.
- Lutjeharms, J.R.E. & Valentine, H.R. (1984). Southern Ocean thermal fronts south of Africa, *Deep-Sea Res.*, 31(12A): 1461-1476.
- Taljaard, J.J. & Van Loon, H. (1984). Climate of the Indian Ocean south of 35°S, In *Climates of the Oceans*, World Survey of Climatology Vol. 15, Van Loon, H. red. (Elsevier, Amsterdam) pp. 505-601.
- Taljaard, J.J. (1958). Sea temperature observations between Cape Town and SANAE, *Notas*, 6, 199.
- Gillooly, J.F. (1983). Large-scale ocean-atmosphere interactions in the mid-latitudes and equatorial regions: a literature review, *National Research Institute for Oceanology*, CSIR Report T/SEA 8302, 38 pp.
- Houghton, J.T. (ed. red.) (1984). *The Global Climate* (Cambridge University Press, Cambridge).
- Van Loon, H. (red.) (1984). *Climates of the Oceans*, World Survey of Climatology Vol. 15 (Elsevier, Amsterdam).
- Gillooly, J.F. & Lutjeharms, J.R.E. (1984). The ocean and climate: large-scale ocean-atmosphere interactions in the southern hemisphere, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 36-40.