Die Wêreld Oseaansirkulasie-eksperiment (WOCE)

J.R.E. Lutjeharms en M.L. Gründlingh

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

UITTREKSEL

'n Internasionale navorsingsprogram van wêreldwye omvang, WOCE (World Ocean Circulation Experiment), word vir die negentigerjare beplan. Die doel daarmee is om 'n kwantumsprong te maak in kennis en begrip van die sirkulasie van die wêreldoseaan en die invloed daarvan op wêreldklimaatveranderings. Suid-Afrika het groot belang by so 'n program en hoewel hy nie oor die hulpmiddele van die groter lande beskik nie, kan sy wetenskaplikes op bepaalde gebiede sleutelbydraes lewer. Voorbereidings hiervoor word reeds getref.

ABSTRACT

The World Ocean Circulation Experiment (WOCE)

An international research programme of enormous scope, WOCE (World Ocean Circulation Experiment), is being planned for the last decade of this century. It is aimed at increasing our knowledge and understanding of the world ocean circulation by a quantum leap, thereby contributing to a better understanding of world climate changes. This programme is of great interest to South Africa and, while lacking the resources of the larger countries, South Africans can make key contributions in certain specific areas and have started preparing to do so.

INLEIDING

The World Ocean Circulation Experiment, targeted at a central scientific problem with many potential beneficiaries, is one of the most exciting endeavours in planetary science.¹

WOCE is probably the most complex and ambitious program that the world oceanographic community has ever attempted. Its purposes are to bring about a qualitative change in understanding how the ocean "works" and the impact of the ocean upon a wide variety of problems.²

The World Ocean Circulation Experiment is aiming at a scientific problem, the resolution of which will have great benefits for mankind, for the rich and the poor, and for those living not only on the water's edge but also in the interior of continents far from the ocean.¹

Hierdie drie willekeurig gekose aanhalings oor die Wêreld Oseaansirkulasie-eksperiment (WOCE) sal heel tereg die indruk skep dat dit hier gaan om 'n ambisieuse en opwindende navorsingsprojek van wêreldwye omvang. Die doel met hierdie mededeling is om kortliks die geskiedkundige aanloop tot hierdie projek te skets, 'n beskrywing te gee van wat met die WOCE beoog word en om dan stil te staan by die implikasies wat dit vir Suid-Afrika en vir die Suid-Afrikaanse oseanologie inhou. 'n Uitvoeriger uiteensetting van moontlike Suid-Afrikaanse bydraes verskyn elders.⁷

'n Natuurwetenskaplike probleem waarvan Jan Publiek seker die meeste bewus is, omdat dit hom so direk raak, en waarmee natuurwetenskaplikes al baie lank worstel, is dié van veranderings in die klimaat, dit wil sê van die weersgesteldheid oor lang tydperke. Veral oor die afgelope paar jaar, met intense en langdurige droogtes in Suid- en Noord-Afrika asook in Australië, met die El Niño-verskynsel in die Stille Oseaan en met daaglikse bespiegeling oor hierdie verskynsels in die populêre media, het hierdie pro-

bleem sterk op die voorgrond getree.

Wetenskaplike belangstelling in lug-see-wisselwerking en akkurate weervoorspelling het in die sewentigerjare 'n aktiewe fase betree met die formulering en uitvoering van GARP (Global Atmospheric Research Programme). Weervoorspellers (ook in Suid-Afrika) pluk vandag die vrugte van grootskaalse ont-plooiing van weerboeie wat tydens hierdie program 'n aanvang geneem het en waarin Suid-Afrikaanse wetenskaplikes baanbrekerswerk verrig het. Volgens die wêreld se weerkundige gemeenskap is die tyd nou ryp om 'n tweede, intensiewer navorsingsprogram oor wêreldklimaat van stapel te stuur deur bemiddeling van die Wêreld- Meteorologiese Organisasie. By die beplanning van hierdie navorsingsprogram is daar reeds vroeg konsensus bereik oor die feit dat 'n studie van klimaatveranderings oor tydperke van dekades of langer nie moontlik of sinvol sou wees sonder 'n dramatiese verbetering in ons kennis van die gedrag van die wêreldoseaan nie, aangesien die atmosfêergedrag en die oseaangedrag ten nouste verweef is.^{3,4} 'n Studie van die gedrag van die oseaan op wêreldwye basis met 'n geskikte oplosvermoë in tyd en ruimte was in die verlede om tegniese redes eenvoudig nie moontlik nie. Tegniese ontwikkelinge in sowel satellietafstandwaarneming van die oseaan as in die gesofistikeerdheid van instrumente wat in die water geplaas of gelanseer kan word, het oor die afgelope paar jaar vir die eerste keer egter 'n globale oseaanstudie denkbaar gemaak. Verder word voorsien dat ontwikkelings op die gebied van die sogenaamde superrekenaars oor die volgende twee dekades⁵ die belofte inhou dat die oseaansirkulasie met voldoende oplosvermoë gemodelleer en selfs doeltreffend by atmosfeer/oseaan-modelle ingesluit kan word.

Al sou daar 'n dringende behoefte aan so 'n omvangryke navorsingsonderneming bestaan en al sou die nodige tegniese vernuf voorhande wees om die

doelstellings bereikbaar te maak, is die daadwerklike belangstelling en deelname van individuele navorsers nog steeds 'n voorvereiste om die projek te laat slaag. Al die tekens is daar dat die oseanologiese gemeenskap al hoe gewilliger word om nou die grootskaalse sirkulasiepatrone as navorsingsveld te ontgin. Dit blyk veral uit die wye belangstelling in en deelname aan die beplanning van die WOCE.^{1,3,6}

Met die dringende behoefte aan so 'n ondersoek asook die tegniese vermoë en die gewilligheid en belangstelling van oseanoloë wêreldwyd om daaraan deel te neem, skop die WOCE se eksperimentele fase in 1990 af.

DIE WÊRELD OSEAANSIRKULASIE-EKSPERIMENT

Die natuurwetenskaplike plan vir die WOCE, opgestel na 'n paar jaar van besprekings, werkseminare en skakeling op die hoogste wetenskaplike vlak, is tans ter perse.¹ Twee duidelike hoofdoelwitte het uit hierdie dinkskrums te voorskyn gekom, naamlik:¹⁻³

Doelwit 1: *Om modelle te ontwikkel wat nuttig sal wees vir die voorspelling van klimaatsveranderinge en om die gegewens te versamel wat nodig is om sulke modelle te toets.*

Doelwit 2: *Om vas te stel hoe verteenwoordigend die WOCE-datastelle is van die langtermyngedrag van die oseaan en om metodes te vind om langer-*

my nveranderinge in oseaansirkulasie te kan bepaal.

Op die oog af lyk hierdie doelwitte van die WOCE heel eenvoudig, maar by nadere ondersoek blyk dit 'n uiters omvangryke en ingewikkelde opdrag te wees. Kom ons let vir 'n oomblik alleen maar op die tweede aspek van Doelwit 1, naamlik die insameling van gegewens om sulke klimaatmodelle te toets, iets waarby Suid-Afrikaanse oseanoloë betrokke mag raak. Die eerste wêreldoseaanmodel wat besonder belowende vertonings lewer, is een wat by die Universiteit Princeton ontwikkel is.³ Alhoewel Princeton een van die kragtigste rekenaars ter wêreld het, was dit nie moontlik om in hierdie numeriese model oseaanbewegings kleiner as 250 km in die berekenings in te sluit nie. Kragtige oseaanwerwels met 'n kleiner omvang staan egter juis bekend daarvoor dat hulle 'n belangrike en moontlik selfs oorheersende deel van die kinetiese energie en transportpotensiaal van die oseaan in hulle omdra.

Om 'n geskikter en toepasliker oseaanmodel te ontwerp, sal daar dus van 'n fyner oplosvermoë in die rekenarsimulasie gebruik gemaak moet word voordat daar sprake kan wees van 'n gekombineerde oseaan-atmosfeermodel wat ons begrip aanmerklik kan help verbeter. Om gegewens in te samel waaraan so 'n model getoets kan word en wat dus mesoskaalse werwels sal moet insluit, sal beteken dat die oseaan

FIGUUR 1: Vereenvoudigde tydrooster en mikpunttabel van die belangrikste aktiwiteite van die Wêreld Oseaansirkulasie-eksperiment (sien verw. 1).

op afstandskale van minder as 100 km en tydskele van weke gemeet moet word! So iets is met die beskikbare navorsingskepe en mannekrag totaal onmoontlik. Dit is hier waar onlangse ontwikkelings in satellietegnologie ons tot hulp kom. Geskikte satellietgegevens is daarom in 'n groot mate onderliggend aan die hele projek.

Dit is maar een van die vele probleme wat die bereiking van WOCE se doelwitte beïnvloed. Daar is nog talle ander, soos die aantal skepe wat benodig word vir verdere hidrografiese lesings op see; die vereiste logistiese steun; die vrywillige samewerking tussen dosyne lande, tussen 'n groot aantal navorsingsinstansies, sowel regerings- as privaatinstanties, en honderde individuele navorsers; die versorging en beskikbaarstelling van data; asmede die tydige lansering, plasing en inwerkingstelling van etlike satelliete. Aan al hierdie probleme, en nog vele meer, word tans wêreldwyd aandag gegee.

Die beoogde operasionele navorsingsprogram van WOCE word in vereenvoudigde vorm in figuur 1 weergegee. Daar kan drie periodes in die program onderskei word. Vanaf 1984 tot 1990 sal gewerk word aan verdere numeriese rekenaarmodelle, die ontwikkeling van apparaat en die beplanning van die intensiewe waarnemingsfase. Die mikpunt vir publikasie van die WOCE-implementeringsplan is 1987 terwyl die Internasionale WOCE-kongres, wat die finale internasionale stempel op die operasionele plan gaan afdruk, later in dieselfde jaar sal plaasvind. Die verwagting is dat die belangrike satelliete waarop die projek sal steun, naamlik die Europese ERS-1, die Amerikaanse NROSS en die gesamentlike TOPEX/POSEIDON in die tydperk 1989 tot 1990 in werking gestel sal word en elk minstens 5 jaar aktief sal wees. Hierdie tydperk stem dan ooreen met die tweede tydperk in die navorsingsprogram van WOCE, naamlik die intensiewe waarnemingsperiode. Na afloop van die intensiewe waarnemingsperiode in 1995 volg die derde tydperk, naamlik dié waartydens die gegewens verwerk en nuwe modelleringsprogramme in werking gestel sal word en waartydens met moniteringsprogramme op beperkter en vooraf geselekteerde wyse voortgegaan sal word om oor die volgende jare te bepaal hoe verteenwoordigend die WOCE-dataset is.

Daar word van elke deelnemende land verwag om 'n eie nasionale plan vir WOCE te ontwikkel, inagnemend die oorhoofse doelwitte, die bepaalde land se oseanologiese navorsingsvermoëns en die belangstellingsvelde van sy navorsers. Sommige lande het hiermee al ver gevorder.² Die internasionale bestuur van WOCE besef dat individuele lande die klem in hulle eie programme anders mag laat val as in die oorhoofse, internasionale program, maar sulke aksentverskille word as gesond beskou, solank daar genoegsame oorvleueling met die internasionale doelwitte bly.

HOE RAAK DIT SUID-AFRIKA?

Uiteraard bevind Suid-Afrika, saam met die oorgrote meerderheid lande, hom nie in die geselskap

van die enkeles wat beskik oor superrekenaars om globale oseaan-atmosfeermodelle te toets of wat doelmatige satelliete kan lanseer nie. Vanweë sy geografiese ligging, die bepaalde kundigheid van sy navorsers en die beskikbare navorsingskepe en ander apparaat, is Suid-Afrika egter in die posisie om sekere sleutelbydraes tot die doelwitte van die internasionale WOCE-program te lewer.⁷ Dit blyk veral as ons enkele van die mikpunte onder elk van die twee hoofdoelwitte in die internasionale program van naderby bekyk.¹

Die eerste mikpunt onder Doelwit 1 lui:¹

Om op 'n globale basis die grootskaalse hittevloed en varswatervloed in die wêreldoseaan, hul divergensie oor 5 jaar en hul jaarlikse en tussenjaarlikse veranderlikheid vas te stel en te begryp.

Sonder hierdie kennis kan Doelwit 1, naamlik die ontwikkeling van modelle om klimaatsverandering te voorspel, nie bereik word nie. Sover dit die hittevloed van die oseaan aanbetref, lê Suid-Afrika in 'n sleutelposisie.

Aan ons ooskus vloei die vinnige, intense en warm Agulhasstroom wat die grootste komponent van die meridionale hittevloed in die Suid-Indiese Oseaan verteenwoordig.⁸ Om hierdie stelling in perspektief te plaas, is 'n baie bondige verduideliking van termodynamika van oseane nodig. Relatief min sonenergie word deur die mariene atmosfeer geabsorbeer (weens deursigtigheid van lug), terwyl die grootste komponent deur die onderliggende watermassas opgeneem word. Die konveksiestrome in die see wat deur die gedifferensieerde warmteopname teweeggebring word, is egter in 'n hoë mate oneffektief in soverre dit horisontale vermenging betref. Dit is hier waar die atmosfeer as 'n belangrike skakel optree. Deurdat die seemassas (soos die landmassas) die onderste lae van die atmosfeer verwarm, word globale windsisteme geskep. Op hulle beurt dryf die winde groot oseaanstrome aan, wat warmte poolwaarts vervoer in 'n proses wat baie meer effektief is as die suiwer konvektiewe meganisme. Om verskeie redes word hierdie warmtetransport gekonsentreer in relatief eng, warm seestrome wat vasgedruk word teen die kontinentale ooskuste. Die poolwaartse transport van warmte vind dus binne 'n beperkte afstand van die naasliggende kontinente plaas. In die middelbreedtegrade bereik hierdie hittevloei 'n kumulatiewe maksimum, wat die lande in die nabyheid in 'n unieke posisie plaas om hierdie transport van warmte te bestudeer.

In die suidelike Indiese Oseaan word die vloei beliggaam deur die Agulhasstroom wat binne 'n paar honderd kilometer van die Suid-Afrikaanse kus geleë is (en in hoë mate vir die subtropiese klimaat aan die ooskus verantwoordelik is). Die intensiteit van die stroom (tot 3 meter per sekonde) het tot dusver die verankering van temperatuur- en stroommeters in die stroomkern verhinder, sodat die warmte- en volumevloed slegs met indirekte metodes bestudeer kon word.⁸ Hierdie aanvanklike metings dui geen konsekwente seisoenale veranderings aan nie, hoewel aanduidings reeds gevind is van noemenswaardige

FIGUUR 2: a: Ligging van drie snitte oor die noordelike Agulhasstroom waar die totale barokliniese volumevloed van die stroom tot op 1 000 m by herhaling bepaal is, b: waardes en standaardafwykings van die gepaste volumevloed van die Agulhasstroom (sien verw. 8).

sporadiese fluktuasies.³³ Ten spyte van die (oorbrugbare) tegnologiese probleme is 'n studie van die Agulhasstroom se warmte- en massatransport 'n sleutelbydrae wat die Republiek tot WOCE kan lewer. Dit is onwaarskynlik dat enige ander land die stroom met voldoende tyd- en ruimteresolusie sal kan bestudeer.

Inagnemende die eerste mikpunt onder Doelwit 1 van WOCE, naamlik om die grootskaalse hittevloed in die wêreldoseaan te bestudeer, is dit insiggewend dat 'n belangrike oordrag van hitte in die wêreldoseaan plaasvind tussen die Indiese en die Atlantiese Oseaan suid van Afrika. Daar is naamlik vasgestel dat die Agulhasstroom hier 'n direkte ommekeer maak en wegvloei in 'n oostelike rigting, maar dat die nou lus warm water wat sodoende gevorm word, onstabiel is en by geleentheid afknyp^{9,10} waardeur 'n reuse ring warm Agulhaswater onafhanklik begin sirkuleer en die Suid-Atlantiese Oseaan^{11,12} indryf. Dit word duidelik in fig. 3 geïllustreer. Die termiese infrarooi straling van hierdie warm Agulhasringe verskil sodanig van hulle koue, Suid-Atlantiese omgewing dat satellietinligting oor die infrarooi-verspreiding hulle duidelik herkenbaar maak. 'n Onlangse ondersoek van sulke infrarooi-satellietinligting¹³ het aan die lig gebring dat sowat 9 ringe per jaar gevorm word. Dit verteenwoordig 'n reuse hitte- en water-vloed tussen die twee oseane. Filamente warm Agulhaswater vanaf die noordelike grens van die stroom dring ook by geleentheid die Suid-Atlantiese Oseaan binne. Hierdie filamente is egter volgens alle waarnemings vlak en het nie naastenby die volume-omvang van die Agulhasringe nie. 'n Beter begrip van hierdie prosesse gaan van kardinale belang wees om te verseker dat die korrekte hitte-oordragssimulasie in toekomstige numeriese modelle oor oseaan-sirkulasie ingebou word.

Onlangs is 'n omvangryke navorsingsvaart onder leiding van Amerikaanse navorsingsinstansies in hierdie gebied onderneem.¹⁹ Resultate van hierdie onderneming wat reeds in die vakliteratuur verskyn

het,¹⁰⁻¹² beklemtoon hoe belangrik die uitruilprosesse suid van Afrika is vir 'n beter begrip van globale

FIGUUR 3: Geïnterpreteerde lyntekeninge van termiese infrarooi satellietbeelde oor 'n tydperk van ongeveer 'n maand. Dit toon hoe die lang lus warm water van die suidelike Agulhasstroom kortsluit en 'n onafhanklik sirkulerende, warm Agulhasring die Suid-Atlantiese Oseaan instoot. Die gedrag, beweging en hittevloed van hierdie ringe mag belangrike implikasies vir die algemene oseaansirkulasie van die Suid-Atlantiese Oseaan inhou (sien verw. 9).

oseaansirkulasie. Hierdie prosesse is egter ook van baie direkte belang vir Suid-Afrika self, aangesien hierdie verskynsels moontlik 'n invloed kan hê op ons klimaat en selfs op ons visserye. Uit die WOCE se oogpunt sal dit belangrik wees (sien Doelwit 1, mikpunt 1) om vas te stel wat die hitte- en massavloed suid van Afrika is en hoe dit wissel. Slegs gesofistikeerde diepseestroommeterverankerings of gereelde vaarte sal hierop 'n antwoord kan gee. Gereelde vaarte sal egter net deur nabygeleë instansies onderneem kan word en Suid-Afrika sit dus hier in 'n sleutelposisie. 'n Voorlopige konsepvoorstel vir so 'n vaart, maar net een van baie moontlikhede, is te sien in fig. 4.

Talle navorsingsresultate het ook al daarop gedui dat die oseaan gebied suid van Afrika een van die mees veranderlike en gekompliseerde gebiede in die wêreldoseaan is.^{15,16} Een van die oseaan dinamiese redes hiervoor is geleë in die besonder intense oseaanfront suid van Afrika, die Subtropiese Konvergensie, waar daar binne die bestek van tientalle kilometers 'n dramatiese verandering in temperatuur, hitte-inhoud, soutgehalte en voedingsoute in die water te vinde is.¹⁷⁻¹⁹ Hierdie oseaanfront is in baie opsigte onstabiel. Oor die onderliggende fisiese rede vir hierdie onstabieliteit word daar op die oomblik nog maar net gespekuleer. Hierdie onstabieliteit, tesame met die intense inwerking van die suidelike deel van die Agulhasstroom, het tot gevolg dat hier intense

mesoskaal werwelskepping plaasvind.²⁰ Daar word bespiegel dat hierdie intense werwels suid van Afrika verantwoordelik mag wees vir een van die belangrikste komponente van die meridionale hitte-, varswater- en vlotvermoëvloed na die Suidelike Oseaan.²¹ Indien hierdie hipotese korrek is, sou dit beteken dat Suid-Afrika neffens een van die sleutelgebiede geleë is sover dit die hitte-vloed na die Suidelike Oseaan betref. 'n Beter begrip van die onderliggende meganisme wat hierdie werwelskepping bepaal, die omvang en frekwensie en die langtermynmonitoring daarvan kan 'n belangrike bydrae lewer tot Doelwit 1, mikpunt 1 van WOCE, naamlik om die globale hitte-vloed en sy veranderlikheid te bepaal.

Die derde mikpunt onder Doelwit 1 van WOCE lui:

Om op 'n globale basis die komponente van oseaanveranderlikheid vas te stel oor tydskaal van maande tot jare, oor afstandskale van duisend kilometer tot globale skaal en statistiek op kleiner skaal.

Ook hier is die Suid-Afrikaanse oseanoloë in 'n posisie om belangrike bydraes tot WOCE te lewer. Daar is 'n hele aantal gebiede in die onmiddellike omgewing van Suid-Afrika waar veranderlikheid in die oseaan dinamika 'n belangrike rol vervul. Die kardinale rol van die werwelvorming by die Subtropiese Konvergensie is reeds genoem. Suid-Afrika is egter ook in 'n besonder geskikte geografiese ligging om

FIGUUR 4: Konsepvaartvoorstel vir 'n moontlike Suid-Afrikaanse bydrae tot WOCE. Die dik, soliede lyne dui op die gemiddelde ligging van die suidelike lope van die Agulhasstroom en die verspreiding van Agulhasringe rondom die gemiddelde ligging van die Agulhasretrofleksie. Die dun, soliede lyn met pyltjies dui die vaartlyne van die voorgestelde vaart aan om die omvang, ligging en aard van die mesoskaalturbulensie vas te stel.

langtermynseefvlaklesings op eilande soos Gough, Marion, Bouvet en by die Suid-Afrikaanse Antarktiese basis SANAE²² aan te voer, lesings waarvoor daar in die WOCE-beplanning spesifiek gevra word.²³ Korrek uitgevoerde lesings kan nie net die barotropiese veranderlikheid in die seestrome in hierdie gebied moniteer nie, maar ook gebruik word om die samebindende en oorkoepelende lesings deur satelliete se hoogtemeters, meer bepaald dié van die TOPEX/POSEIDON-satelliet, te kalibreer.

Deur die oppervlakmorfologie van die wêreldoseaan op gereelde basis oor 'n tydperk van 5 jaar te moniteer, sal bogenoemde satellietstelsel een van die belangrikste samebindende faktore van die WOCE wees wat die plaaslike hidrografiese lesings in globale verband kan plaas. Verder sal dit die veranderlikheid van die oseaansirkulasie oor 'n wye tyd- en ruimteskaal moniteer soos dit dusver tegnies nog nie moontlik was nie. Dit verg egter goeie grondwaardes (seefvlakmetings) in die oseaan, 'n gebied waarop Suid-Afrika 'n nuttige bydrae kan lewer.

Hoogtemetings kan vir Suid-Afrikaanse oseanoloë ook van enorme waarde wees deurdat midoseaanwerwels moontlik oor langer termyne gevolg en hulle invloed op die wyer oseaan bepaal sal kan word, iets wat op die oomblik nie moontlik is nie. Hier dink 'n mens in die besonder aan die werwels in die Suidwes-Indiese Oseaan²⁴⁻²⁶ wat geen termiese oppervlakuiting het nie en die Agulhasringe wat hulle kontrasterende oppervlaktemperatuur gou verloor. Die suksesvolle gebruik van hoogtemetings deur die SEASAT-satelliet vir hierdie doeleindes, sover dit Agulhasringe betref, is reeds gedemonstreer.²⁷

In baie opsigte vorm die Suidelike Oseaan, wat soos 'n annulus die Antarktiese kontinent omring, die verbinding en skakel tussen al die ander oseaankomme. Die Suidelike Oseaan speel dus 'n unieke en belangrike rol in algemene globale oseaansirkulasie. Van al die vastelande in die Suidelike Halfrond lê Afrika die verste noord en is die meridiaanse skeiding tussen hom en Antarktika die grootste. Ook is die Suidelike Oseaan se meridionale bereik hier die grootste. Voorlopige voorstelle vir die uitvoering van 'n WOCE-program om die wêreldoseaan se sirkulasie te meet, plaas 'n hoë premie op die snit tussen Afrika en Antarktika.^{1,2} 'n Redelike gereelde bepaling van die vloei deur hierdie snit sal ook 'n beduidende bydrae lewer tot Doelwit 1: mikpunt 3 van WOCE, naamlik die vasstelling van groot-skaalse veranderlikheid in die wêreldoseaan se sirkulasie en vloede. Dit sou moontlik ook mag geld as 'n logisties nuttige moniteringspunt van oseaanvloed oor die langtermyn, dit wil sê langer as 5 jaar. Sodoende sal dit 'n bydrae mag lewer tot Doelwit 2 van WOCE, dit wil sê om te bepaal hoe verteenwoordigend die WOCE-datastel van 1990-1995 is en om die veranderlikheid van oseaansirkulasie in die lang termyn vas te stel. Die uitvoering van net één so 'n snit met stasies tot aan die seabodem, dit wil sê tussen 4 000 en 5 000 m diep, met stasies nie ver uitmekaar nie en met behoorlike kalibrasie van alle instrumente, is 'n omvangryke en veeleisende taak. Twee sulke

snitte is al deur Amerikaanse kollegas uitgevoer²⁸ en die resultate is as belangrike oseanologiese bydraes gepubliseer. 'n Langtermynprojek om sulke snitte te herhaal, kom neer op 'n ontsagwekkende navorsingsprogram.

Ten besluite kan hier nog een moontlike navorsingsprogram genoem word wat, vanweë Suid-Afrika se bepaalde ligging, logisties voordelig vir Suid-Afrikaanse navorsers is en waarin hulle 'n besondere bydrae tot WOCE mag lewer. Ten aanvang is dit belangrik om daarop te let dat die bodem van alle oseaankomme in twee verdeel word deur 'n midoseaanrif, vanwaar die plate van die globale plaattektonika aangedryf word. Die Suid-Atlantiese Oseaan besit egter 'n besondere bykomstige rif wat dit onderskei van alle ander vergelykbare oseaankomme, naamlik die Walvisrif. Hierdie rif strek vanaf ongeveer 20°S aan die kus van Suidwes-Afrika tot aan die midoseaanrif van die Suid-Atlantiese Oseaan by sowat 40°S. Dit verbind vasteland en midoseaanrif en deel die Oos-Atlantiese Oseaan dus in twee veral soverre dit die bodemwater aanbetref.²⁹ Fuglister³⁰ het byvoorbeeld aangetoon dat weinig indien enige Antarktiese Bodemwater deur die Walvisrif dring en dat die noordelike deel van die Suidwes-Atlantiese Oseaan uniek is insoverre dit blykbaar geen Antarktiese Bodemwater bevat nie, soos duidelik blyk uit die verspreiding van watertemperature aangedui in fig. 5. Die wêreldwye deurdringing van Antarktiese Bodemwater speel egter 'n belangrike klimatologiese rol. Daar is Suid-Afrikaanse oseanoloë (L.V. Shannon, persoonlike mededeling) wat sterk twyfel of die Walvisrif werklik so 'n ondeurdringbare versperring vorm. Die mate van noordwaartse penetrasie van Antarktiese Bodemwater deur die Walvisrif mag 'n belangrike rol in ten minste Atlantiese klimatologie speel en dus ook in die potensiële bydrae van Suid-Afrika tot WOCE indien daar 'n deeglike oopsee-vaart deur Suid-Afrika in hierdie gebied onderneem word om hierdie hipotese te toets.

Dit moet beklemtoon word dat die rol wat Suid-Afrikaanse oseanoloë kan speel, tweeledig van aard is. Enersyds kan baie van die eksperimentele aspekte op 'n outonome basis deur plaaslike navorsers uitgevoer word. Die kundigheid en mannekrag is in baie gevalle daarvoor beskikbaar of word tans voorberei. Andersyds sal daar ook met vrug aan vaarte van buitelandse instansies deelgeneem kan word tot voordeel van sowel die plaaslike as die besoekende wetenskaplikes. Vir bydraes op albei terreine is Suid-Afrika ideaal geleë.

Bogenoemde paar voorbeelde van moontlike Suid-Afrikaanse navorsingsprojekte is maar enkele voorlopiges uit talle ander moontlikhede. Namate die Suid-Afrikaanse program se momentum begin toeneem, sal daar hopelik 'n hele aantal verdere projekte voorgestel word.

GEVOLGTREKKINGS

Uit die voorgaande blyk dit duidelik dat Suid-Afrikaanse oseanoloë geografies en andersins besonder gunstig geplaas is om 'n stewige bydrae ter ver-

FIGUUR 5: 'n Temperatuursnit dwars oor die Suid-Atlantiese Oseaan by 24°S (sien verw. 29 en 30). Die swart bodemtopografie toon die Suid-Amerikaanse en Afrikaanse vastelande aan weerskante en die midoseaanrif by ongeveer 17°O. Die Walvisrif is geleë by ongeveer 5°O. Antarktiese Bodemwater met temperature laer as 2°C is te vinde wes van die midoseaanrif en oos van die Walvisrif. Die Walvisrif skyn 'n effektiewe begrenging vir dié water te vorm.

wesenliking van die doelwitte van die Wêreldwye Oseaansirkulasie-eksperiment te lewer. Baie van die navorsprojekte wat reeds tentatief deur Suid-Afrikaners voorgestel is, handel nie net oor onderwerpe wat sleutelstene vorm in WOCE se globale beplanning en mikpunte nie, maar die meeste daarvan sal ook nuwe kennis bring oor oseaangebiede grensend aan Suid-Afrika. Op die lange duur moet ons hierdie kennis hê om 'n beter begrip te verkry van die oseaangebiede wat ons die nouste raak en wat, bepaald, 'n belangrike rol mag speel in die weer en klimaat van ons subkontinent.

Suid-Afrikaners het dan ook al 'n rol begin speel in die oorhoofse beplanning van die internasionale WOCE. Mnr. F.P. Anderson, hoofdirekteur van die Nasionale Navorsingsinstituut vir Oseanologie van die WNNR, het reeds op uitnodiging vergaderings van die internasionale WOCE-bestuurskomitee (SSG) bygewoon en daar bydraes gelewer. Verder is een van die skrywers hiervan (JREL) genooi om te dien in die internasionale werkgroepe oor die beplanning van navorsing in die Suidelike Oseaan en die Suid-Atlantiese en Suid-Indiese Oseaan. In Suid-Afrika self is daar onder die vleuels van die Suid-Afrikaanse Nasionale Komitee vir Oseanografiese Navorsing (SANKON), die Suid-Afrikaanse Wetenskaplike Komitee vir Antarktiese Navorsing (SAWKAN)³¹ en die Nasionale Program vir Weer-, Klimaat- en Atmosferiese Navorsing van die WNNR 'n *ad hoc*-taakgroep gevorm om leiding te gee en planne te beraam vir Suid-Afrika se deelname aan WOCE. Moontlik sal hierdie taakgroep voorstel dat Suid-Afrika se deelname geskied by wyse van 'n nasionale program onder toesig van die Stigting vir Navorsingsontwikkeling van die WNNR. In hierdie geval sal Suid-Afrika se deelname geformaliseer wees

en sal die nodige bestuurs- en administratiewe kontinuïteit geskep word vir 'n program wat tot die jaar 2 000 gaan duur.

Watter vorm Suid-Afrika se deelname ookal gaan aanneem, dit is duidelik dat ons hier te doen het met 'n internasionale program waartoe Suid-Afrikaners in hierdie tye van politiekery selfs in internasionale wetenskaplike kringe nie net toegang het nie, maar hartlik welkom is, omdat hulle 'n belangrike bydrae te lewer het. Die kennis en kundigheid wat gedurende die laaste dekade van hierdie eeu oor ons oseaangebiede ingesamel mag word as deel van WOCE, mag daartoe bydra dat Suid-Afrikaanse oseanoloë die een-en-twintigste eeu binnegaan met 'n begrip van ons oopsee-gedragspatrone wat grootliks op nuwe kennisfondamente rus. Die geskiedenis van die vakgebied oseanologie in Suid-Afrika³² toon duidelik dat deelname aan groot internasionale navorsingsprogramme groot inspuitings van entoesiasme, kundigheid en stimulering vir die Suid-Afrikaanse oseanologiese gemeenskap gee. Hierdie inspuitings het in die verlede meetbare toenames in sowel produktiwiteit as vakkundigheid meebring wat nie na afloop van so 'n gebeurtenis (byvoorbeeld die Internasionale Indiese Oseaanekspedisie) heeltemal verdwyn het nie. 'n Mens kan dus verwag dat ook die WOCE 'n baie heilsame en stimulerende uitwerking op die kwantiteit en kwaliteit van Suid-Afrikaanse diepseanavorsing sal hê.

Ontvang 6 Aug. 1986; aanvaar 3 Sept. 1986.

VERWYSINGS

1. World Meteorological Organization (1986). The Scientific Plan for the World Ocean Circulation Experiment. World Meteorological Organization publication, ter perse.

2. U.S. WOCE Science Steering Committee (1986). World Ocean Circulation Experiment; US WOCE Planning Report Number 3, Contributions to the planning of WOCE, Status Report on U.S. WOCE Planning, 229 pp.
3. Woods, J.D. (1985). The World Ocean Circulation Experiment, *Nature*, 314, 501-511.
4. Lutjeharms, J.R.E. (1985). Die wisselwerking tussen oseaan en atmosfeer: 'n oorsig, *S. Afr. Tydskr. Natuurwet. Tegnol.*, 4, 111-119.
5. Mason, B.J. (1970). Future developments in meteorology: an outlook to the year 2000, *Quart. J.R. met. Soc.*, 96, 349-368.
6. Scientific Committee for Oceanic Research (1985). General Circulation of the Southern Ocean: status and recommendations for research. SCOR Working Group 74, World Climate Programme WCP-108; World Meteorological Organization WMO/TD - No. 86, 50 pp + addenda.
7. Lutjeharms, J.R.E. & Anderson, F.P. (1987). The World Ocean Circulation Experiment (WOCE); a South African perspective, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 83, 10-14.
8. Gründlingh, M.L. (1980). On the volume transport of the Agulhas Current, *Deep-Sea Res.*, 27, 557-563.
9. Lutjeharms, J.R.E. (1981). Features of the southern Agulhas Current circulation from satellite remote sensing, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 77, 231-236.
10. Lutjeharms, J.R.E. & Gordon, A.L. (1986). Shedding of an Agulhas Ring observed at sea, *Nature*, 325, 138-140.
11. Gordon, A.L. (1985). Indian-Atlantic transfer of thermocline water at the Agulhas Retroflection, *Science*, 227, 1030-1033.
12. Chapman, P. & Lutjeharms, J.R.E. (1986). Aspects of the nutrient chemistry and related physics of the Agulhas retroflection area during November/December 1983, *Deep-Sea Res.* (voorgelê).
13. Lutjeharms, J.R.E. & van Ballegooyen, R.C. (1986). The Agulhas Current retroflection, *J. phys. Oceanogr.* (voorgelê).
14. Lutjeharms, J.R.E. (1984). Amerikaanse/Suid-Afrikaanse navorsingsvaart, *S. Afr. Tydskr. Natuurwet. Tegnol.*, 3, 164-165.
15. Cheney, R.E., Marsh, J.O. & Beckley, B.D. (1983). Global mesoscale variability from colinear tracks of SEASAT altimeter data, *J. geophys. Res.*, 88, 4343-4354.
16. Lutjeharms, J.R.E. & van Ballegooyen, R.C. (1984). Topographic control in the Agulhas Current system, *Deep-Sea Res.*, 31, 1321-1337.
17. Lutjeharms, J.R.E. (1985). Location of frontal systems between Africa and Antarctica: some preliminary results, *Deep-Sea Res.*, 32, 1499-1509.
18. Lutjeharms, J.R.E. & Valentine, H.R. (1984). Southern Ocean thermal fronts south of Africa, *Deep-Sea Res.*, 31, 1461-1476.
19. Lutjeharms, J.R.E. (1985). The interpretation of a winter thermograph record, *S. Afr. geogr. J.*, 67, 130-135.
20. Lutjeharms, J.R.E. & Valentine, H.R. (1986). The formation of eddies at the Sub-Tropical Convergence south of Africa, *J. phys. Oceanogr.*, voorgelê.
21. Lutjeharms, J.R.E. (1986). Meridional heat transport across the Sub-Tropical Convergence by a warm eddy, *Nature* (voorgelê).
22. Lutjeharms, J.R.E., Stavropoulos, C.C. & Kolterman, K.P. (1985). Tidal measurements along the Antarctic coastline. In *Oceanology of the Antarctic Continental Shelf*, Antarctic Research Series Vol. 43, Jacobs, S.S. (ed.) (American Geophysical Union, Washington, D.C.) pp. 273-289.
23. Wyrski, K. & Pugh, D. (1984). Plan for a global sea level network. Committee for Climatic Changes and the Ocean, IOC/CCCO Publ. INF-563.
24. Gründlingh, M.L. (1983). Eddies in the southern Indian Ocean and Agulhas Current. In *Eddies in Marine Science*, Robinson, A.R. (ed.) (Springer-Verlag, Berlin) Chapter 13, pp. 245-264.
25. Gründlingh, M.L. (1984). An eddy over the northern Mozambique Ridge, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 80, 324-329.
26. Gründlingh, M.L. (1985). An intense cyclonic eddy east of the Mozambique Ridge, *J. geophys. Res.*, 90, 7163-7167.
27. Colton, M.T. & Chase, R.R.P. (1983). Interaction of the Antarctic Circumpolar Current with bottom topography: an investigation using satellite altimetry, *J. geophys. Res.*, 88, 1825-1843.
28. Jacobs, S.S. & Georgi, D.T. (1977). Observations of the southwest Indian/Antarctic Ocean. In *A Voyage of Discovery: George Deacon 70th Anniversary volume*, Angel, M. (ed.), supplement *Deep-Sea Res.*, pp. 43-84.
29. Shannon, L.V. (1985). The Benguela Ecosystem Part I. Evolution of the Benguela, physical features and processes, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 23, 105-182.
30. Fuglister, F.C. (1960). *Atlantic Ocean Atlas*, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, 209 pp.
31. SAWKAN (1986). South African Antarctic Ocean Science Research Programme, SASCAR, *South African National Scientific Programme Report*, ter perse.
32. Lutjeharms, J.R.E. (1982). Die geskiedkundige ontwikkeling van fisiese navorsing oor die oseane grensend aan Suid-Afrika, *S. Afr. Tydskrif Natuurwet. Tegnologie*, 1, 42-52.
33. Gründlingh, M.L. & Pearce, A.F. (1984). Large vortices in the northern Agulhas Current, *Deep-Sea Res.*, 31, 1149-1156.