

# Satellietwaarneming van oseaankleur aan die Suid-Afrikaanse Weskus

N.M. Walters  
W.N.N.R., Pretoria

## UITTREKSEL

*Die seekleuruftaster (SKA) aan boord van die Nimbus-7-satelliet meet oseaanradiansie by verskillende golflengtes, waardeur fitoplanktonpigment-, sedimentverspreiding- en temperatuurverskille langs die kusgebiede bepaal kan word. Om die verband tussen oseaankleur en fitoplanktonpigmente langs die Kaapse Weskus vas te stel, is 'n reeks optiese en biologiese metings sedert 1979 ter see uitgevoer. In hierdie artikel word 'n kort bespreking aangebied van die algoritme waarmee fitoplanktonpigment uit satellietdata bepaal kan word en dit word vergelyk met seedata gedurende Februarie 1979 ingesamel. Resultate dui daarop dat die pigmente met 'n akkuraatheid van 'n faktor 2 bepaal kan word, wat goed vergelyk met resultate van ander navorsers. Hierdie nuwe metode van pigmentbepaling op 'n globale skaal kan 'n belangrike rol speel by die bestudering van opwellingsprosesse en by die oordeelkundiger benutting van visbronne.*

## ABSTRACT

### *Satellite observation of ocean colour off the South African West Coast*

*The Coastal Zone Colour Scanner (CZCS) on board of the Nimbus-7 satellite measures ocean radiance at different wavelengths in order to map phytoplankton pigment distributions and sediment distributions as well as temperature patterns in the costal zone. A series of optical and biological measurements were carried out along the Cape West Coast to determine the relationship between ocean colour and phytoplankton pigment concentration. This paper presents a brief description of the algorithm used to determine phytoplankton pigment from satellite data, which is then compared with sea data collected during February 1979 off the West Coast. Results indicate that the pigments can be determined with a accuracy of factor 2, which compares favourably with the results obtained by other investigators. It appears that this new method of pigment determination on a global scale will provide an important tool in the study of upwelling processes and in a more efficient management of fish resources.*

## 1. Inleiding

Die satelliet Nimbus-7 is gedurende 1978 gelanseer om die fisiese eienskappe van die atmosfeer en oseane dwarsoor die wêreld te ondersoek.<sup>1</sup> Een van die agt sensors aan boord van die satelliet is 'n Seekleuruftaster (SKA),<sup>2</sup> wat spesifiek ontwerp is om die lewende see-hulpbronne te bestudeer deur die oseaankleur by verskillende golflengtes te meet om so chlorofil- en sedimentverspreidings langs die kusgebiede te ondersoek. Chlorofil is die oorheersende fotosintetiese pigment in die fitoplanktonmikroorganismes wat die laagste skakel in die oseaanvoedselketting is.

Om chlorofilverspreiding met behulp van 'n SKA te bepaal moet daar eerstens 'n algoritme ontwikkel word wat die seekleur (radiansie) op die seeoppervlakte koppel aan chlorofilkonsentrasies. Die tweede probleem is om hierdie radiansies deur die satelliet te laat waarneem, aangesien die satelliet ook radiansies waarneem wat die gevolg is van weerkaatsing en verstrooiing deur lugmolekulesgen aerosolpartikels. Hierdie atmosferiese bydrae kan tot 80% van die totale sein na die satelliet uitmaak en moet dus verwyder word.

Sedert 1979 is 'n reeks kontrolevaarte<sup>3,4</sup> om die Kaapse kus uitgevoer om die toepaslikheid van die SKA vir chlorofilbepalings in die Suid-Afrikaanse

kusgebiede te ondersoek, as bydrae tot die ondersoek van die internasionale Nimbuseksperimentspan. Navorsers van die Nasionale Fisiese Navorsingslaboratorium, die Instituut vir Seevissery, die Nasionale Navorsingsinstituut vir Oseanologie en die Universiteit van Kaapstad het deelgeneem aan die Suid-Afrikaanse Nimbuseksperiment.

Hierdie artikel beskryf kortliks die eienskappe van die SKA en die beginsel van die metode wat by die Nasionale Fisiese Navorsingslaboratorium gebruik word om chlorofilbepalings te doen, met spesiale verwysing na resultate vir 19 Februarie 1979 waarvoor daar baie volledige seedata beskikbaar is.

## 2. SKA-eienskappe

Die seekleuruftaster (SKA) aan boord van die Nimbus-7-satelliet is basies 'n skandeerradiometer met ses kanale. Die vernaamste eienskappe daarvan word in Tabel 1 getoon. Vier van die kanale is in die sigbare gebied by 443, 520, 550, en 670 nm, terwyl die ander twee in die nabij infrarooi by 750 nm en in die termiese infrarooi by 11,5  $\mu$  is. Die vier sigbare kanale word gebruik vir seekleurbepalings. Die 750 nm-kanaal word gebruik om te onderskei tussen see en land/wolke, terwyl die 11,5  $\mu$ -kanaal gebruik word vir die bepaling van seetemperatuur.

## TABEL 1

### Seekleuraftaster (SKA)-eienskappe

**A. Kanale**

1.  $443 \pm 10$  nm
2.  $520 \pm 10$  nm
3.  $550 \pm 10$  nm
4.  $670 \pm 10$  nm
5.  $750 \pm 10$  nm
6.  $10,5 - 12,5 \mu\text{m}$

Pigmentbepaling      Land- en Wolkemasker      Temperatuur

**B. Oombliklike gesigsveld**

0,04 grade  
 =  $800 \times 800$  m beeldelement

**C. Skandeerhoek**

80 grade  
 = 1600 km dekkingstrook

Die oombliklike gesigsveld is 0,04 grade en gee 'n ruimtelike oplosvermoë op seevlak van by benadering  $800 \times 800$  m. Die skandeerhoek is  $80^\circ$  en gee 'n dekkingstrook van ongeveer 1 600 km wyd.

### **3. Atmosferiese korreksies**

Die atmosferiese korreksie<sup>s</sup> is gebaseer op 'n metode voorgestel deur Gordon.<sup>6,7</sup> Volgens hierdie metode word die totale radiansie  $L^{\lambda}$  soos by die sensor waargeneem, verdeel in 'n komponent  $L_R^{\lambda}$  as gevolg van Rayleighverstrooiing, 'n komponent  $L_A^{\lambda}$  as gevolg van aerosolverstrooiing en die radiansie  $L_w^{\lambda}$

wat terugverstrooi word uit die oseaan. Hierdie komponente word skematis in Figuur 1 getoon. Dus volg:

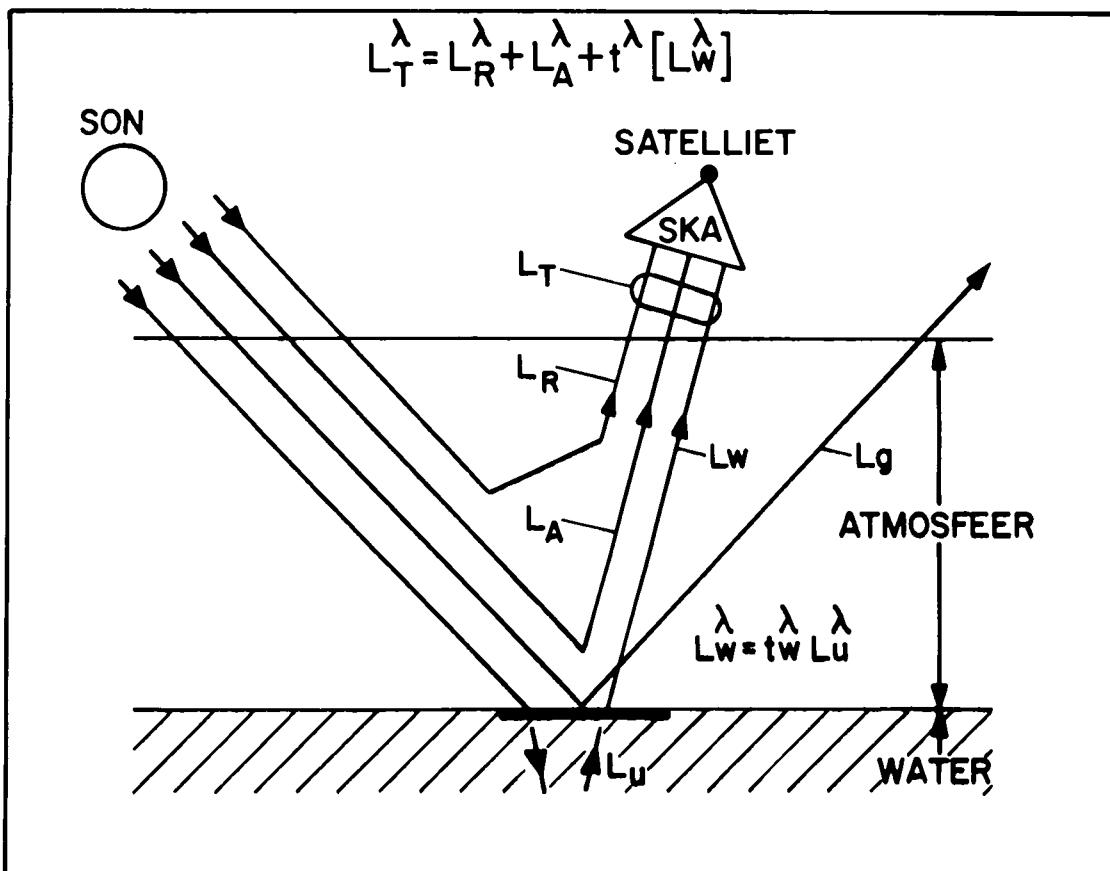
waar  $t^A$  die diffuse transmittansie van die atmosfeer is. Direk weerkaatste sonlig van die wateroppervlak word geïgnoreer, aangesien die hele sensor weg van die weerkaatsingsrigting gekantel word terwyl gereflekteerde diffuse sonlig implisiet in die  $L_R$  en  $L_A$  terme vervaat is.

waar  $L_u^\lambda$  die opwaarte radiansie net onder die wateroppervlak is en  $t_w$  die transmisie deur die wateroppervlak.

$L_A^R$  kan geredelik teoreties bereken word en is 'n funksie van die buiteaardse sonstralingsintensiteit, die son/sensor/prentelementgeometrie en Rayleigh optiese digtheid.<sup>8</sup> Om die aerosolkomponent,  $L_A^A$ , te bereken word die volgende aannames gemaak:

1. Die opwaartse radiansie uit die see by 670 nm is baie klein ( $L_W^{670} \approx 0$ ).
  2. Die aërosolfasefunksie is onafhanklik van golflengte.
  3. Die genormaliseerde frekwensiedistribusie en brekingsindeks van die aërosols is onafhanklik van posisie oor die betrokke area.

$L_A^{670}$  kan dus direk van vergelyking 1 verkry word



**FIGUUR 1:** Skematische voorstelling van die samestelling van die totale radiansie waargeneem deur die seekleurtaftaster (SKA) aan boord van die Nimbus-7-satelliet.

en kan gekoppel word met die aerosolradiansie by die ander golflengtes deur:

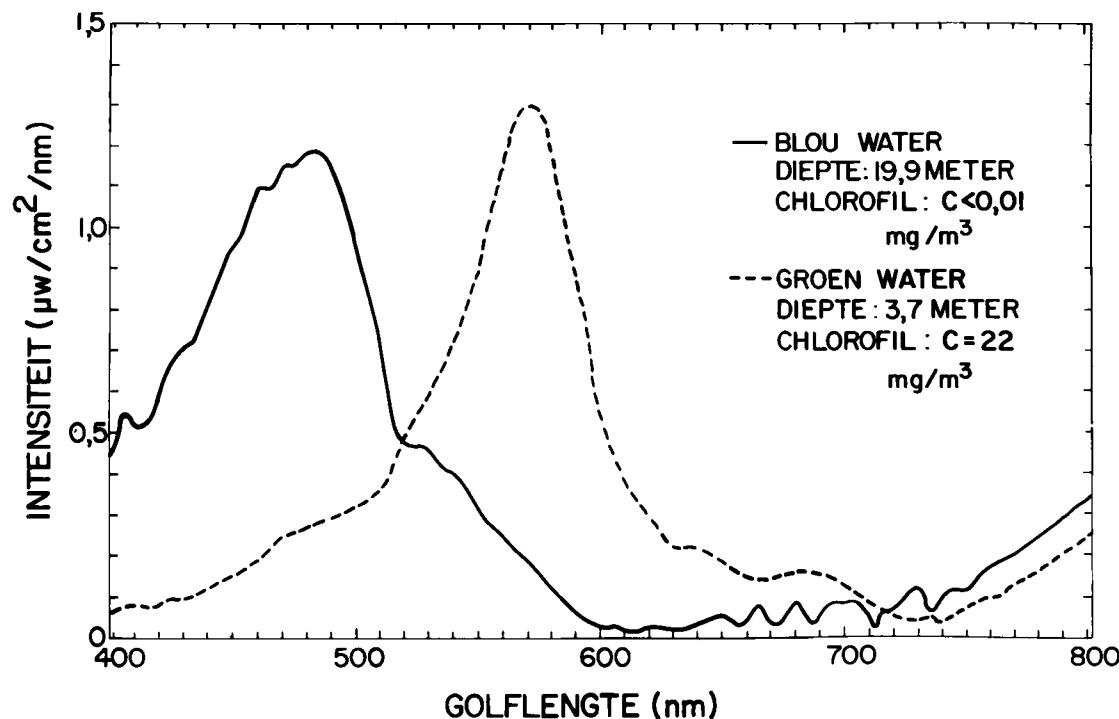
Hierdie verhouding sal onafhanklik van posisie wees, selfs al verander  $L_A^{670}$  en  $L_A^\lambda$ .  $S(670, \lambda)$  is 'n funksie van die optiese eienskappe van die tipe aërosol; dit moet bekend wees en word oor die hele beeld gebruik.

S( $670, \lambda$ ) kan bepaal word deur die radiansies van die wateroppervlakte af, of die optiese eienskappe van die aerosol by een punt, gedurende 'n satellietoorvlug te meet. Hierdie metode vereis data uit die see of deur die atmosfeer vir elke oorvlug. 'n Praktieser metode is om hierdie waardes direk van die satellietbeeld te verkry deur van die Helderwater-radiansie prosedure<sup>9</sup> gebruik te maak. By hierdie prosedure word aanvaar dat die seeoppervlakteradiansie by 520 en 550 nm by benadering konstant en bekend is in gebiede met helder water (chlorofilkonsentrasies laer as  $0,35 \text{ mg/m}^3$ ). 'n Gesikte helderwatergebied word gekies uit die onverwerkte satellietbeelde. Aangesien die radiansies by 520 en 550 nm bekend is, word hierdie waardes gekompenseer vir die son- en gesigshoek, asook vir die atmosferiese transmissie,

om so die bydrae by die sensor  $t^\lambda L_w^\lambda$  te bereken. Uit vergelyking 1 kan  $L_A^\lambda$  dus bereken word en  $S(670, \lambda)$  uit vergelyking 3 vir 520 en 550 nm.  $S(670, 443)$  word bepaal deur ekstrapolastietegnieke. Hierdie waardes van  $S(670, \lambda)$  word nou oor die hele beeld gebruik om die opwaartse radiansie net onder die seeoppervlakte te bepaal.

#### **4. Chlorofilalgoritme**

Die opwaartse radiansie net onder die seeoppervlakte hou verband met die samestelling van die water as gevolg van die fisiese prosesse van absorpsie en verstrooiing.<sup>10,11</sup> Fitoplankton bevat die fotosintetiese pigment chlorofil (Chl a), wat sterk absorbeer in die blou en rooi gebiede van die spektrum. Toenemende konsentrasies van chlorofil verander dus die water kleur van diepblou na groen, soos duidelik in Figuur 2 gesien kan word. Figuur 2 toon tipiese opwaartse irradiansieprofiele, gemeet tydens die kontrolevaart in Februarie 1979 aan die Kaapse Weskus<sup>3</sup>. Ongelukkig vertoon die vervalproduk van Chl a, fiopigment a (fio a) soortgelyke absorpsie-eienskappe, en dit kan nie met die beskikbare SKA-kanale geskei word nie. Die sensor neem derhalwe die



**FIGUUR 2:** Tipiese opwaartse onderwaterirradiansiespektra met verskillende chlorofilkonsentrasies langs die Weskus, gemaat gedurende die 1979-konrolevaart.

som van Chl a + fio a (van nou af genoem chlorofil(C)) waar. Gewoonlik is die fio a-konsentrasies 'n faktor 5 tot 10 laer as die Chl a-konsentrasie.<sup>7</sup>

Verskeie navorsers<sup>12,13</sup> korreleer die pigmentkonsentrasies met radiansie- of refleksieverhoudings teen verskillende golflengtes eerder as om die absolute waardes te gebruik. Dit hou die voordeel in dat daar gedeeltelik gekompenseer word vir ander stowwe in die water, soos nie-organiese gesuspensi-

deerde materiaal, asook vir die maskeringseffek van die atmosfeer.<sup>7</sup>

Figuur 3 toon die verband tussen die logaritme van chlorofilkonsentrasies en die logaritme van die  $\frac{443}{550}$  irradansieverhoudings vir data verkry gedurende die kontrolevaart van Februarie 1979.

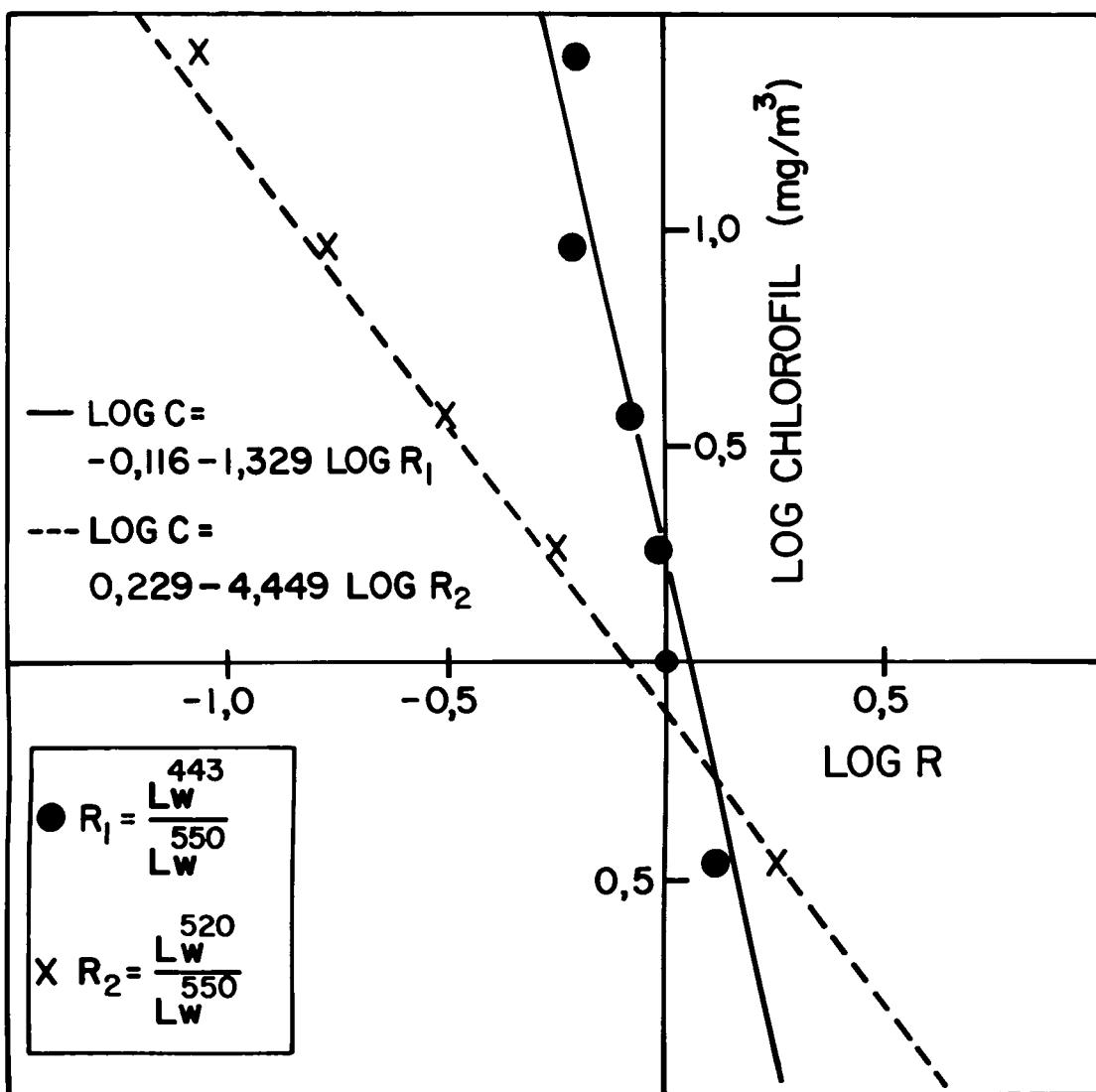
Die irradiansies is op verskillende dieptes gemeet<sup>3</sup> en na die oppervlakte geëkstrapoleer om so die sub-oppervlakte-radiansies te verkry, terwyl die chlorofil-

konsentrasies opties geweeg is by 520 nm<sup>15</sup> om vir variasies van chlorofilkonsentrasies oor die waterkolom te kompenseer. Die twee lyne in Figuur 3 stel die Clarkalgoritme<sup>14</sup> voor wat op 55 opties geweegde datapunte aan die Amerikaanse kus gepas is. Daar is besluit om hierdie algoritme te gebruik omdat dit verskeie watertipes verteenwoordig, en as gevolg van die uitstekende korrelasie met die Weskusdata waar

$$\log C = -0,116 - 1,329 \log \frac{L_u^{443}}{L_u^{550}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\log C = 0,229 - 4,449 \log \frac{L_u^{520}}{L_u^{550}} \dots\dots\dots(5)$$

Die verhoudings  $L_u^{443}/L_u^{550}$  is baie sensitief vir variasies in C by lae konsentrasies. By hoë konsentrasies word  $L_u^{443}$  baie klein en is onrealisties akurate atmosferiese korreksies nodig. Vergelyking 4 is slegs bruikbaar vir pigmentkonsentrasies laer as 0,6 (mg/m<sup>3</sup>),<sup>7</sup> en vergelyking 5 by hoë konsentrasies.



FIGUUR 3: Die verband tussen chlorofilkonsentrasies en radiansieverhoudings, gemeet gedurende die 1979-kontrolevaart aan die Weskus.

## 5. Resultate

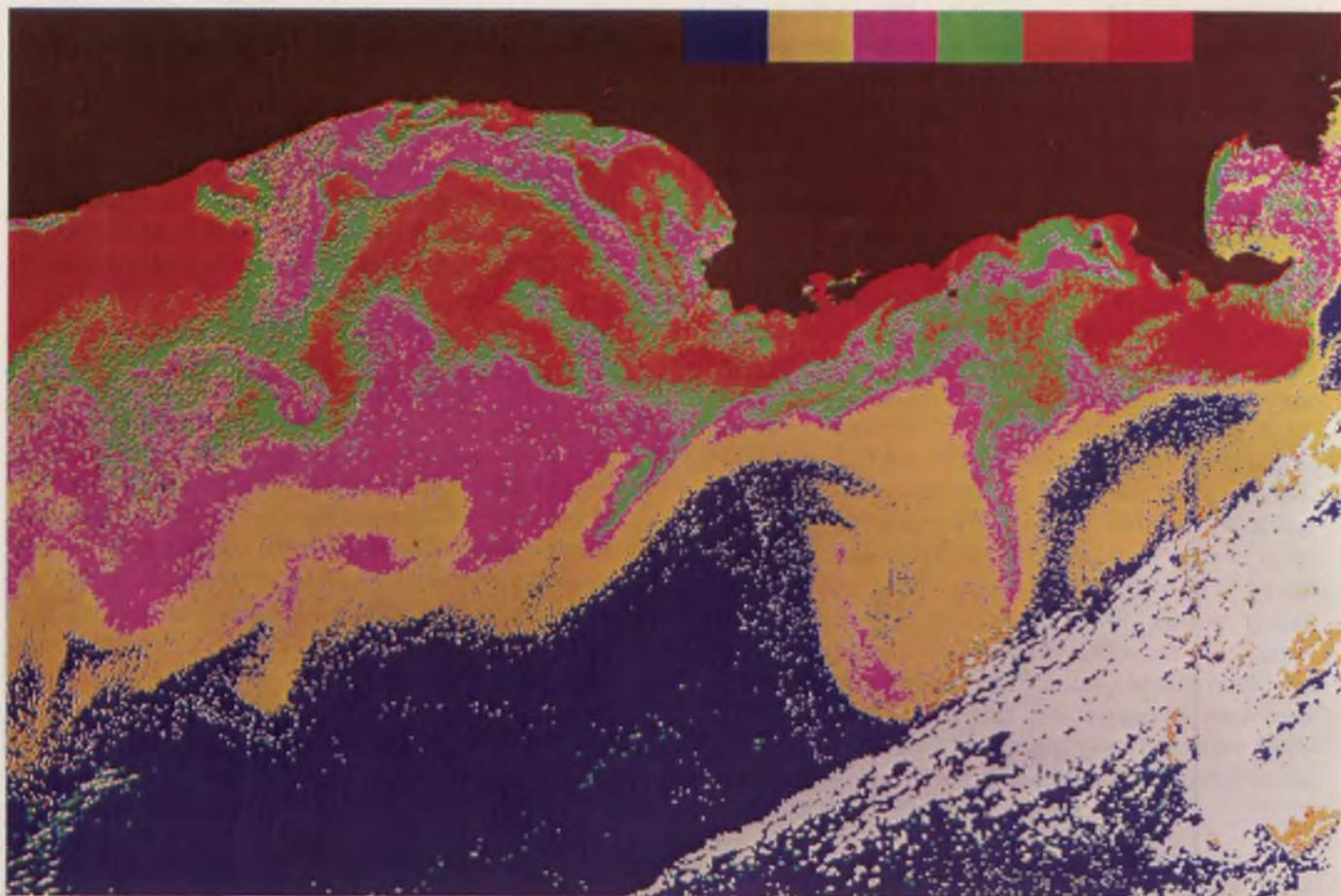
Figuur 4 toon 'n kontoerbeeld van die chlorofilverspreiding langs die Kaapse Weskus op 19 Februarie 1979 deur van algoritmes, soos beskryf, gebruik te maak.

Die kontoere strek van 0,1 tot 30 mg/m<sup>3</sup> en verteenwoordig 'n dinamiese bereik van 300 in konsentrasie. Bekende pluime met hoë chlorofilkonsentrasies kan duidelik by Kaap Columbine en Oudekraal gesien word. Die korrelasie tussen die gemete chlorofilwaardes en die bekerende waardes uit die

SKA-data word in Figuur 6 getoon. Die berekende waardes is 'n gemiddelde van  $5 \times 5$  beeldelemente. Figuur 5 toon die relatiewe temperatuurverskille in dieselfde area wat gelyktydig verkry is van die 11,5  $\mu\text{m}$ -kanaal. Blou stel by benadering 10°C voor, terwyl rooi ongeveer 20°C is.

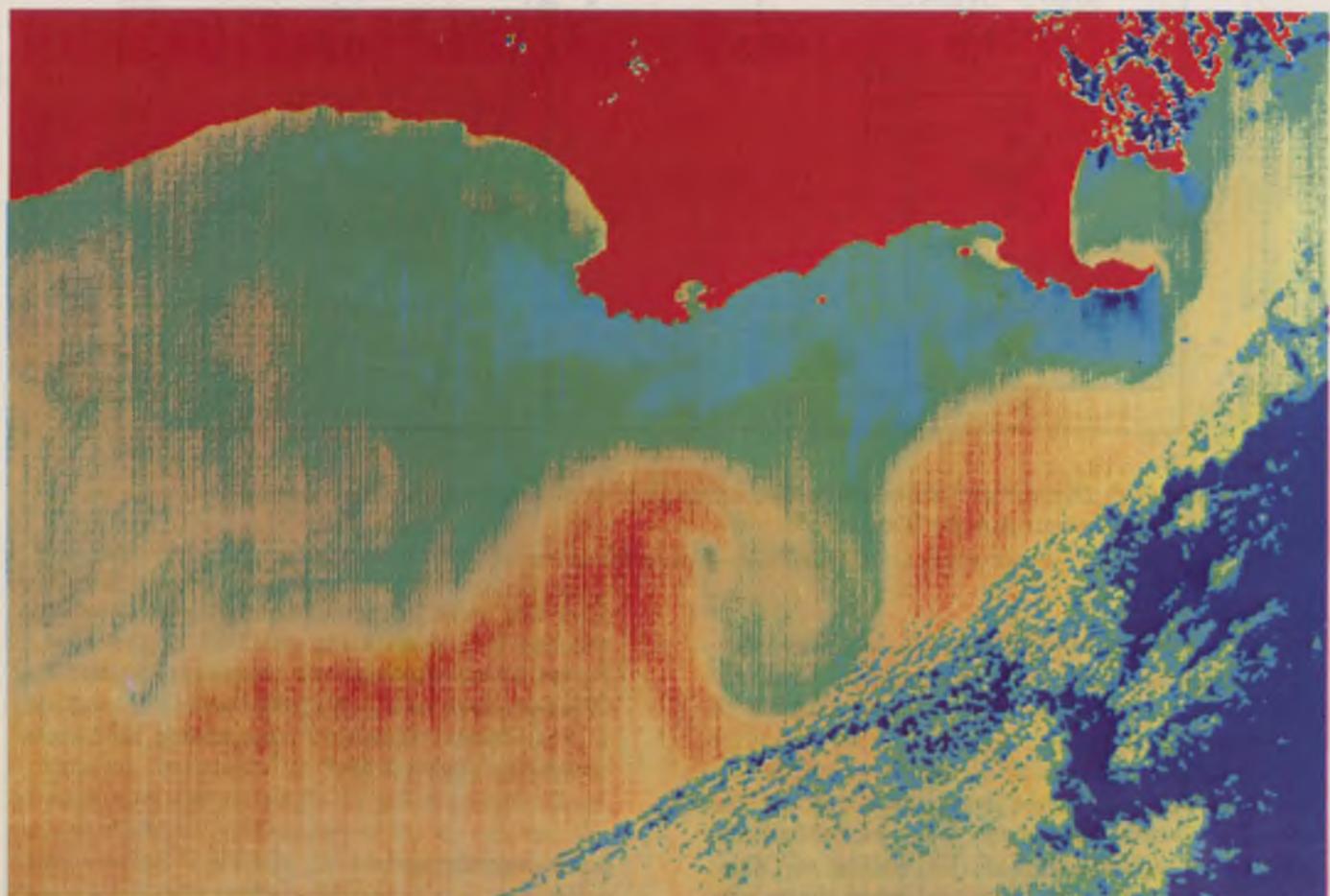
## 6. Gevolgtrekking

Figuur 6 toon 'n redelike goeie korrelasie met die gemete waardes. Dit blyk dat chlorofil met 'n



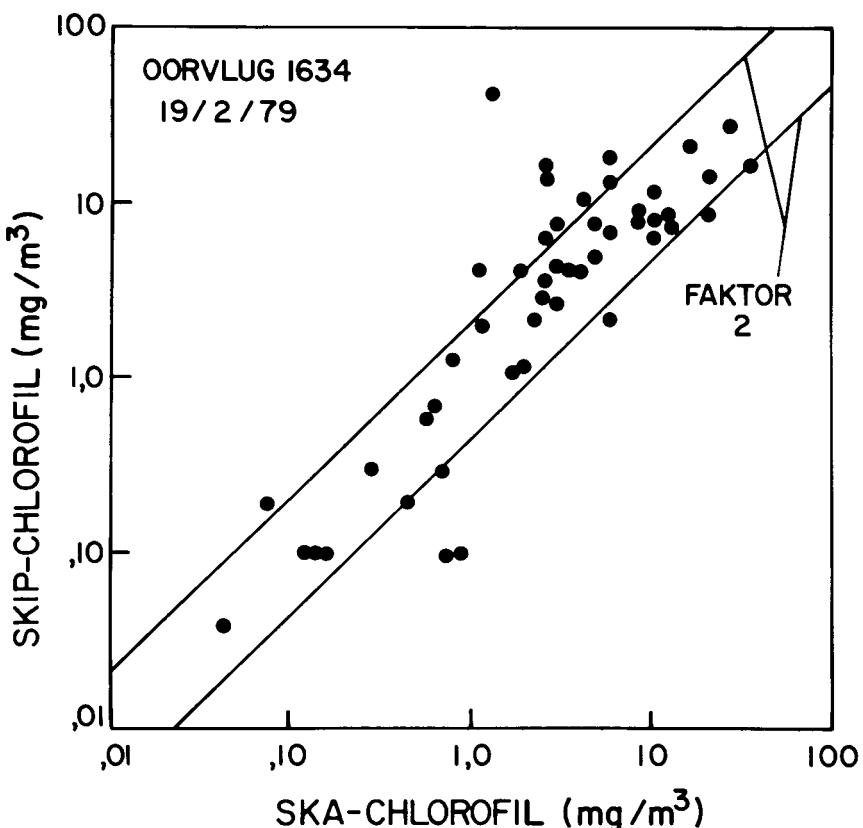
FIGUUR 4: Gekontoerde chlorofilkonsentrasies op ▲  
19 Februarie 1979.

FIGUUR 5: Relatiewe temperatuurverspreiding op  
19 Februarie 1979. ▼



noukeurigheid van beter as 'n faktor 2 bepaal kan word, iets wat oorspronklik as 'n doelstelling vir die SKA gestel is. Hierdie noukeurigheid is in ooreenstemming met dié van ander navorsers<sup>7, 13, 15</sup> en is baie bemoedigend, veral as in ag geneem word dat die seedata oor 'n tydperk van drie dae versamel is waartydens die chlorofilfronte aansienlike afstande kon beweeg, asook die onsekerheid van posisiebepaling op die see.

Die verband tussen oseankleur en fitoplanktonkonsentrasies soos waargeneem deur die Nimbus-7 SKA is 'n belangrike nuwe waarnemingresultaat. Daar word gehoop dat hierdie tipe oseankleurinformatie moontlik in die tweede helfte van die dekade gereeld sal bydra tot 'n beter begrip van die opwellingsproses langs Suid-Afrikaanse kusgebiede, wat op sy beurt kan lei tot 'n meer oordeelkundige benutting van visbronne.



FIGUUR 6: Die korrelasie tussen SKA-chlorofil en skeepschlorofil.

## 7. VERWYSINGS

- Horan, J. (1978). Nimbus: the vanguard of remote sensing. *IEEE spectrum*, November, 36-43.
- Hovis, W.A. et al. (1980). Nimbus-7 coastal zone system description and initial imagery, *Science*, 210, 60-63.
- Walters, N.M., Kok, C.J. & Claase, C. (1980). Optical measurements at sea: South African Nimbus-7 programme, *S. Afr. J. Phys.*, 3, 55-59.
- Anderson, F.P., Shannon, L.V., Mostert, S.A., Walters, N.M. & Malan, O.G. (1981). *Oceanography from space, A South African colour experiment*, Gower, J.F.R. (Plenum Publishing Corporation), p. 381.
- Walters, N.M., (In voorbereiding). CZCS algorithm description for the South African coastal regions, WNNR Interne Verslag.
- Gordon, H.R. (1978). Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans, *Applied Optics*, 17, 1631-1636.
- Gordon, H.R., Clark, D.K., Mueller, J.L. & Hovis, W.A. (1980). Phytoplankton pigments from Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner: Comparisons with surface measurements, *Science*, 210, 63-66.
- Viollier, M., Tanré, D. & Deshamps, P.Y. (1980). An algorithm for remote sensing of water colour from space, *Boundary-Layer Meteorology*, 18, 247-267.
- Gordon, H.R. & Clark, D.K. (1981). Clear water radiances for atmospheric correction of coastal zone colour scanner imagery, Preliminary draft, CZCS NET MEETING, NASA/GSFC.

- Gordon, H.R. (1976). Radiative transfer: a technique for simulating the ocean in satellite remote sensing calculations, *Applied Optics*, 15, 1974-1979.
- Morel, A. & Prieur, L. (1977). Ocean colour variation analysis, *Limnology and Oceanography*, 22, 709-722.
- Clark, D.K., Baker, E.T. & Strong, A.E. (1980). Upwelled spectral radiance distributions in relation to particular matter in sea water, *Boundary-Layer Meteorology*, 18, 287-298.
- Gordon, H.R., Clark, D.K. & Brown, J.W. (1981). Comparison of U.S. East Coast CZCS imagery with NOAA/NESS ship data, Preliminary draft, CZCS NET MEETING, NASA/GSFC.
- Clark, D.K. (1981). Phytoplankton pigment algorithms for the Nimbus-7 CZCS, *Oceanography from Space*, Gower, J.F.R. (Plenum Publishing Corporation), p. 227.
- Tassan, S. (1981). A method for the retrieval of phytoplankton and suspended sediment concentrations from remote sensing of water colour. Presented at the Fifteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor.

## 8. ERKENNINGS

Die wetenskaplikes wat deelgeneem het aan die Suid-Afrikaanse Nimbus-eksperiment word bedank vir die vrystelling van die seedata, terwyl die Visibility Laboratory van die Scrippsinstiutuut vir Oseanografie bedank word vir hulle sonefemeris- en geometrierekenaarprogramme.

My kollegas by die NFNL word bedank vir advies en konstruktiewe kritiek gedurende die uitvoering van die projek.