

Globale styging in seevlak: 'n Suid-Afrikaanse perspektief

J. R. E. Lutjeharms en D. H. Swart
WNNR, Posbus 320, Stellenbosch 7600

Ontvang 2 Mei 1989; aanvaar 8 Junie 1989

UITTREKSEL

Daar bestaan 'n algemene wetenskaplike konsensus dat die toename in mensgemaakte spoorgasse in die atmosfeer besig is om te lei tot 'n toename in globale temperatuur. Hierdie wêreldwye klimaatperturbasie gee aanleiding tot 'n styging in die algemene hoogte van seevlak. So 'n styging het belangrike implikasies vir sensitiewe kusgebiede. Navorsing oor die moontlike gevolge vir die Suid-Afrikaanse kuslyn is gebiedend noodsaaklik.

ABSTRACT

Global rise in sea level: a South African perspective

There is general scientific consensus that the increase in anthropogenic trace gases in the atmosphere is leading to an increase in global temperatures. This global perturbation of climate is causing a rise in mean sea-level. Such a rise has important implications for sensitive coastal areas. Research on the possible consequences for the South African coast-line is urgently required.

INLEIDING

Die moontlikheid van merkbare en selfs dramatiese veranderings in die wêreld se klimaat weens menslike aktiwiteite geniet toenemend aandag in die populêre media.¹⁻⁶ Veral drie verskynsels skyn die publiek se verbeelding sterk aan te gryp. Eerstens is daar die afname in intensiteit van die beskermende osoonlaag met 'n gepaardgaande toename in ultravioletstrale wat beduidende implikasies mag hê vir die voorkoms van velkanker, veral onder die bevolkings van lande in die suidelike halfmond. Tweedens is daar voorspellings dat daar 'n algemene toename in atmosferiese temperatuur mag wees wat ernstige implikasies sal inhou vir die landbou.⁷ Derdens is daar die moontlikheid van 'n styging in seevlak.⁸⁻¹⁰ 'n Toenemende persentasie van die bevolkings van die meeste lande woon naby die

kus^{11,12} en in die media word daar nou soms scenario's geskets van oorstroming van groot dele van die wêreld se kuslyn en kusstrukture, soos hawens, as gevolg van 'n verwagte styging in seevlak van etlike meter in die een-en-twintigste eeu. Die doel van hierdie artikel is om die bestaande navorsing oor moontlike seevlakstyging in perpektief te plaas, om 'n algemene aanduiding te gee van hoe hierdie voorspellings Suid-Afrika raak en om kortliks aan te dui waar plaaslike navorsing en studies benodig word om besluitnemers vroegtydig van die nodige inligting te voorsien sodat omgewingskade aan Suid-Afrikaanse kuste geminimaliseer kan word.

Wat is seevlak en waardeur word dit beïnvloed? In der waarheid is die oseaanoppervlak byna nooit

“vlak” of plat nie, maar is dit onderhewig aan ’n voortdurende reeks skommelings van ’n wye verskeidenheid afmetings en tydsduur. Eerstens is daar oppervlakgolwe wat windgeïnduseer word. Verder is daar langer golwe weens drukverskille in die oorliggende atmosfeer en weens getye. Laastens is daar die invloed van barotropiese strome, werwels en draaikolke. ’n Westelike randstroom soos die Agulhasstroom aan Suid-Afrika se ooskus vertoon naamlik ’n hoogteverskil van ’n meter of meer oor die breedte van die stroom. Hierdie seevlakhelling geld ook werwels, oseaanfronte en dies meer.¹³ Dit is egter nie die seevlakveranderinge waarvan hier sprake is nie.

In die geval van langtermyn klimatologiese veranderinge in seevlak word daar gedink aan ’n wêreldwye toename in die volume van water in die oseaankomme, sonder ’n ooreenkomstige toename in afmetings van oseaankomme self wat dus lei tot ’n styging in die gemiddelde seevlak wêreldwyd. Om ’n begrip te vorm vir die faktore betrokke by so ’n toename, en hulle onderlinge wisselwerking, is dit belangrik om eers ’n kort uiteensetting te gee van die oseaan-atmosfeer as ’n aaneengeskakelde stelsel.

Die vloeistoflaag wat die aardkors bedek, kan beskou word as ’n reuse-hittemasjien, wat die grootste deel van sy hittetoever van die son en, in ’n mindere mate, van die onderliggende aardkors ontvang. ’n Gedeelte van die ontvangte hitte word weer teruggestraal die ruimte in en gaan dus verlore. Binne die hittemasjien is daar uitruiling van hitte, vog en momentum tussen die atmosfeer en die oseaan. Verder is daar ingewikkelde wisselwerkings tussen atmosfeer, oseaan en ysbedekking, veral in die Suidelike Oseaan rondom Antarktika.¹⁴⁻¹⁶ ’n Soortgelyke ingewikkelde wisselwerking vind plaas tussen terrestriële gebiede, hul biosfere en die atmosfeer. Baie van hierdie wisselwerkingmeganismes bestaan uit terugvoerlusse wat swak begryp word. Verder is daar binne elke komponent van die hittemasjien self, soos byvoorbeeld die oseaan, gekompliseerde hitte-oordragstelsels in werking waarvoor weinig of niks bekend is nie.

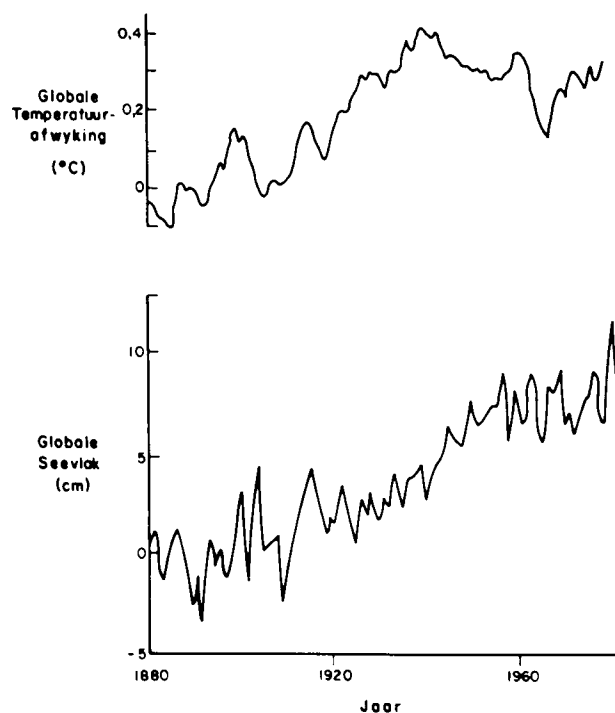
Die eksterne invoer van hitte na die atmosfeer-oseaan-stelsel is redelik konstant. Mensgeïnduseerde veranderinge in die samestelling van die atmosfeer is egter besig om die interne balans in die stelsel te versteur. Sedert die industriële omwenteling is daar ’n toenemende gebruik van fossielbrandstowwe soos steenkool, aardgas en olie. Hierdeur word enorme hoeveelhede koolstof wat in die vorm van hierdie minerale vasgelê was, as koolstofdiksied aan die atmosfeer oorgedra. Lang, ononderbroke metingreekse van atmosferiese CO₂ toon orals waar sulke rekords bestaan ’n stadige, maar beduidende en voortgesette toename oor die tydperk wat lesings geneem word. Verder is daar ’n toename in stikstofverbindings soos metaan in die atmosfeer, sowel as ’n reeks ander, eksotiese spoor-gasse soos byvoorbeeld die mensgemaakte gas freon. Hierdie gasse het een belangrike eienskap gemeen. Hulle laat geredelik straling met kort golflengtes deur, maar absorbeer selektief langer golwe soos termiese infrarooi. Gevolglik tree hulle op as filters waardeur ’n

verminderde hoeveelheid hitte na die ruimte teruggestraal word.

Dit is interessant dat die hoeveelheid koolsuurgas wat in die atmosfeer aangetref word, nie ooreenstem met die berekende hoeveelheid wat te wagte sou wees as al die CO₂ wat sedert die industriële omwenteling geproduseer is, in die atmosfeer aanwesig is nie. Die vraag is nou waar hierdie vermiste koolsuurgas heen verdwyn het. Die antwoord op hierdie belangrike vraag sal ons meer leer oor die globale koolsuurgasuitruiling en ’n aanduiding mag gee van watter faktore die toename van koolsuurgas in die atmosfeer in die toekoms mag beïnvloed. Die onttrekking van groot hoeveelhede CO₂ uit die atmosfeer deur die biosfeer – of dus die vestiging daarvan in plantemateriaal – is onwaarskynlik, aangesien die totale hoeveelheid plantemateriaal op die aardbol as gevolg van grootskaalse ontbossing wêreldwyd geweldig afgeneem het. Een van die weinig oorblywende moontlikhede vir ’n CO₂-sink is die oseaan. Die meganismes waardeur bykomende atmosferiese koolsuurgas deur die wêreldoseaan opgeneem en gestoor word, is tot op groot hoogte nog onbekend, maar word tans intensief bestudeer.

SEEVLAKSTYGING – MEGANISMES

Die toenemende hitte-inhoud van die atmosfeer-oseaan-stelsel vind sy neerslag in ’n stygende tendens in globale temperature (kyk figuur 1). Van jaar tot jaar mag daar natuurlik veranderinge wees te wyte aan die reeks ingewikkelde interne hitte-oordragprosesse en hulle tydgebonde veranderlikheid, maar die gemiddelde tendens sedert ongeveer 1880 is in ’n stygende en toenemend stygende rigting. Terselfdertyd toon seevlak ook ’n langsame maar volgehoue styging (figuur 1).



FIGUUR 1: Kurwe van die toename in wêreldwye atmosfeertemperature sedert 1880⁷² (boonste paneel) en die gelyktydige toename in seevlakhoogte *c* (onderste paneel) (na Titus et al., 1985)¹¹.

Die waargenome styging in seevlak is wêreldwyd waar daar lesings oor 'n voldoende tydsduur beskikbaar is, sigbaar. Die toename verskil egter van plek tot plek.¹⁷ Een van die redes hiervoor is dat seevlak gemeet word relatief tot vaste punte op die kus. Kuste is egter nie orals stabiel nie. Die Skandinawiese kuslyn is byvoorbeeld besig om te styg in reaksie op die verdwyning van die ysbedekking van die laaste ystydperk. Sekere kuslyne om die Stille Oseaan is ook bekend vir hoogteveranderlikheid weens tektoniese prosesse in die nabye omgewing. As hierdie probleemgevalle nie in berekening gebring word nie, toon alle lang rekords 'n verbasend homogene stygende tendens.¹⁸ Tot op hede kan seevlakstygings van hierdie omvang nie akkuraat deur satelliete gemoniteer word nie.

Die vraag wat nou gevra kan word, is in watter mate die stygende neiging in atmosfeer-temperatuur en die ooreenkomstige styging in seevlak verband hou.¹⁹⁻²⁰ Hiervoor is ten minste 'n paar konseptuele meganismes nodig. Hieroor is heelwat navorsing in die afgelope paar jaar gedoen. Twee hoofmeganismes word algemeen as deurslaggewend beskou. Eerstens is daar die termiese uitsetting van die oseaanwater wat in aanraking is met 'n warmer atmosfeer en tweedens is daar die toenemende smelt van ysbedekking, soos byvoorbeeld by Antarktika.

Die eerste meganisme vir seevlakstyging, naamlik termiese uitsetting, is nie heeltemal so eenvoudig om te bereken as wat dit by die eerste oogopslag mag lyk nie.⁹⁻¹⁹ Die oseaan is naamlik vir die grootste deel 'n besonder sterk gelaagde stelsel met 'n boonste laag warmer water wat gereedelik deur die atmosfeer beïnvloed word en 'n meer omvangryke diep, koue laag wat nie direk met die atmosfeer in aanraking is nie. Die uitsetting van oseaanwater weens 'n warmer klimaat is dus baie sterk afhanklik van die indringing van hitte in die oseaan in. Hierdie indringing bly oor die termyn van dekades grotendeels beperk tot die laag bokant die permanente termokliene, met die moontlike uitsondering van gebiede by hoë breedtegraad, soos die verre Suidelike Oseaan, waar daar geen permanente termokliene aangetref word nie.

Die smelt van ys by Antarktika en elders weens hoër temperature kan ook 'n verhoging in seevlak meebring, maar op twee verskillende maniere. Eerstens is daar die smelt van gletsers en ysbedekking op land weens 'n toename in atmosferiese temperature. 'n Besondere geval van belang hier is die ysbedekking van Groenland.¹⁶ Die smelt van hierdie ys dra water wat in vaste vorm op land gestoor is oor na die oseaan. Hierdeur neem die totale volume seewater toe en seevlak styg. 'n Afname in see-ys by Antarktika of van die ysrand van Antarktika wat op die see rus, sal nie so 'n effek hê nie. Hierdie ys vorm alreeds deel van die volume water in die see en die smelt daarvan sal geen styging in seevlak hê nie, net so min as wat die smelt van ysblokkies in 'n drankie die glas sal laat oorloop.

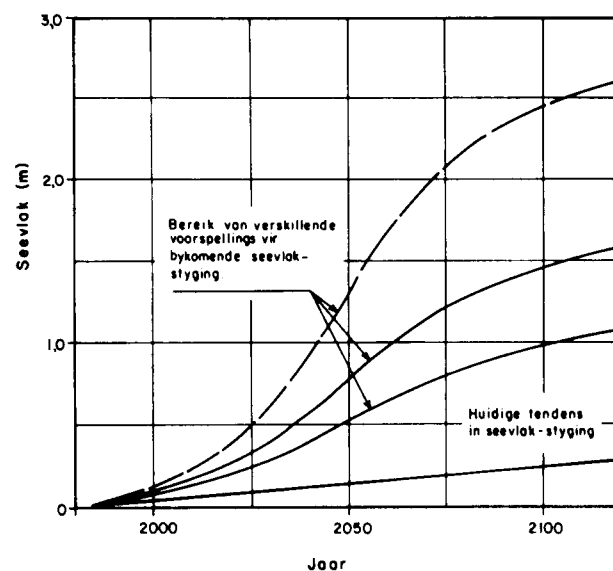
By die vasteland Antarktika self het ons egter met 'n ander meganisme te doen. Die enorme ysbedekking op hierdie kontinent beweeg ongeveer orals in die vorm van gletsers²¹ seewaarts. Aan die kus word hierdie be-

weging teëgehou deur 'n onderwaterdrumpel of plaat op die vastelandsplat wat die onderkant van die gletsers blokkeer. As die oppervlakwater van die oseaan warmer word, kan daar verwag word dat die smelt van gletsers, van onder af, baie vinniger sal plaasvind. Indien dit só vinnig gebeur dat die gletsers gladweg oor die drumpel kan beweeg, sal alle gletsers by Antarktika skielik hul lading ys in die see kan stort²² en word die volume van die see eensklaps heelwat meer. Hierdie moontlike katastrofe sal egter volgens raming oor 'n tydperk van etlike dekades plaasvind weens die inherente langsame beweging van die gletsers.

VOORSPELLINGS EN GEVOLGE

Uit bogenoemde baie kort oorsig is dit onmiddellik duidelik dat die samestelling van 'n model wat al hierdie, en ander, meganismes sou insluit, baie ingewikkeld sou wees. Bowendien word baie van die prosesse hierby betrokke swak of onvolledig begryp. Nietemin het 'n hele aantal navorsers hulle aan voorlopige voorspelling gewaag.^{10-15,20} Sulke voorspellings is gebaseer op 'n spektrum aannames oor die gebruik van fossielbrandstowwe, oor die ontbossing van gebiede soos die Amasonebekken en so meer. Sommige navorsers handhaaf 'n pessimistiese vooruitskating waar die gebruik van steenkool en aardolie steeds toeneem. Ander glo dat die akute klimaatsprobleem wel regerings daartoe sal dwing om beperkende stappe te oorweeg en dat die groeitendens in die gebruik van fossielbrandstowwe sal afneem. Alle modelle voorspel egter dat al sou alle gebruik van fossielbrandstowwe oornag summier gestaak word, seevlak weens die inherente vertraging in die stelsel, nog vir etlike dekades sal styg.

In figuur 2 word die bereik van voorspellings in die literatuur tot die jaar 2100 saamgevat. Indien die gemiddelde styging in seevlak gedurende die afgelope eeu



FIGUUR 2: Verskillende voorspellings vir 'n moontlike seevlakstyging in die een-en-twintigste eeu. Die onderste kurwe is 'n liniêre ekstrapolasie van die huidige tendens. Die ander kurwes toon verskillende projeksies gebaseer op verskillende aannames van die toekomstige toename in CO_2 in die atmosfeer (na Prins et al., 1986).¹²

as die beste basis vir 'n vooruitskatting beskou word, praat ons van 'n watervlakstyging van 0,2 m oor die volgende 50 jaar, 'n styging wat nie 'n noemenswaardige effek sou hê nie. Daar is egter afdoende aanduidings dat die tempo van styging in seevlak besig is om toe te neem (kyk byvoorbeeld figuur 1). Die waarskynlikheid van 'n styging van 1 m in die volgende eeu is egter volgens die meeste berekenings relatief hoog.¹² Die waarskynlikheid van groter stygings is laer, maar die moontlike gevolge vir kuste aansienlik hoër. Stygings in seevlak van 1 m/eeu is in die geologiese geskiedenis nie onbekend nie en het byvoorbeeld na afloop van die laaste ystydperk wel plaasgevind.^{23,24}

Watter gevolge sou 'n styging van 1 m in gemiddelde seevlak hê?²⁵ Dit is natuurlik sterk afhanklik van die aard van die kuslyn. 'n Rotsagtige kuslyn met sterk hellings van die kus self sou baie weinig beïnvloed word terwyl sanderige kuslyne met vleie en ander laagliggende gebiede baie direk geraak sou word.

Oor die algemeen kan die effekte in vyf kategorieë ingedeel word,¹¹ te wete:

- oorstromings van laagliggende gebiede²⁶
- vertering van strande langs onbeskutte kuslyne^{27,29}
- toenames in kusvloede en stormskade^{30,32}
- versouting van grondwater langs die kus
- hoër watertafels²

Sommige gebiede, veral gebiede met strande, riviermonde en estuariums, gebiede waar daar alreeds heelwat menslike ontwikkeling in die vorm van geboue, paaie en hawens plaasgevind het, is besonder kwesbaar. Volgens die Bruun-reël³³ sal 'n styging van 1 m in seevlak 'n styging van 1 m in die seabodem na aan die kus veroorsaak. Die materiaal vir hierdie bodempulling word van kuserosie verhaal.²⁹ Daar word bereken¹¹ dat vir die meeste strande in die VSA 'n styging van slegs 30 cm in seevlak ongeveer 30 m kuserosie sou veroorsaak. Die kuslyn sal dus met ongeveer 30 m teruggeskuif word met al die gepaardgaande skade aan huise, paaie ens.

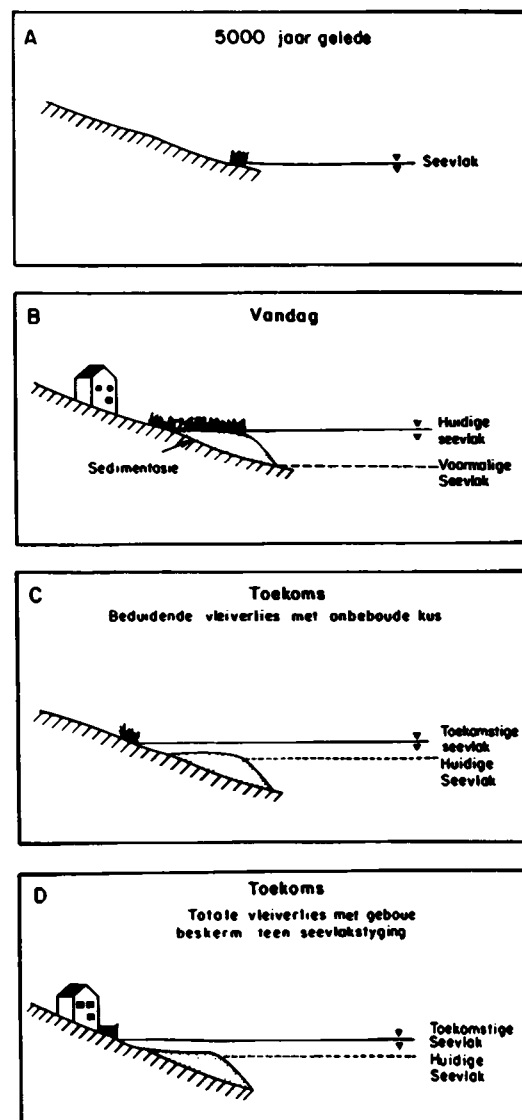
Die Bruun-reël maak gebruik van die beginsel dat daar 'n dinamiese ewewigbalans bestaan tussen die heersende golfklimaat en die strandprofiel in die gebied tussen die top van die duinery aan die kus en die diepte van begin van beweging, ongeveer 15 tot 20 m diep. In gebiede waar die strandprofiel sterk wisseling langs die kus ondergaan, sal die reël nie noodwendig goed werk nie. Dit bly egter die beste eerste skatting.

Bo en behalwe hierdie algemene aanpassing in die strandlyn is die algemene stabiliteit van die strand teen korttermynwisseling as gevolg van die inkomende golfklimaat ook nog ter sprake. Die primêre duine op 'n sandstrand speel 'n kardinale rol by die stranddinamika, en tree as 'n buffer op vir kuserosie. Na storms word die duine herstel, veral in dele van die kus wat reeds ontwikkel en bebou is, is dit nie moontlik vir die natuurlike buffer om aan te pas en steeds die rol te vervul nie, hoofsaaklik weens die gebrek aan beskikbare, potensieel mobiele sand. Gevolglik sal die korttermynwisseling van die kuslyn in ontwikkelde gebiede verhoog en kan meer erosie van die nou laer

(relatief tot seevlak) duine verwag word, wat sal lei tot deurbrake deur die primêre duinery by die kus, wat nie vanself sal herstel nie.

Vir baie kusgedeeltes van die VSA is reeds uitvoerige ondersoek uitgevoer om te bepaal wat die gevolge van 'n veranderde seevlak op die kus sou wees.^{34,35} Vir toeristegebiede is dit veral belangrik om te bepaal of 'n beleid van strandvoeding om erosie teen te werk koste-effektief sal kan wees. Geen studies van hierdie aard wat spesifiek na die effek van seevlak kyk, is nog vir die Suid-Afrikaanse kuslyn uitgevoer nie.

Kuslyne bestaan egter nie alleen uit enkelvoudige strande of rotsagtige kuste nie, maar soms uit 'n ingewikkelde samestelling van strandmere, riviermonde, estuariums en vleilande. Hierdie gebiede is uit 'n ekologiese oogpunt uiters belangrik en ook uiters sensitief. Baie van die lynvissoorte wat ekonomies vir die hengelbedryf belangrik is, bring hulle vroeë lewensstadia



FIGUUR 3: 'n Uiteensetting van die aanpassing van laaggeleë vleie en strandmere langs die kus tot seevlakstyging. Boonste paneel: stabiele omstandighede 5 000 jaar gelede; paneel B: reaksie van kusplantegroei op stadige seevlak-styging sedertdien; paneel C: moontlike reaksie op vinnige seevlak-styging in die nabye toekoms; paneel D: totale verlies van kusvleie as gevolg van seevlakstyging en mensgemaakte strukture (na Titus, 1987³⁶).

in estuaries en vleilande deur. Verder is riviermonde en strandmere geliefkoosde liggings vir dorpsvestiging. Stygende seevlak kan enorme ontgraving in sulke gebiede veroorsaak. Figuur 3 vertoon van die verwagte gebeure.

Met die styging in seevlak die afgelope 5 000 jaar, na afloop van die laaste ystydperk, kon kusplantegroei aanpas deur verder die land in te groei.³⁶ Groot laaggeleë gebiede is ook gevorm (figuur 3b), hoofsaaklik weens die opvang van sediment by riviermonde. Met 'n styging van ongeveer 1 m word daar bereken dat ongeveer 30% van die vleie in die VSA sal verdwyn.³⁶ Van die plantegroei sal kan oorleef in baie nouer stroke land in. Die geskikte gebiede is egter baie kleiner omdat die helling van die terrein hier meestal groter is. Sou die grense van hierdie vleie alreeds deur stedelike ontwikkeling beset wees, is daar egter geen ruimte vir die vlei-ekosisteme om heen te beweeg nie en verdwyn hulle op plekke totaal. Die enigste moontlikheid sou wees om menslike strukture in hierdie gebiede te verwyder, maar dit is waarskynlik 'n onredelike verwagting dat so iets ekonomies haalbaar sou wees. 'n Drastiese verandering van hierdie aard sou waarskynlik dramatiese veranderinge aan die hele kus- en aanlandige see-ekologie teweegbring. In Suid-Afrika is die vleie van heelwat kleiner omvang, maar aangesien daar so weinig werklike estuaries is, is hulle van kritieser belang en dus ook kwesbaarder.

Die vraag ontstaan of dit enigsins moontlik sou wees om die verwagte skade aan kuste te beperk³² of selfs om die seevlakstyging te verhoed.^{37,38} Skade aan kuste sal alleen verhoed kan word deur vroegtydige beplanning van kusbestuursopsies. Die versoeking bestaan om keermure op strande aan te bring soos die effek van seevlak op die kusedinamika merkbaarder word. Die langtermyn effek hiervan sal egter wees dat die strand heeltemal sal verdwyn en dat die ontspanningspotensiaal nie verweselik sal kan word nie. 'n Ander alternatief is om deur die verstandige ontwerp van aflandse parallelle breekwaters die golfklimaat by die kus dusdanig te beïnvloed dat die erosie wat sou plaasvind as gevolg van seevlakstyging teengewerk word deur 'n aangroei as gevolg van die laer golwe.³⁹ Die ontwerp van sulke strukture sou wel deeglik rekening moet hou met die feit dat seevlak besig is om te styg en met die bruikbare leeftyd van sulke strukture. Die onkoste sou baie hoog wees. 'n Verdere moontlikheid is die gebruik van verskeie vorms van strandhoofde om sedimenterosie vanuit 'n gegewe kusgebied te beperk. Al hierdie strukture het egter die nadeel dat hulle slegs die probleemgebied kuslans verskuif.⁴⁰

Met die hedendaagse bewustheid van omgewingsimpakte het in kusbeskermingsopsies die sogenaamde "sagte" oplossings sterk na vore getree, waar van sandvoeding gebruik gemaak word wat dan op natuurlike wyse deur die golwe herverdeel word.⁴¹ Met die uitgebreide druk wat op die kus uitgeoefen sal word as gevolg van seevlakstyging, mag die vereistes vir sandvolume so hoog wees dat die moontlikheid nie uitgevoer kan word nie of ten minste nie in alle kwesbare gebiede nie. Aan die ander kant egter sal die gebruik van "harde" oplossings om bestaande kusge-

biedontwikkelings te beskerm lei tot 'n tipe omgewing wat baie van sy aantrekkingskrag sal verloor. Met inagneming van al die oorwegings is dit egter duidelik dat die tipe ingenieursoplossings wat uiteindelik gebruik sal word, 'n vindingryke kombinasie van huidige tegnieke sal moet wees. Navorsing hiervoor is wêreldwyd nog in 'n vroeë stadium.

Daar sal verwag kan word dat lande met sterk ekonomieë gebiede van kritiese belang, soos kusstede en hawens, sal identifiseer en beskerm.¹² Lande met swakker ekonomieë, en dan veral die Derdewêreldlande, sal dit nie kan doen nie. Selfs Eerstewêreldlande sal alleen maar in sekere besondere gebiede beskermende maatreëls kan tref.

Daar is wel voorstelle dat sekere laagliggende gebiede, soos die Dooie See, met seewater gevul word en dat sodoende die verwagte styging in seevlak vertraag of selfs gedemp word.⁴² Dit is ernstige voorstelle hierdie, waarvoor daar alreeds deur ingenieursfirmas doenlikheidsstudies uitgevoer is. Die voorstelle berus op ontledings⁴² wat toon dat ongeveer 3×10^3 km³ water sedert 1950 in 107 groot damme wêreldwyd opgegaan is wat andersins deel van die seevolume sou wees. Berekenings toon dat die effek van hierdie onttrekking van water aan wat andersins vir die oseaan beskikbaar sou wees, alreeds 'n dempende invloed op seevlakstyging gehad het.³⁸ Die waarskynlikheid dat projekte soos die beoogde Dooie See-projek wel uitgevoer sal word, is onseker.

DATABASIS

Die heel redelike vraag kan wel gevra word op watter grondslag van gegewens hierdie voorspellings van seevlakstyging gegrond is. Hoe is die meetpunte versprei in ruimte en in tyd? Die grootste versameling van seevlakgegewens word gehou by die **Permanent Service for Mean Sea Level** in Brittanje.^{43,44} Die geografiese verspreiding van hierdie meetstasies is egter, soos 'n mens sou verwag, baie inhomogeen. Terwyl daar baie stasies langs die kuste van Noord-Amerika, Wes-Europa en Oos-Asië is, is daar in die Suidelike Halfrond baie minder. Een van die redes hiervoor is dat die Suidelike Halfrond in 'n baie groter mate uit oseaan bestaan waar daar dus minder potensiële meetplekke is. Die lang kuslyn van Antarktika het byvoorbeeld besonder min meetstasies.⁴⁵

Die stasies wêreldwyd waarvan rekords in argiewe te vinde is, is ook nie tans almal operasioneel nie.²⁷ As 'n mens dan ook die rekordlengte van die stasies nagaan, blyk dit dat die meeste van die rekords te kort is om langtermintendense te bepaal.⁴⁶ Weer eens is dit juis die geval in die Suidelike Halfrond.⁴⁷⁻⁴⁹ Die meeste bestaande rekords uit Antarktika verteenwoordig byvoorbeeld dan ook meetprogramme wat slegs lank genoeg geduur het om die belangrikste getykomponent korrek te bepaal.⁵² In dié gebied is slegs één rekord van meer as twintig jaar.

BEHOEFTE VIR SUIDELIKE AFRIKA

Suid-Afrika is, selfs vir 'n Suidelike Halfrondland,^{47,50} swak voorsien van seevlakrekords, van studies oor die moontlike gevolge van seevlakstyging en van die nodi-

ge wetenskaplike infrastruktuur om hierdie spoedeisende probleme te hanteer.

Getylessings is vir Suid-Afrika beskikbaar vanaf 1888 (Kaapstad), maar verreweg die meeste stasies toon slegs metings sedert die laat vyftigerjare.⁴⁸⁻⁴⁹ In baie gevalle is die rekords nie volledig nie, of is die meetstasie verskuif sonder dat die posisies relatief tot mekaar noukeurig bepaal is. Brundrit⁵¹ beweer dat die langste bruikbare rekord vir die Suid-Afrikaanse kus dié van Simonstad is (204 maande) gevolg deur Lüderitz (197 maande) en Port Nolloth (184 maande). Ten suide van Suid-Afrika is die rekords nog swakker. Selfs geen getymeting hoegenaamd is nog by die Prins Edward-eilande gemaak nie.⁴⁵ By SANAE, die Suid-Afrikaanse Antarktiese basis, is alleen vir 'n baie kort periode gemeet.⁵²

Aan hierdie tekortkominge word nou daadwerklik aandag geskenk. Onder aansporing van die Suid-Afrikaanse Nasionale Komitee vir Oseanografiese Navorsing (SANKON) en die Suid-Afrikaanse Wetenskaplike Komitee vir Antarktiese Navorsing (SAWKAN) is 'n nuwe, baie akkurate en betroubare seevlakregistreerder ontwerp, gebou en in die veld geplaas. Meters is nou operasioneel by Walvisbaai, Simonstad, Port Elizabeth, Durban en ook op Marioneiland. Die meters op die vasteland kan intyds per telefoon gemonitor en data onttrek word. As hierdie uitmuntende netwerk behoorlik in stand gehou word, sal dit egter etlike dekades neem voor 'n goeie aanduiding gekry sal word van die seevlakstyging aan ons kuste. Dit sal lesings verskaf wat hopelik 'n tydige waarskuwing sal bied as seevlakstyging begin versnel.

Dit is voor die hand liggend dat behoorlike impakstudies, veral in sensitiewe en kwesbare kusgebiede, dringend benodig word. In hierdie opsig is lande soos die VSA, maar ook meer vergelykbare lande soos Australië^{26,30,31,53} en Nieu-Zeeland, ons voor. Slegs enkele voorlopige Suid-Afrikaanse studies is aan die skrywers bekend.⁵⁴ Wat is in hierdie verband presies nodig?

Omdat seevlakstyging relatief tot die land die faktor is wat in ag geneem moet word, is dit noodsaaklik dat in dié verband die stabiliteit van die Suidelike Afrikaanse subkontinent bepaal moet word, niteenstaande die huidige aanduidings dat slegs relatief geringe bewegings verwag kan word.

Wanneer die impak van seevlakstyging op die kus bekyk word, moet 'n aantal faktore verder in ag geneem word:

- Laagliggende sensitiewe gebiede moet geïdentifiseer word en met inagneming van die Bruun-reël moet 'n prognose gemaak word van 'n moontlike toekomstige ligging van die kuslyn.
- In ontwikkelde gebiede waar dit nie moontlik is vir duinegebiede om deur natuurlike prosesse weer aan te groei nie, behoort die effek hiervan op korttermynstrandwisseling gekwantifiseer te word deur gebruik van geskikte dinamiese modelle.⁵⁵⁻⁶⁰
- Alhoewel kusbeskermingstegnieke, sowel "hard" as "sag", redelik goed nagevors is vir 'n relatief stabiele seevlak, behoort navorsing spesifiek toegespits te

word op die daarstelling van ontwerpriglyne vir strukture tydens 'n periode van groter seevlakstyging, en spesifiek op die vind van vindingryke samestellings van oplossings wat die te verwagte probleme die hoof kan bied.

- Boubeperkingslyne moet in tersaaklike gebiede daargestel word en 'n duidelike beleid moet geformuleer word om te bepaal wat gedoen behoort te word in die geval waar skade aan eiendom binne die gebied aangerig sou word. Van spesifieke belang hier is 'n duidelike begrip van die verband tussen seevlakstyging en die boubeperkingslyn.⁶¹⁻⁶³
- Soos wat die geval met seevlak self is, is dit van groot belang om te weet tot watter mate die kus besig is om aan te pas. Alhoewel dit 'n stadige proses is, behoort meting van kuslynposisie uitgevoer te word op geselekteerde plekke rondom ons kus, maatgewend van die verskillende kus- en strandtipes. In dié verband is die laetegnologietegnieke wat as deel van die Continuous Low-level Environmental Observation Programme (CLEO-program)⁶⁴ ontwikkel word, uitermate geskik om oor 'n breë gebied betroubare data te verskaf. Die data moet op 'n maklik toeganklike databasis gereedelik beskikbaar wees.

In al bogenoemde gevalle moet duidelike scenario's daargestel word wat afhang van verskillende voorspellings vir seevlakstyging. Dit dui ook op die noodsaak van 'n kontinue monitering van vordering oorsee met die modellering van seevlakstyging as 'n funksie van omgewingsfaktore.

Laastens, die uitdaging is om navorsing op al die bogenoemde aspekte verder te voer en terselfdertyd resultate hieruit so te koördineer dat ons in Suid-Afrika nie net meeloop nie, maar deur ons integrasie van resultate en die gebruik daarvan by die pro-aktiewe daarstelling van 'n kusbestuursbeleid met inagneming van seevlakstyging 'n leidende rol kan speel.

Daar is wêreldwyd 'n groeiende bewuswording van mensgeïnduseerde klimaatverandering wat ons in die volgende paar dekades te wagte kan wees.^{4-6,65,66} Op internasionale vlak is daar dan ook 'n aantal groots opgesette navorsingsprogramme van stapel laat loop om hierdie klimaatsverandering te bestudeer, te monitor en te probeer voorspel. Drie hiervan dien vermeld te word. Die eerste is die **International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)** wat toegespits is op die invloed van klimaatverandering op die diere- en plantelewe van die aarde. Suid-Afrika speel 'n aktiewe en dinamiese rol in hierdie program.⁶⁷⁻⁶⁹ Tweedens is daar die **WOCE (World Ocean Circulation Experiment)** wat op globale basis daárdie aspekte van oseansirkulasie probeer aanspreek wat 'n direkte of indirekte invloed op klimaat het. Ook in hierdie program het Suid-Afrikaanse navorsers 'n belangrike rol te speel.⁷⁰ Laastens is daar die **Joint Global Ocean Flux Studies (JGOFS)** waardeur daar gepoog word om die vloed van biologiese en anorganiese koolstof in die oseane te bepaal. Hierdie program is besonder belangrik omdat vasgestel kan word in watter mate die osean mensgemaakte koolsturgas absorbeer en versprei. Al drie hierdie programme spreek direk of indirek die globale probleme

aan wat deur die **World Climate Research Programme (WCRP)** geïdentifiseer is.

In die meeste lande word baie van die projekte betrokke by hierdie drietal internasionale programme deur staatinstanties of semistaatsinstanties uitgevoer. 'n Uitstaande voorbeeld hiervan is die opsienbare verslag wat die Nederlandse Rijkswaterstaat oor seevlakstyging en die moontlike gevolge vir Nederland saamgestel het.⁷¹ Die rede waarom sulke projekte makliker inpas by die kultuur van semistaatsinstanties is dat baie van die projekte berus op baie lang monitorrekords wat hoofsaaklik deur staatsinstanties gedoen word. Die beoogde internasionale programme het ook leeftye van 10 jaar of meer, wat 'n toewyding aan 'n bepaalde projek vereis vir 'n tydperk wat moeiliker is vir universiteitspersoneel. Ontledingsprojekte van bestaande rekords of teoretiese modellering skyn egter makliker tuis te hoort by tersiële opleidingsinstanties. In Suid-Afrika is semistaatsinstellings soos die WNNR egter besig om weg te beweeg van hierdie soort langtermynomgewingstudies na 'n suiwer industriële dienslewering. Suid-Afrika loop dus die gevaar dat hy kritiese leemtes in sy navorsingmondering aan die ontwikkel is, leemtes wat die aanspreek van omgewingsprobleme soos seevlakstyging ernstig in die wiele mag ry.

DANKBETUIGINGS

Hierdie werk is gestimuleer deur 'n uitnodiging aan die eerste skrywer na die **IGBP Southern Hemisphere Workshop** in Mbabane, Swaziland. Hy bedank die organiseerders en die Stigting vir Navorsingsontwikkeling van die WNNR hiervoor. Die manuskrip is getik deur mev. J. van Heerden. Mnr. H. R. Valentine was besonder behulpsaam met 'n literatuursoektog. Die werk is finansiële ondersteun deur die Suid-Afrikaanse Nasionale Komitee vir Oseanografiese Navorsing (SANKON) en die Suid-Afrikaanse Wetenskaplike Komitee vir Antarktiese Navorsing (SAWKAN) vir wie ons bedank.

VERWYSINGS

- Kerr, R. A. (1988). Report urges Greenhouse action now, *Science*, 241, 23-24.
- Ryan, P. R. (1984). High sea levels and temperatures seen next century, *Oceanus*, 26, 63-67.
- Anonymous (1988). Model predicts global warming, *EOS, Trans. Am. geoph. Un.*, 69, 820, 827.
- Dotto, L. (1988). *Thinking the Unthinkable: civilization and rapid climate change* (Wilfred Laurier Press, Calgary) 73 pp.
- Crawford, M. (1988). Planning for climate change, *Science*, 242, 510.
- Bolin, B., Döös, B. R., Jäger, J. & Warrick, R. A. (eds) (1986). *The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems* (John Wiley, Chichester) 541 pp.
- Hansen, J. E., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Rind, S. & Russel, G. (1981). Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide, *Science*, 213, 957-966.
- Bird, E. C. F. & Koike, K. (1986). Man's impact on sea-level changes: a review, *J. coast. Res.*, 1, 83-88.
- Wigley, T. M. L. & Raper, S. C. B. (1987). Thermal expansion of sea water associated with global warming, *Nature*, 330, 127-131.
- Hoffman, J. S., Keyes, D. & Titus, J. G. (1983). *Projecting future sea level rise* (U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.) 121 pp.
- Titus, J. G., Leatherman, S. P., Everts, C. H., Kriebel, D. L. & Dean, R. G. (1985). *Potential impacts of sea level rise on the beach at Ocean City, Maryland* (U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.) 176 pp.
- Prins, J. E., Wind, H. G., Vreugdenhil, C. B. & Goemans, J. (1986). Impact of sea level rise on society. Proceedings of a workshop, 27-29 August 1986. Delft Hydraulics Laboratory, Delft, The Netherlands.
- De Cuevas, B. A., Brundrit, G. B. & Shipley, A. M. (1986). Low-frequency sea-level fluctuations along the coasts of Namibia and South Africa, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 87, 33-42.
- Jacobs, S. S. (1987). The polar ice sheets: a wild card in the deck, *Oceanus*, 29, 50-54.
- Budd, W. F. (1988). The expected sea-level rise from climatic warming in the Antarctic. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed., (E. J. Brill, Leiden) pp. 74-82.
- Gloersen, P. & Campbell, W. J. (1988). Variations in the Arctic, antarctic, and global sea ice covers during 1978-1987 as observed with the Nimbus 7 scanning multichannel microwave radiometer. *J. geophys. Res.*, 93, 10666-10674.
- Barnett, T. P. (1984). The estimation of "global" sea level change: a problem of uniqueness, *J. geophys. Res.*, 89, 7980-7988.
- Barnett, T. P. (1983). Recent changes in sea level and their possible causes, *Climate Change*, 5, 15-38.
- Etkins, R. & Epstein, E. S. (1982). The rise of global mean sea level as an indication of climatic change, *Science*, 215, 287-289.
- Robin, G. de Q. (1986). Changing the sea level: projecting the rise in sea level caused by warming of the atmosphere. In *The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems*, Bolin, B., Döös, B. R., Jäger, J. & Warrick, R. A. eds. (John Wiley, Chichester) pp. 323-359.
- Meier, M. F. (1984). Contribution of small glaciers to global sea level, *Science*, 226, 1419-1421.
- Budd, W. F., McInnes, B. J., Jenssen, D. & Smith, I. N. (1987). Modelling the response of the West Antarctic ice sheet to a climatic warming. In *Dynamics of the West Antarctic Ice Sheet*, van der Veen, C. J. & Oerlemans, J. eds. (D. Reidel) pp. 321-358.
- Thom, B. G. & Roy, P. S. (1988). Sea-level rise and climate: lessons from the holocene. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 177-188.
- Sieser, W. G. & Dingle, R. V. (1981). Tertiary sea-level movements around Southern Africa *J. geol.*, 89, 83-96.
- Bryant, E. (1988). Sea-level variability and its impact within the greenhouse scenario. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 135-146.
- Short, A. D. (1988). Areas of Australia's coast prone to sea-level inundation. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 93-104.
- IOC (1983). Operational sea-level stations, Intergovernmental Oceanographic Commission, Unesco tech. ser. 23, 40 pp.
- Gordon, A. D. (1988). A tentative but tantalizing link between sea-level rise and coastal recession in New South Wales, Australia. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 121-134.
- Gibb, J. G. (1988). Past and predicted eustatic sea levels and their impacts on coastal advance and retreat. In *Climatic change; the New Zealand response*, Proceedings of a workshop held in Wellington, March 29-30, 1988, Ministry for the Environment, 52-69.
- Vanderzee, M. P. (1988). Changes in saltmarsh vegetation as an early indicator of sea-level rise. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 147-160.
- Hopley, D. & Kinsey, D. W. (1988). The effects of a rapid short-term sea-level rise on the Great Barrier Reef. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 189-201.
- Stark, K. P. (1988). Designing for coastal structures in a greenhouse age. In *Greenhouse: planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 161-176.
- Schwartz, P. P. (1967). The Bruun theory of sea level rise as a cause of shore erosion. *J. geol.*, 75, 76-92.
- Leatherman, S. P. (1987). Beach and shoreface responses to sea-level rise: Ocean City, Maryland, U.S.A., *Prog. Oceanogr.*, 18, 139-149.
- Leatherman, S. P. (1984). Shoreline evolution of North Assateague Island, Maryland, *Shore and Beach*, 52, 3-10.
- Titus, J. G. (1987). Sea level rise and wetland loss: an overview. In *Greenhouse Effect, Sea Level Rise and Coastal Wetlands*, Titus, J. G. ed. (U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.) pp. 1-35.
- Devoy, R. J. N. (1987). Sea level applications and management, *Prog. Oceanogr.*, 18, 273-286.
- Newman, W. S. & Fairbridge, R. W. (1986). The management of sea-level rise, *Nature*, 320, 319-321.
- Rosen, D. S. and Vajda, M. (1982). Sedimentological influences of detached breakwaters, Proc. 18th International Conference on Coastal Engineering, Cape Town, RSA.
- Swart, D. H. and Horikawa, K. (1986). Design and evaluation

- of beach protection schemes; Proceedings, 20th International Conference on Coastal Engineering, Taipei, Taiwan, ROC.
41. DHL. (1986). Artificial Beach Nourishment; Joint Publication Delft Hydraulic Laboratory and Rijkswaterstaat, Delft, the Netherlands.
 42. Newman, W. S. & Fairbridge, R. W. (1987). Project NOAH: Regulating modern sea-level rise. Phase II: Jerusalem underground, *Prog. Oceanog.*, 18, 61-78.
 43. Pugh, D. T., Spencer, N. E. and Woodworth, P. L. (1987). Data holdings of the Permanent Service for Mean Sea Level, PSMSL, Birkenhead, 155 pp.
 44. Spencer, N. E., Woodworth, P. L. & Pugh, D. T. (1988). Ancillary time series of mean sea level measurements, The Permanent Service for Mean Sea Level, 70 pp.
 45. Lutjeharms, J. R. E. (1980). Sea level in the Southern Ocean: a catalogue of measurements, *CSIR Res. Rep.*, 365, 206 pp.
 46. Lutjeharms, J. R. E. & Alheit, M. M. (1982). Long-term sea level measurements; a global catalogue, *CSIR Tech. Rep.*, T/SEA 8210, 99 pp.
 47. Lanfredi, N. W., D'Onofrio, E. E. & Mazio, C. A. (1988). Variations of the mean sea level in the Southwest Atlantic Ocean, *Cont. Shelf Res.*, 8, 1211-1220.
 48. Lutjeharms, J. R. E. & Alheit, M. M. (1983). Sea-level in the World Ocean. Part VI: The South Atlantic and South Pacific Oceans. A catalogue of measurements. *CSIR Rep. T/SEA 8303/6*, 176 pp.
 49. Lutjeharms, J. R. E. & Alheit, M. M. (1983). Sea-level in the World Ocean. Part VII: The Indian Ocean. A catalogue of measurements. *CSIR Rep. T/SEA 8303/7*, 123 pp.
 50. Wyrski, K. & Pugh, D. (1984). Plan for a global sea level network, Committee for Climatic Change and the Ocean, IOC/CCCCO Publ. INF-563.
 51. Brundrit, G. B. (1984). Monthly mean sea level variability along the west coast of Southern Africa, *S. Afr. Tydskr. Wet.*, 2, 195-203.
 52. Lutjeharms, J. R. E., Stavropoulos, C. C. & Koltermann, 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.
 53. Cocks, K. D., Gilmour, A. J. & Wood, N. H. (1988). Regional impacts of rising sea levels in coastal Australia. In *Greenhouse; planning for climatic change*, Pearman, G. I. ed. (E. J. Brill, Leiden) pp. 105-120.
 54. Huges, P. & Brundrit, G. B. (1989). The impact of sea level rise on South African coastal environments. I. A pilot study on methods and implications for the Rietvlei/Dieprivier system. Department of Oceanography, University of Cape Town.
 55. Swart, D. H. (1974). Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles; Delft Hydraulics Laboratory, Publication No 131, 302 pp.
 56. Swart, D. H. (1986). Prediction of beach changes and equilibrium beach profiles; in "Dynamics of Sand beaches", Lecture notes for short course, Taipei, November 1986, 60 pp.
 57. Bailard, J. A. (1982). A model for onshore - offshore sediment transport in the surf zone; Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme. Technical Note No N-164a.
 58. Stive, M. J. F. and Battjes J. A. (1984). A model for offshore sediment transport, Proc. 19th International Conference on Coastal Engineering, Houston, USA.
 59. Nairn, R. B. (1988). Prediction of wave height and mean return flow in cross-shore sediment transport modelling; Proceedings, IAHR Symposium on Mathematical Modelling of Sediment Transport in the Coastal Zone, Copenhagen, Denmark.
 60. Nairn, R. B. (1988). Prediction of wave height and mean return flow in cross-shore sediment transport modelling; Proceedings, IAHR Symposium on Mathematical Modelling of Sediment Transport in the Coastal Zone, Copenhagen, Denmark.
 61. Campbell, N. P. Macleod, D. C. and Swart, D. H. (1985). Bypassing and beach nourishment scheme at Durban; Proc. PIANC congress, Brussels, Belgium.
 62. Barnett, K. (1982). Durban beaches reclamation: Practical aspects, Proc. 18th International Conference on Coastal Engineering, Cape Town, RSA.
 63. Heydorn, A. E. F., Geldenhuys, N. D. and Swart, D. H. (1985). Principles for Coastal Zone Management in South Africa, Proc. Coastal Zone 85, Vol. 1, pp 306 to 316.
 64. Badenhorst, P. and Swart, D. H. (1989). Importance and Application of Continuous low-level environmental observations of beaches, Proceedings, Coastal Zone 89, Charleston, South Carolina, USA.
 65. Pearman, G. I. ed. (1988). *Greenhouse; planning for climatic change*, (E. J. Brill, Leiden) 748 pp.
 66. Anonymous (1988). Climate change; the New Zealand response. Proceedings of a workshop held in Wellington, March 29-30, 1988, Ministry for the Environment, 264 pp.
 67. Macdonald, I. A. W. & Crawford, R. J. M. (eds) (1988). Long-term data series relating to southern Africa's renewable natural resources. *S. Afr. Natn Sci. Prog. Rep.*, 157, 497 pp.
 68. Anonymous (1988). The International Geosphere-Biosphere Programme: a study of global change, IGBP, a plan for action, *IGBP Report*, No. 4, 101 pp.
 69. SCAR (1988). The role of Antarctica in global change; scientific priorities for the International Geosphere Biosphere Program (IGBP), SCAR Steering Committee for the IGBP, Hobart, 21 pp.
 70. Lutjeharms, J. R. E. & Gründlingh, M. L. (1987). Die Wêreld Oseaansirkulasie-eksperiment (WOCE), *S. Afr. Tydskr. Natuurwet. Tegnol.*, 6, 64-71.
 71. Rijkswaterstaat (1986). *Zeespiegelrijzing; worstelen met wassend water*, Dienst Getijdewateren, Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 148 pp.
 72. Gronitz, V., Lebedeff, S. & Hansen, J. (1982). Global sea level trend in the past century, *Science*, 215, 1611-1614.