

5 AUG. 1971

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

D e B i l t

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 71-3

M.P. Visser

Optisch-oceanografisch werk in de jaren 1967,
1968 en 1970 verricht op de Noord-Atlantische
Oceaan (weerschipstations A, M en K).

VIII.96

De Bilt, 1971



Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 71-3 (IV)

U.D.C. 551.463.5:
535.341

Optisch-oceanografisch werk in de jaren 1967, 1968 en 1970
verricht op de Noord-Atlantische Oceaan
(weerschipsstations A, M en K).

door
M.P. Visser

1. Inleiding.

Optisch-oceanografische waarnemingen werden verricht op de volgende stationsposities, en gedurende de volgende tijdvakken:

Positie, tijd en diepte van de hier beschouwde stationsperioden.				
station A	62°N 33°W	juni-juli 1967	(Irminger Zee)	diepte 3000 m
station M	66°N 02°E	september 1968	(Noorse Zee)	2000-3000 m
station K	45°N 16°W	maart-april 1970		5000 m

Het schip (Cumulus) is, als het op station ligt, slechts binnen zekere grenzen gebonden aan zijn vaste positie. Daarom zijn variaties van de gemeten grootheden die veroorzaakt zijn door veranderingen in de positie op een en hetzelfde station, vaak moeilijk te scheiden van die, veroorzaakt door het voortschrijden van de tijd.

De perioden waarin is gewerkt, zijn in de eerste plaats bepaald door het (internationaal vastgelegde) vaarschema, en door de eisen dat voldoende daglicht en een redelijke kans op werkbaar weer mochten worden verwacht.

Op deze stations worden ook hydrografische waarnemingen verricht en uitgebreide golfmetingen, waarover in dit rapport niet verder wordt gesproken. Over de resultaten van de optische metingen op de stations A en M is in het kort reeds mededeling gedaan in de literatuur (16, 17). Het is de bedoeling om dit ook voor de waarnemingen van station K te doen.

2. Instrumenten.

De meetinstrumenten die ter beschikking stonden voor het optisch-oceanografisch onderzoek zijn de volgende:

- a. Secchischijf. Hiermee kan slechts op grove wijze de helderheid van het water worden bepaald. Het is echter mogelijk om uit gekombineerde waarnemingen met de schijf en metingen van bundelverzwakking of daglichtverzwakking empirische korrelaties af te leiden. Voorwaarde hiervoor is, dat de optische eigenschappen van het water over de diepte waarop de Secchischijf uit het gezicht verdwijnt, redelijk constant zijn. Enige van zulke relaties zijn weergegeven in (18).

Vaak is het gewenst om met de zichtdiepte ook de "eigen kleur" van het water ter plaatse vast te leggen. Het eenvoudigst gebeurt dit door vergelijking met de kleurenschaal van Forel (9). Soms verdient het overweging om zichtschijsen van verschillende grootte te gebruiken, afhankelijk van de helderheid van het water ter plaatse (9, 15). Bij het onderhavige onderzoek is slechts gebruik gemaakt van een witte schijf van 30 cm diameter.

- b. Bundelverzwakkingsmeter. Met dit instrument wordt de verzwakking gemeten, die een gekollimeerde lichtbundel ondergaat bij het afleggen van een bepaalde weg door het water. Gemeten wordt in situ. Met het oog op de verwachte grote helderheid van het water, werd bij metingen in de Noord-Atlantische Oceaan steeds gebruik gemaakt van een weglengte van 2 meter. Op de stations A en M kon door beperkte kabellengte niet dieper worden gemeten dan ca 80 m; tijdens de metingen op station K stond evenwel een langere kabel ter beschikking, zodat daar tot ruim 250 meter metingen konden worden verricht.

De kleur van het licht waarmee gemeten wordt kon naar verkiezing rood of blauw zijn, met de volgende karakteristiek:

kleur	glas	λ max. (nm)	intensiteit 50% van die in top (nm)
rood	2 mm RG 1	640	615 - 680
blauw	2 mm BG 12	450	415 - 485

- c. Bestralingsdichtheidmeter. Dit instrument bestaat uit een fotocel, aan de voorzijde voorzien van een kollektor van opaalglas, die de bestralingsdichtheid meet die op een bepaalde diepte door het vlak van de kollektor gaat. De fotocel is van het merk Weston photronic, type RR. Het elektrische signaal wordt via een kabel naar het schip gevoerd, daar versterkt en geregistreerd. Verschillende kleurfilters kunnen in het instrument worden geplaatst, om te kunnen meten in verschillende golflengtebanden (tabel 1), en met behulp van neutraalfilters kan het meetbereik zonodig nog worden uitgebreid.

TABEL 1

Keuze van de kleurfilters om in combinatie met een seleencil voldoende goed de opgegeven golflengtes te benaderen		
filter	max. golflengte	50% doorlaat van top
29	630	618 - 666
73	570	562 - 588
99	550	532 - 568
60	520	488 - 558
45	480	450 - 515
2 x 45	480	457 - 507
34A + 98	440	422 - 454

Op de stations A en M stonden slechts de filters 29 (rood), 60 (groen) en 45 (blauw) ter beschikking, op station K ook de andere. Getracht is nog om vooral in het violette deel van het spectrum enige verschilmetingen te doen met diverse filters, doch deze opzet is mislukt.

d. Verstrooiingsmeter. Hiermede wordt de fraktie gemeten die door een watermonster wordt verstrooid onder een hoek van 90° met de invallende bundel. De Turner-fluorimeter is hiertoe gebruikt, op station M voorzien van een experimentele kuvet met rechthoekige dwarsdoorsnede, op station K voorzien van een beter exemplaar, dat gekocht was. Pogingen zijn gedaan op station M om verstrooiingsmetingen te doen aan monsters genomen van de oppervlakte tot bij de bodem. Metingen zijn gedaan aan het oppervlaktewater onderweg van station K, door het Kanaal, naar Rotterdam. Voor deze beide series metingen lijkt het nog te vroeg om resultaten te publiceren. De samenhangen zijn vaak nog niet duidelijk, en bovendien ontbreekt elk vergelijkingsmateriaal.

De vervaardiging van een betere verstrooiingsmeter staat reeds lang op het programma van het KNMI. Bij gebrek aan beter is de Turner-meter hiervoor nu gebruikt, in navolging van Stephens, die deze voor kustwateren gebruikte (13).

3. Temperatuur en saliniteit.

Waarnemingen van temperatuur en saliniteit zijn verricht vanaf de oppervlakte tot bij de bodem, waarbij voor het hier beschreven werk alleen die tot op maximaal enige honderden meters diepte interessant zijn. Gemiddeld werden de volgende waarden aangetroffen (tabel 2):

TABEL 2

Temperatuur en saliniteit van het zeewater tijdens de hier beschouwde stationsperioden				
station	saliniteit tot 100 resp. 250 m diep	temperatuur		
		oppervlakte	100 m	250 m
A	35.20	8.2	6.9	
M	35.05	11.8	6.5	
K	35.65	11.8	11.7	11.6

Een thermocline werd, zij het zwak, slechts op station M aangetroffen, op omstreeks 50 m diepte. Duidelijk is aan de hand van het verschil in saliniteit te zien, dat K het station is met de meest uitgesproken oceanische eigenschappen, d.w.z. van de drie genoemde stations benadert de situatie hier, die in de centrale Noord-Atlantische Oceaan het dichtst. Voor M vooral ligt deze zaak anders. Verderop zal blijken dat de optische eigenschappen van het water ter plaatse hierbij nauw aansluiten.

4. Zichtdiepte.

Op ieder station is enige malen de helderheid van het water ter plaatse gemeten met een secchischijf, steeds aan de schaduwkant van het schip, en meestal omstreeks het middaguur. In tabel 3 zijn relevante waarnemingen vermeld:

TABEL 3

Secchischijf- en kleurwaarnemingen op weerschipsstations (witte schijf, $\phi=30$ cm)						
station	datum	secchidiepte (m)	Forelkleur	bewolkingsgraad in achtsten	toestand v.d. zee (ICES-code)	opm.
A (1967)	25-6	10	5-10% geel	8	3-4	zwarte schijf 3½ m
	27-6	10	10% geel	6	3	
	29-6	10	5-10% geel	8	3	
	30-6	10	10% geel	6-7	3	
	4-7	8	10% geel	8	0	
M (1968)	2-9	10	20% geel	7	3	
	4-9	11	20% geel	8	3	
	20-9	10	15-20% geel	5	4	
K (1970)	16-3	>18	2% geel	2	3	17 u GMT
	21-3	20	-----	1	1	

Deze fragmentarische waarnemingen laten duidelijk zien, dat op de stations A en M het oppervlaktewater niet erg helder is, dat daarentegen op station K veel helderder water werd aangetroffen. Nu mag men hieraan geen al te grote waarde hechten, daar gebleken is, dat het waarnemen met de secchischijf van het vrij hoge dek van de Cumulus onnauwkeurig is.

De secchidiepten gemeten op station M zijn in overeenstemming met in de eerste helft van juni 1967 gemeten waarden (14), terwijl bij K tijdens de Navado-tochten 1964-1965 een nogal sterke regionale variatie van de secchidiepte is geconstateerd (3, 15), waarin de gemeten waarden zeker passen. De waargenomen kleuren zijn op de stations A en K goed in overeenstemming met het overzichtskaartje dat Schott (12) hierover geeft, op M vinden wij echter minder blauw water dan dat overzicht vermeldt. Voor de stations A en K vinden wij in (9) een summier overzicht van een verticale verzwakingscoëfficiënt " K_d ". Omgerekend met $K_d = 1.25$ (18) levert dit 9-13,5 m zichtdiepte bij station A en 18 m bij station K. Wordt voor de evenredigheidsconstante in plaats van 1.25 de klassieke waarde 1.7 genomen, volgens Poole & Atkins, dan komt men voor de zichtdiepte hoger uit.

De combinatie van secchidiepte en forelkleur sluit slecht aan bij een empirische relatie tussen deze twee grootheden voor de Noord-Atlantische Oceaan (15), onze zichtdiepten zouden dan allemaal aan de lage kant zijn. Expres wordt hier bij deze simpele zichtdiepte en kleurbepalingen uitvoerig stilgestaan bij bekende literatuurwaarden; in het verdere verloop zal dit steeds minder mogelijk zijn. Meer of betere meetgegevens over het lichtregime in de Noord-Atlantische Oceaan bestaan er nauwelijks, voor zover bekend. Enige bundelverzwakkingsmetingen zullen verderop genoemd worden.

5. Bundelverzwakkingsmetingen.

Metingen met de bundelverzwakkingsmeter vertonen de moeilijkheid dat het instrument in kwestie nog niet naar behoren te ijken is. Daar de bundelverzwakkingscoëfficiënt van water (bestaande uit de som van absorptie- en verstrooiingscoëfficiënt) zeer gevoelig is voor zowel opgeloste stoffen als zwevende stoffen in het water, zou ijking moeten geschieden in zeer zuiver water, in een volkomen schoon reservoir (van tenminste 300 liter). Bovendien zou het apparaat zelf ook volkomen schoon moeten zijn. Tot heden is er geen mogelijkheid in Nederland gevonden om deze ijking uit te voeren. Een ijking in schoon leidingwater bij de watertoren in Bilthoven is op niets uitgelopen, omdat dit water ook onbruikbaar bleek te zijn. Dit behoeft niet zo zeer te verbazen, want Kalle (8) vond dat de verzwakking van het licht over het gehele spectrum toeneemt in de volgorde:

gedestilleerd water
Noordatlantisch water
Oostzeewater
Hamburgs leidingwater
Elbe-water
moeraswater

Er is weinig reden om te veronderstellen dat het leidingwater van Midden-Nederland aanzienlijk beter van kwaliteit zou zijn dan dat van Hamburg.

De beste manier is voorlopig om de aanwijzing van het instrument in lucht als maatstaf te nemen, waarbij dan dus te bedenken is, dat bij de gevonden verzwakkingscoëfficiënt nog een additieve constante komt, die bovendien afhankelijk kan zijn van de golflengte van het beschouwde licht. Aangezien in lucht en in water de geometrie van de lichtbundel niet dezelfde is, (brekingsindex van het medium is anders, en dus ook de reflecties aan de glasoppervlakken) kan het gebeuren dat bij blauw licht in helder water meer licht op de cel wordt ontvangen dan in lucht, resulterend in een negatieve relatieve bundelverzwakkingscoëfficiënt. Worden slechts relatieve metingen beoogd, dan levert dit geen bezwaar op.

Op de stations A en M, waar slechts tot ongeveer 80 m diepte de bundelverzwakking kon worden gemeten, werd een aanzienlijke verticale gradiënt aangetroffen, zowel voor rood als voor blauw licht. Over een viertal dagen verspreid werden op station A in totaal zeven vertikaalmetingen gedaan. De resultaten ervan waren wel onderling vergelijkbaar, doch geven ook variaties te zien met een soms ongedacht hoge frekwentie. Als voorbeeld van dit laatste mogen een drietal metingen dienen die op 14 juli 1967 zijn genomen met slechts enige uren tussenruimte (fig. 1). Hierin zijn c_{blauw} en c_{rood} , ieder uitgedrukt in m^{-1} en gebaseerd op natuurlijke logaritmen, tegen elkaar uitgezet. Om deze variabiliteit te ontgaan zijn in fig. 2a de gemiddelde krommen gegeven voor de stations A en M van c_{blauw} en c_{rood} , ieder voor elke diepte rekenkundige gemiddeld, terwijl de metingen van station K zijn weergegeven door een omsluitende rechthoek. Om een indruk te krijgen van de mogelijke grootte van de variabiliteit is op station M de bundelverzwakkingsmeter gedurende 15 uur op 25 m diepte gehangen, en het kleurfilter daarbij elk half uur

gewisseld. De gemeten combinaties c_{rood} , c_{blauw} zijn alle vervat in het aangegeven gebied van de figuur.

Afgezien van de absolute ijking en van eventuele meeton nauwkeurigheden en van storende invloeden dichtbij de oppervlakte, blijkt wel dat het verband c_{rood} , c_{blauw} voor alle gevonden watermassa's min of meer gelijk is en benaderd wordt door:

$$c_{\text{blauw}} = 1.3 \times c_{\text{rood}} + \text{konstante}$$

De additieve konstante is een maat voor de hoeveelheid blauw absorberend materiaal ("yellow substance") die hier, wegens het relatieve karakter van de metingen, echter niet tot zijn recht komt. De evenredigheidscoëfficiënt is lager dan welke als regel in de Noordzee wordt gevonden, t.w. 1.5 - 1.7. Nog hogere waarden worden volgens de literatuur in de Oostzee gevonden.

De stations A en M lijken nauw verwant te zijn wat betreft bundelverzwakking in de bovenste waterlaag. Ook de presentatie van de gemiddelde waarden van c als functie van de diepte z in fig. 2b doet dit duidelijk uitkomen. Nu blijkt ook dat het vermoeden gerechtvaardigd is dat c_{rood} en c_{blauw} voor diepten groter dan 100 m voor alle drie de stations ongeveer gelijk zijn, met als gemiddelde waarden $c_{\text{rood}} = 0.16$ en $c_{\text{blauw}} = -0.20 \text{ m}^{-1}$. Getallen die Jerlov geeft in zijn boek (6) op pag. 58 en 59 duiden erop, dat voor de Noord-Atlantische Oceaan gemiddeld gerekend mag worden met ongeveer de volgende waarden voor het verschil van de bundelverzwakkingscoëfficiënt met die van "zuiver" water (c_w):

$$(c - c_w)_{\text{rood}} = 0.07 \quad \text{en} \quad (c - c_w)_{\text{blauw}} = 0.12 \text{ m}^{-1}.$$

Meetresultaten die hij geeft stammen over het algemeen uit meer zuidelijke streken (Sargasso Zee, Caribische Zee, Romanche diep, continentale helling van Noord-Amerika, Bermuda). We nemen verder voor c_w de waarden volgens Hullburt (4), te weten 0.29 voor rood en 0.04 voor blauw licht. Dan mogen we volgens Jerlov rekenen met $c_{w,\text{rood}} = 0.36$ en $c_{w,\text{blauw}} = 0.16 \text{ m}^{-1}$. Hiervan uitgaande kunnen we de voor ons instrument benodigde additieve waarden schatten op + 0.20 voor rood en + 0.36 voor blauw licht. Uiteraard is dit alles slechts een benadering.

Op station M is er enig kwalitatief verband tussen de temperatuur en de bundelverzwakkingscoëfficiënten, zoals blijkt uit fig. 3. Eenduidig is dit verband echter niet, dat is ook niet te verwachten.

Van de Irminger Zee, waar station A in ligt, zijn uitvoerige oppervlakte waarnemingen gepubliceerd van de bundelverzwakkingscoëfficiënt door Joseph in 1955 (7) die echter geen aanknopingspunten geven voor het hier beschreven werk.

6. Bestralingsdichtheidsmetingen.

Meting van de fraktie daglicht van een zeker golflengtegebied die doordringt tot een bepaalde diepte in zee als functie van die diepte geeft de mogelijkheid om tussen twee metingen op verschillende diepte de grootte van de zgn. vertikale verzwakkingscoëfficiënt K_d te bepalen over dat diepte-interval, volgens

$$K_d = \frac{1}{\Delta z} \ln \frac{E_d(z)}{E_d(z + \Delta z)} \quad (\text{m}^{-1})$$

Bij metingen in de praktijk is de bestralingsdichtheid E_d af te lezen van de meter of schrijver aan boord van het schip. Wel moeten een aantal punten hierbij de aandacht krijgen:

- men meet alleen bij bedekte lucht of bij zonnig weer, maar liefst niet bij een sterk wisselende bewolking;
- men meet aan de zonzijde van het schip;
- golflslag mag niet te sterk zijn voor de vrij licht-gebouwde instrumenten;
- meet steeds de daglichthoeveelheid aan dek om evt. te kunnen korrigeren voor kleine fluktuaties hierin.

De invloed van golven uit zich op twee manieren: een variatie in de "diepte" waarop de meter zich bevindt, hiervoor kan soms enigszins worden gecorrigeerd; en een variatie in de bestralingsdichtheid onder water door de lenswerking van de golven. Het verstandigste is om enige tijd een registratie te maken en daarna grafisch te middelen om E_d te krijgen.

Zowel als gevolg van golven als ook van scheepbewegingen is de diepte waarop de meter zich in het water bevindt niet nauwkeuriger aan te geven dan ongeveer $\pm 0,5 \text{ m}$ à $1,0 \text{ m}$. Hieruit zouden uiteraard ernstige fouten kunnen ontstaan bij de bepaling van K_d , daar Δz dan behept is met $\sqrt{2}$ maal deze fout. In de praktijk is deze foutenbron enigszins te verminderen door steeds gebruik te maken van drie meetpunten, en aldus een "glijdend gemiddelde" voor K_d te nemen.

Aangezien de aldus gevonden waarde van K_d soms nog een aanzienlijke variatie met de diepte kan vertonen, zijn de gemiddelde waarden voor de stations vermeld in tabel 4. Wordt er van uitgegaan dat de bestralingsdichtheid gemeten kan worden met een nauwkeurigheid van $\pm 10\%$ en dat de diepte meetbaar is $\pm 0,5 \text{ m}$, dan zou K_d bij $\Delta z = 5 \text{ m}$ nauwkeurig zijn op 5% . Daar echter hier gemiddelde waarden zijn gegeven over diverse meetreeksen en over een totaal diepteinterval van oppervlak tot ca. 10 tot 15 meter (voor rood licht) en tot max. 100 meter (voor blauw licht) wordt de nauwkeurigheid geringer. De standaardafwijking in K_d bedraagt daardoor 10% of soms zelfs meer.

Ter vergelijking moge dienen dat Clarke en James (2) in een klassieke studie van een aantal stations op de Noord-Atlantische Oceaan voor de waarde van K_d (m^{-1}) voor groen licht de volgende waarden vonden:

Sargasso-zee	0.056 - 0.040
continentale helling	0.062 - 0.061
continentaal plat	0.13 - 0.12
dichtbij Amerikaanse kust	0.125 - 0.25

De gevonden waarden van K_d inpassend in de indeling die Jerlov (6) gemaakt heeft voor optische watertypen, vinden wij (fig. 4) dat op deze stations de volgende typen aangetroffen zijn:

station A	oceanwater type II à III
station M	kustwater type 2
station K	oceanwater type IB à II

Dit houdt in (zie (6)), dat de grens waar 1% van het daglicht nog doordringt ligt op een diepte van resp. circa 40, 25 en 60 meter. Deze grens wordt veelal aangenomen als de ondergrens van de eufotische zône.

Resultaten die Jerlov en Nygård in augustus/september 1959 (5) gevonden hebben in het zeegebied voor Noord-Afrika en Portugal, zouden ter plaatse van station K helderder water doen vermoeden dan wij hier hebben aangetroffen, zij het dat hun metingen zich niet tot zover hebben uitgestrekt. Het is niet uitgesloten dat seizoensinvloed hiervan de oorzaak is, al moet ook het grote tijdsverschil tussen beide meetkampagnes en de reeds genoemde mogelijk grote variatie met de positie ter plaatse niet uit het oog worden verloren.

Vermeldenswaard zijn nog enige waarnemingen van Boden, Kampa en Snodgrass (1), in 1960 verricht op een positie die ca 100 km oostelijker ligt dan station K. Hun uitkomsten voor K_d zijn evenals de onze hoger dan de waarden van Jerlov en Nygård.

Gedacht zou worden, volgens de literatuur, dat een duidelijk onderscheid zou worden gevonden in de waarden van K_d bij bedekte lucht en bij diverse zonshoogten bij heldere lucht. Dit onderscheid is er bij onze metingen niet duidelijk uitgekomen: bij station K zijn bij heldere lucht iets grotere waarden van K_d gemeten dan bij bedekte lucht, op station A is de situatie juist andersom, terwijl op M alleen bij bedekte lucht is gemeten. De verschillen zijn trouwens van dien aard, dat het voor het type water volgens fig. 4 geen verschil maakt. Enige karakteristieke profielen van K_d vs. diepte z zijn als voorbeeld weergegeven in fig. 5 (zie de toelichting bij deze figuur).

TABEL 4

Gemiddelde verticale verzwakkingscoëfficiënten K_d (m^{-1}) gemeten op de stations A, M en K.								
station	periode	diepte-interval tussen oppervl. en	golflengte(zie tabel 1) (nm)					
			630	570	550	520	480	440
A	juli '67	rood: 15 m, blauw: 50 m	0.35			.091	.083	
M	sept. '68	rood: 10 m, blauw: 50 m	0.45			.13	.14	
K	mrt. '70	rood: 15 m oplopend tot blauw 100 m	0.31	0.11	0.090	.060	.048	.058

TABEL 5

Gemiddelde absorptiecoëfficiënt a (m^{-1}) van het zeewater, gemeten op de stations A en M.					
station	periode	diepte-interval tussen oppervl. en	golflengte (zie tabel 1) (nm)		
			630	520	480
A	juli '67	rood: 10 m; groen en blauw: 50 m	0.312	0.056	0.065
M	sept. '68	rood: 8 m; groen en blauw: 25 m	.428	.126	.133

Een aantal malen is de opwaartse bestralingsdichtheid gemeten, te weten het uit het water omhoogkomende licht ten gevolge van meervoudige verstrooiing. Noemen wij deze bestralingsdichtheid E_u , dan is een zgn. diffuse reflectie R te definiëren volgens

$$R = \frac{E_u}{E_d}$$

Uit een aantal waarnemingen die hierover gedaan zijn op de stations A en M zijn de resultaten weergegeven in fig. 6. Duidelijk blijkt hieruit dat voor rood licht R veel kleiner is dan voor groen en blauw licht. Voor deze laatste twee kleuren blijkt bovendien de reflectie op station A met helderder water aanzienlijk groter te zijn dan op station M, waar minder helder water werd aangetroffen. Het verloop van R met de diepte op A doet bovendien vermoeden dat er verband bestaat met K_d . Enige steun hiervoor is te vinden in de literatuur (6), maar zowel daar als hier in deze waarnemingen is het materiaal te gering en niet voldoende homogeen om er kwantitatieve betrekkingen uit te kunnen berekenen. Het is jammer dat op station K de tijd met gunstige meteorologische omstandigheden te kort is geweest om ook enige meetseries te doen voor zowel E_d als E_u .

7. Schatting van absorptiecoëfficiënten.

Omdat met de bundelverzwakkingsmeter de som van absorptie en verstrooiing kan worden bepaald (en dan nog slechts in relatieve maat) en met de bestralingsdichtheidmeter absorptie plus de achterwaartse verstrooiing, is uitgezien naar een methode om althans over één van beide, absorptie of verstrooiing, nog iets naders te bepalen. Elegant, maar indirect, is een methode die voorzover bekend het eerste is aangegeven door Preisendorfer (11) en waarover later meer fysische details zijn gepubliceerd o.a. door Pelevin (10). Het principe is dat men behalve de zgn. vektorieële bestralingsdichtheden E_d en E_u , te meten met de vlakke kollektor, ook de zgn. skalare bestralingsdichtheid E_o meet met een bolvormige kollektor. Dan is de ware absorptiecoëfficiënt a te bepalen uit:

$$a(z) = \frac{1}{E_o(z)} \times \frac{1}{2\Delta z} \{ (E_d - E_u)_{z-\Delta z} - (E_d - E_u)_{z+\Delta z} \}$$

De enige veronderstelling die hierbij gemaakt wordt, is dat het lichtveld in zee (slechts) een verticale gradient bezit, en bronnenvrij is.

Op de stations A en M zijn een aantal metingen aan E_0 gedaan met het doel de absorptiecoëfficiënt te bepalen. Gebruik werd daarbij gemaakt van een glazen bolvormige kollektor, die niet de gehele ruimte "ziet", maar ter plaatse van de fotocel onderbroken is. Dit "gat" is klein genoeg t.o.v. de afmetingen van de bol, om geen grote storende invloed te hebben, mits het omlaag is gericht.

Uit een voldoende aantal goede stellen metingen van E_d , E_u en E_0 zouden dus zowel K_d als a te bepalen zijn, waarvan het verschil de achterwaartse verstrooiing is. Deze laatste grootheid is in zeewater vrij oninteressant, en lang niet zo typerend voor de watersoort als de voorwaartse lichtverstrooiing. Immers de grote verschillen in de verstrooiing tussen de diverse watersoorten zitten in de voorwaartse verstrooiing, zoals is aangetoond door experimenten van vele onderzoekers (5). Daar bovendien de uitkomsten van K_d en a hier onderling afhankelijk zijn, is er hier van afgezien om K_d en a beide uitvoerig te presenteren als diepte-afhankelijke grootheden. In fig. 5 zijn enige voorbeelden gegeven die een indruk geven van de variaties die kunnen optreden. Slechts in een enkel geval werd niet voldaan aan de (noodzakelijke) betrekking $K_d > a$, hetgeen geweten wordt aan waarnemingsonnauwkeurigheden. Gemiddelde waarden van de absorptiecoëfficiënt zijn vermeld in tabel 5.

In fig. 7 zijn de gemiddelde waarden voor de absorptiecoëfficiënt als functie van de golflengte van het licht weergegeven, tezamen met de krommen voor de absorptiecoëfficiënt voor zuiver water volgens Hulburt en volgens James en Birge (zie (2)). Om ieder gevonden punt is tevens het onzekerheidsgebied weergegeven, bestaande uit langs de abscis de grenzen volgens tabel 1 en langs de ordinaat de standaardafwijking van de metingen. Hierbij zijn ter vergelijking ook de waarden ingetekend die Clarke en James bij hun eerder geciteerd onderzoek hebben gevonden (zie ook de getallen vermeld in de vorige paragraaf 6), al zijn deze waarschijnlijk iets te hoog, aangezien zij voor zover kan worden nagegaan, berekend zijn als $a = K_d$ in plaats van $a = K_d - b_b$, waarin b_b de achterwaartse verstrooiing is.

LITERATUUR

1. B.P. Boden et al., 1960
Underwater daylight measurements in the Bay of Biscay. J.Mar.biol. Ass.U.K. 39, 227-238
2. G.L. Clarke & H.R. James, 1939
Laboratory analysis of the selective absorption of light by sea water. J.Opt.Soc.Amer. 29, 43-55
3. R.R. Dickson, 1969
On the relationship between ocean transparency and the depth of sonic scattering layers in the North Atlantic. ICES, C.M. 1969/C:7
4. E.O. Hulburt, 1945
Optics of distilled and natural water. JOSA 35, 698-705
5. N.G. Jerlov, 1961
Optical measurements in the eastern North Atlantic. Medd.Oceanogr.Inst. Göteborg 30
6. N.G. Jerlov, 1968
Optical oceanography, Elsevier - Amsterdam
7. J. Joseph, 1955
Extinction measurements to indicate distribution and transport of water-masses. Proceedings of the Unesco Symposium on Physical Oceanography, Tokyo
8. K. Kalle, 1960
What do we know about the "Gelbstoff". Symposium on radiant energy in the sea, Helsinki
9. Landolt-Börnstein, 1952
Zahlenwerte und Funktionen, III. Band, Astronomie und Geophysik. Artikel Joseph: "Meeresoptik"
10. V.N. Pelevin, 1965
Measurement of the true absorption coefficient of light in the sea. Atmospheric and Oceanic Physics, 1, 315-318
11. R.W. Preisendorfer, 1961
Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea. Symposium on radiant energy in the sea, Helsinki 1960
12. G. Schott, 1944
Geographie des Atlantischen Ozeans, 3. Auflage, Hamburg
13. K. Stephens, 1967
Continuous measurement of turbidity. Deep Sea Res. 14, 465-467

14. H. Vilhjalmsson & U. Stefánsson, 1967 I.C.E.S. Annales Biologiques 24, 206-214
15. M.P. Visser, 1967 "Secchi disc and colour observations in the North Atlantic Ocean during the Navado III cruise, 1964-1965". Neth.J.Sea Res. 3, 553-563
16. M.P. Visser, 1968 Some optical measurements at ocean weather station A. I.C.E.S. Annales Biologiques 24, 70-71
17. M.P. Visser, 1969 Some optical measurements at ocean weather station M. I.C.E.S. Annales Biologiques 25, 94-96
18. M.P. Visser, 1970 The turbidity of the southern North Sea. Deutsch.Hydr.Zeitschr. 23, 97-117

Optisch-oceanografisch werk in de jaren 1967, 1968 en 1970
verricht op de Noord-Atlantische Oceaan
(weerschipsstations A, M en K).

Samenvatting.

Op elk der weerschipsstations A, M en K is tijdens één verblijfsperiode van een weerschip een aantal optisch-oceanografische metingen verricht. Meting van de bundelverzwakking geeft op station K tot 300 meter diepte vrijwel homogeen water te zien, op de andere stations van oppervlak tot 80 meter diepte een sterke vermindering van de bundelverzwakkingscoëfficiënt voor rood en blauw licht.

Secchi-schijf-waarnemingen duiden er reeds op dat de helderheid van het oppervlaktewater voor de stations M, A en K in deze volgorde toeneemt. Dit wordt bevestigd door metingen van de bestralingsdichtheid in meerdere golflengtebanden, waaruit blijkt dat de watersoorten op deze stations resp. overeenkomen met de typen 2, II à III en IB à II volgens Jerlov's optische klassifikatie van zeewater. Op de stations A en M is het mogelijk gebleken om uit combinatie van skalair en vektorieel bestralingsdichtheid de absorptie van het water in situ te bepalen.

Optical oceanographic investigations on the North Atlantic Ocean
in the years 1967, 1968 and 1970
on the weathershipstations A, M and K.

Summary.

Some optical oceanographic investigations were made during one station period at each of the weathershipstations A, M and K. On station K, measurement of beam attenuation shows a nearly homogeneous water layer till 300 m depth. The other stations, however, show a strong decrease of beam attenuation coefficient from surface to 80 m depth for red and for blue light. Transparency of the surface water is poorest for station M and highest for station K as is indicated already by secchi-disc observations. Irradiance measurements in several wave length bands support this, showing the optical water type of the stations M, A en K to correspond to Jerlov's type 2, II to III and IB to II respectively. On stations A and M it was found possible to determine the absorption coefficient from measurements of irradiance with both a flat and a spherical collector.

Toelichting bij de figuren.

1. Bundelverzwakkingsmetingen in rood en blauw licht op station A, enige uren na elkaar verricht. c_{rood} en c_{blauw} bevatten elk een onbekende additieve konstante.
2. Gemiddelde waarden voor de gevonden bundelverzwakkingscoëfficiënt op de stations A, M en K. c_{rood} en c_{blauw} bevatten elk een onbekende additieve konstante.
 - a. c_{blauw} en c_{rood} tegen elkaar uitgezet, met ter vergelijking een lijn $c_b = 1.3 \times c_r + \text{konstante.}(- - -)$
 - b. $c_{\text{blauw}}(- - -)$ en $c_{\text{rood}}(\text{————})$ als functie van de diepte.
3. Bundelverzwakkingsmetingen in rood (————) en blauw (- - -) licht op twee dagen op station M, vergeleken met het bathythermogram van die dagen (-.-.-).
4. De gevonden gemiddelde waarden van K_d als functie van de golflengte van het licht voor de stations A (o), M (+) en K (x) vergeleken met Jerlov's optische klassifikatie van zeewatertypen.
5. Diepteafhankelijkheid van $K_d(x)$ en van de absorptiecoëfficiënt $a(o)$ op station A, juli 1967, voor groen licht bij druilerig weer en voor blauw licht bij 51° zonshoogte.
6. Diffuse reflektiecoëfficiënt R op station A, 1967 en op station M, 1968.
7. Gemeten waarde van de absorptiecoëfficiënt in zee op de stations A (x) en M (+) vergeleken met de gemeten waarden voor zuiver water volgens Hulburt (-.-.-.-) en volgens James & Birge (-x-x-). De meetpunten A, B en C verwijzen naar de gelijknamige stations van Clarke & James, resp. op het continentale plat en op de continentale helling van Amerika en in de Sargassozee.

C. blauw m⁻¹

.00 .10 .20 .30 .40

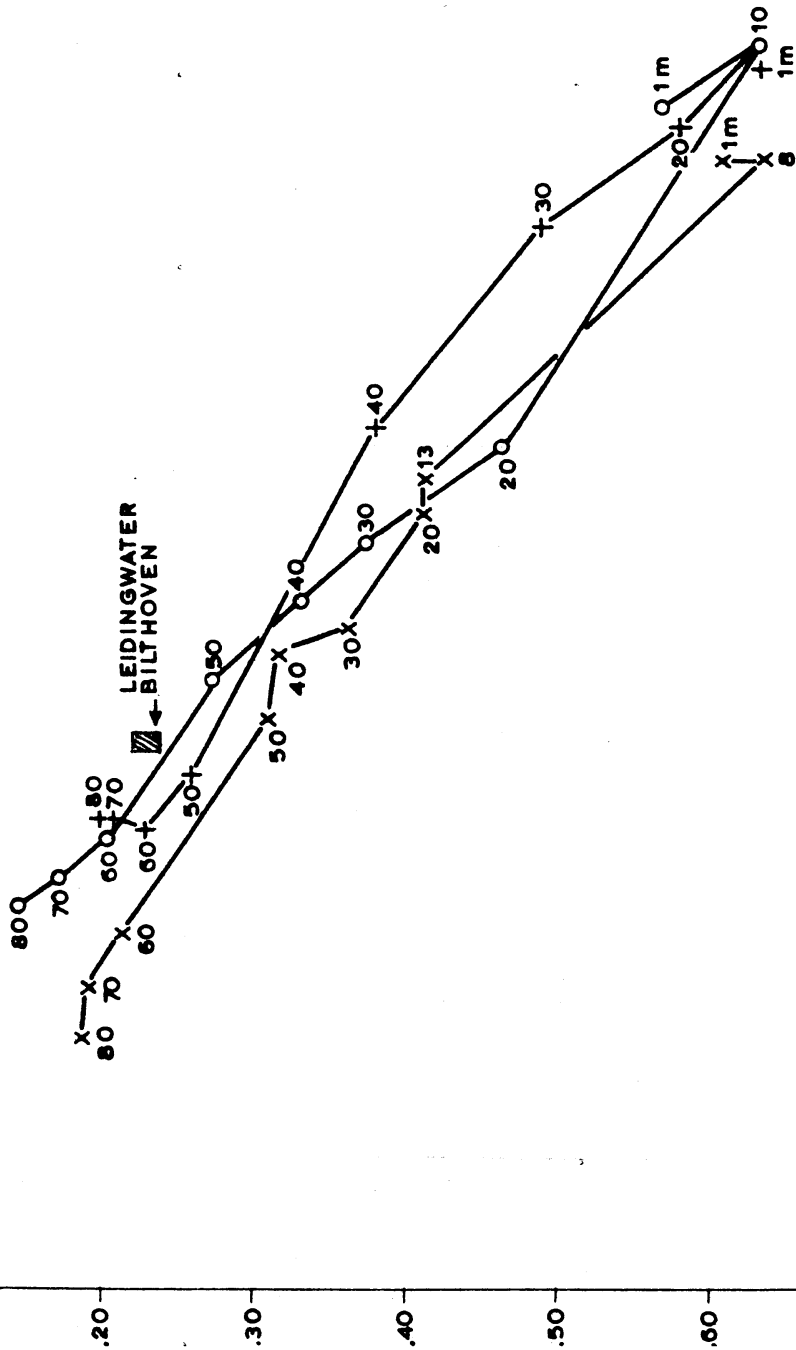
STATION A 14 JULI 1967 Fig.1

BUNDELVERZWAKKINGSMETING

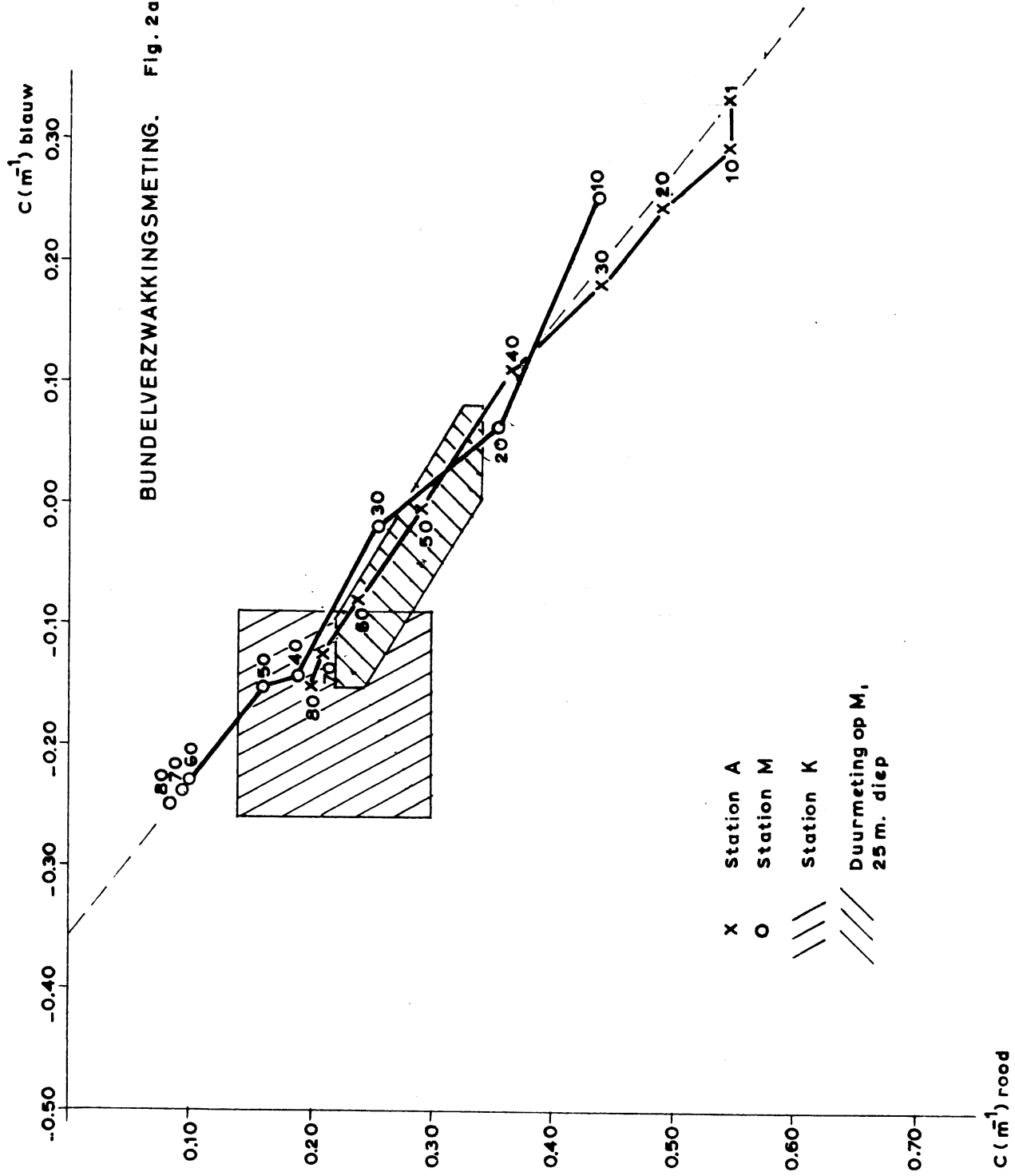
+ 09.30 uur

O 12.00 "

X 15.30 "

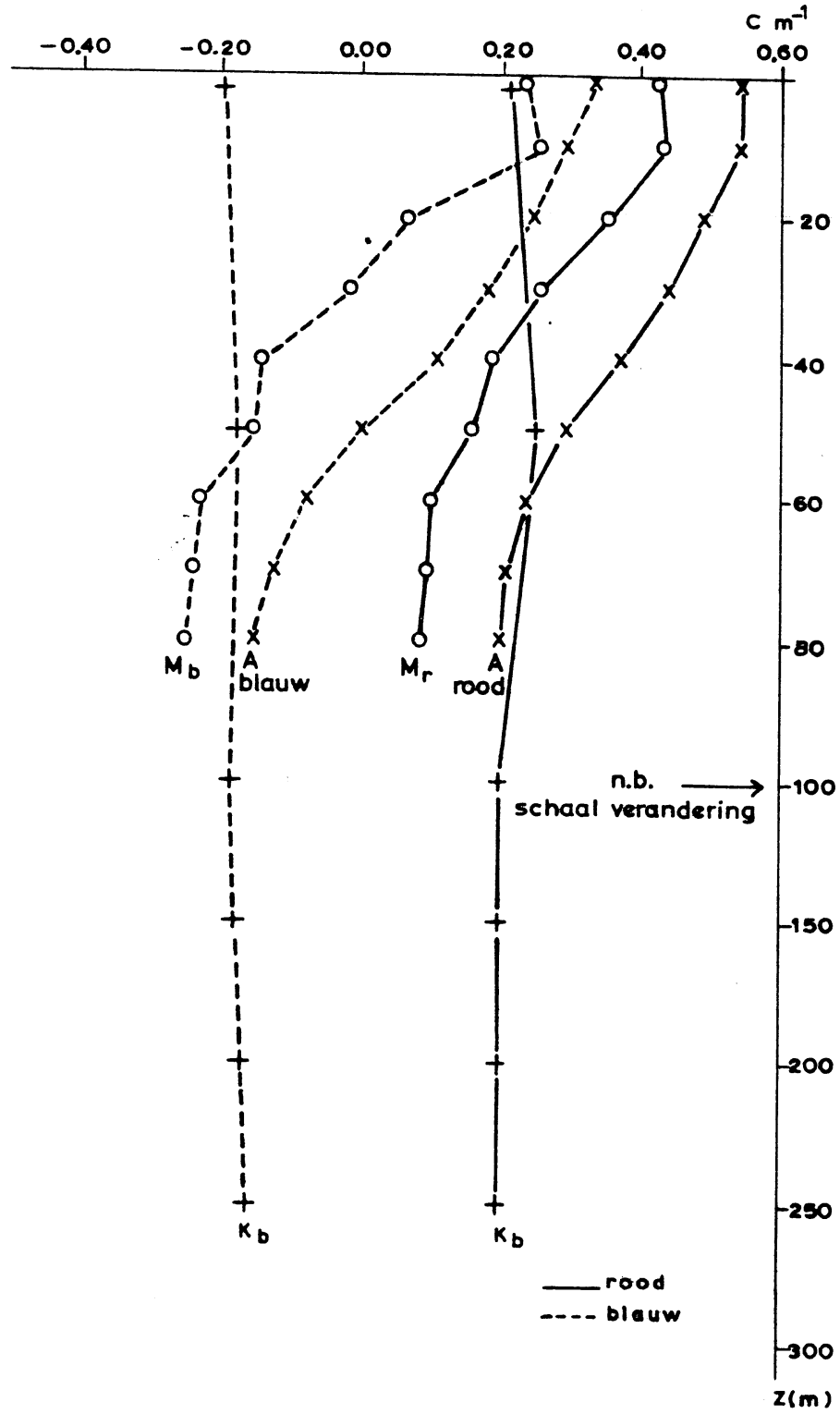


BUNDELVERZAKKINGSMETING. Fig. 2a



X Station A
 O Station M
 // Station K
 // Duurmeting op M,
 25 m. diep

Fig. 2b



BUNDELVERZWAKKINGSMETINGEN EN BATHYTHERMOGRAM OP STATION M

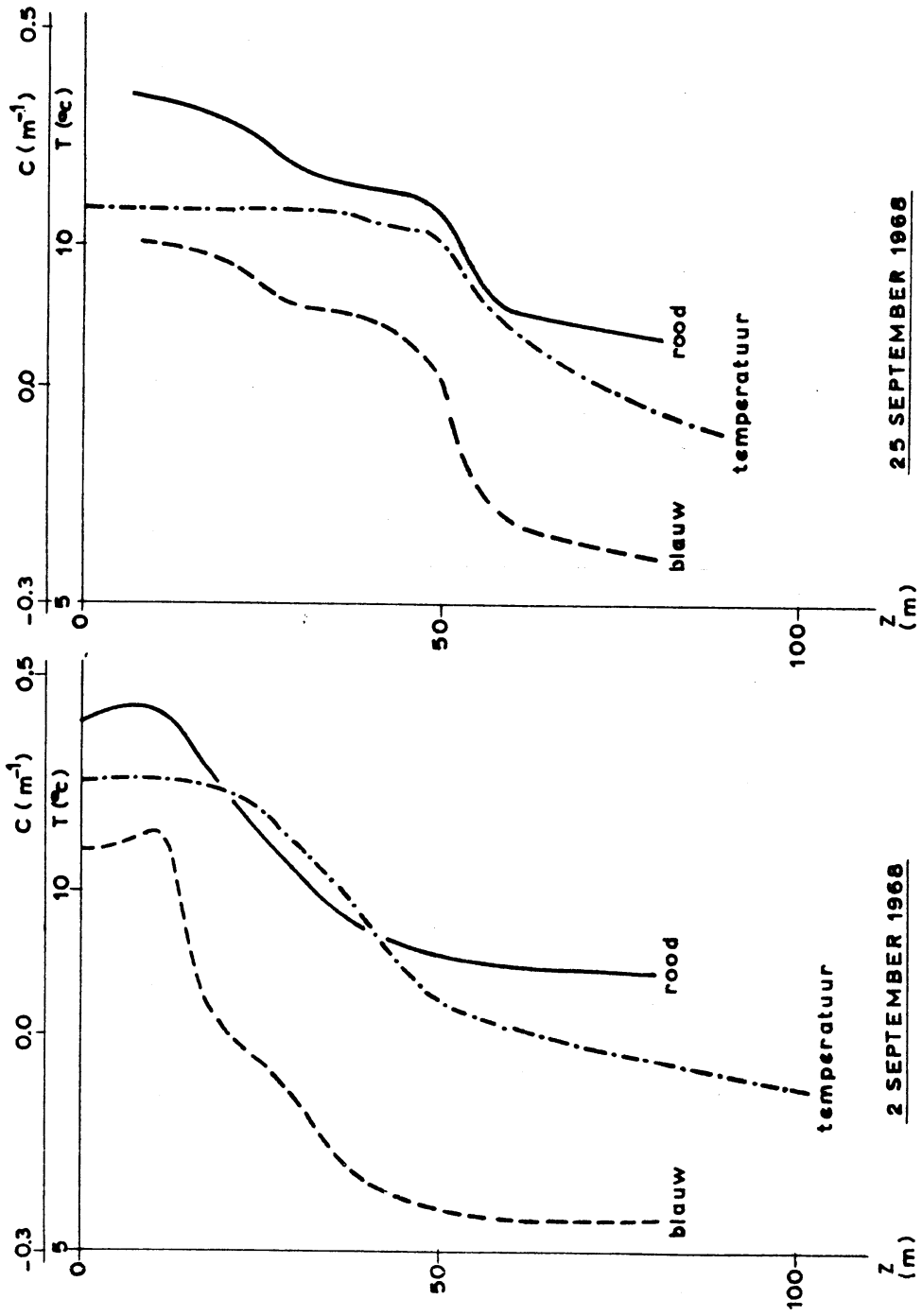


Fig. 3

$\kappa_d (\text{m}^{-1})$

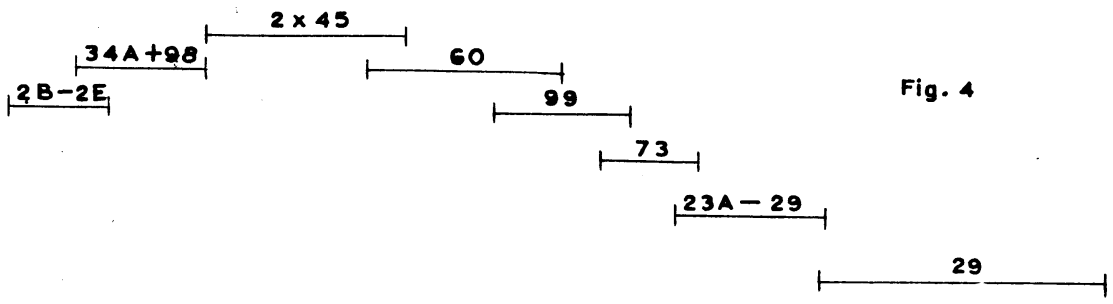
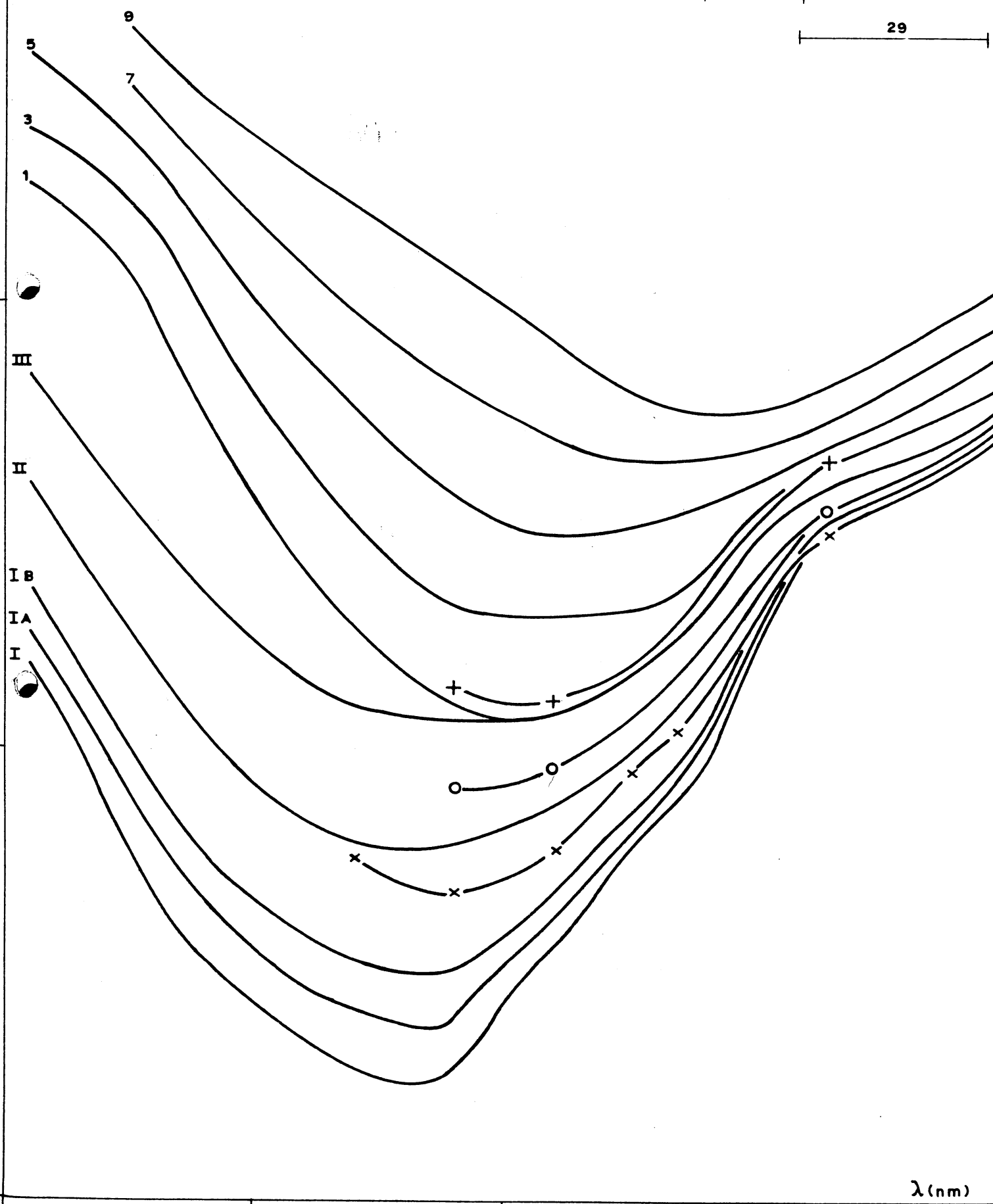
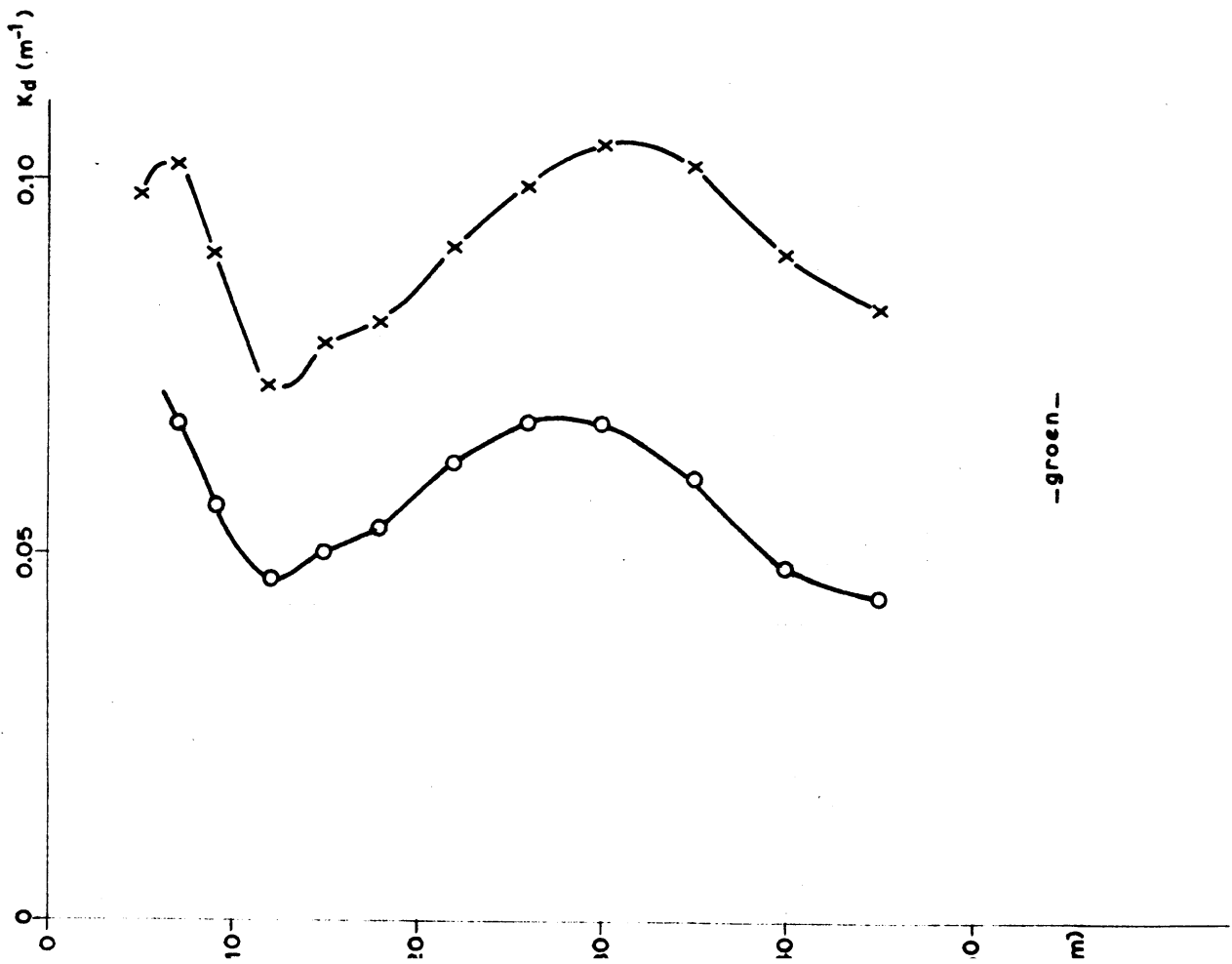
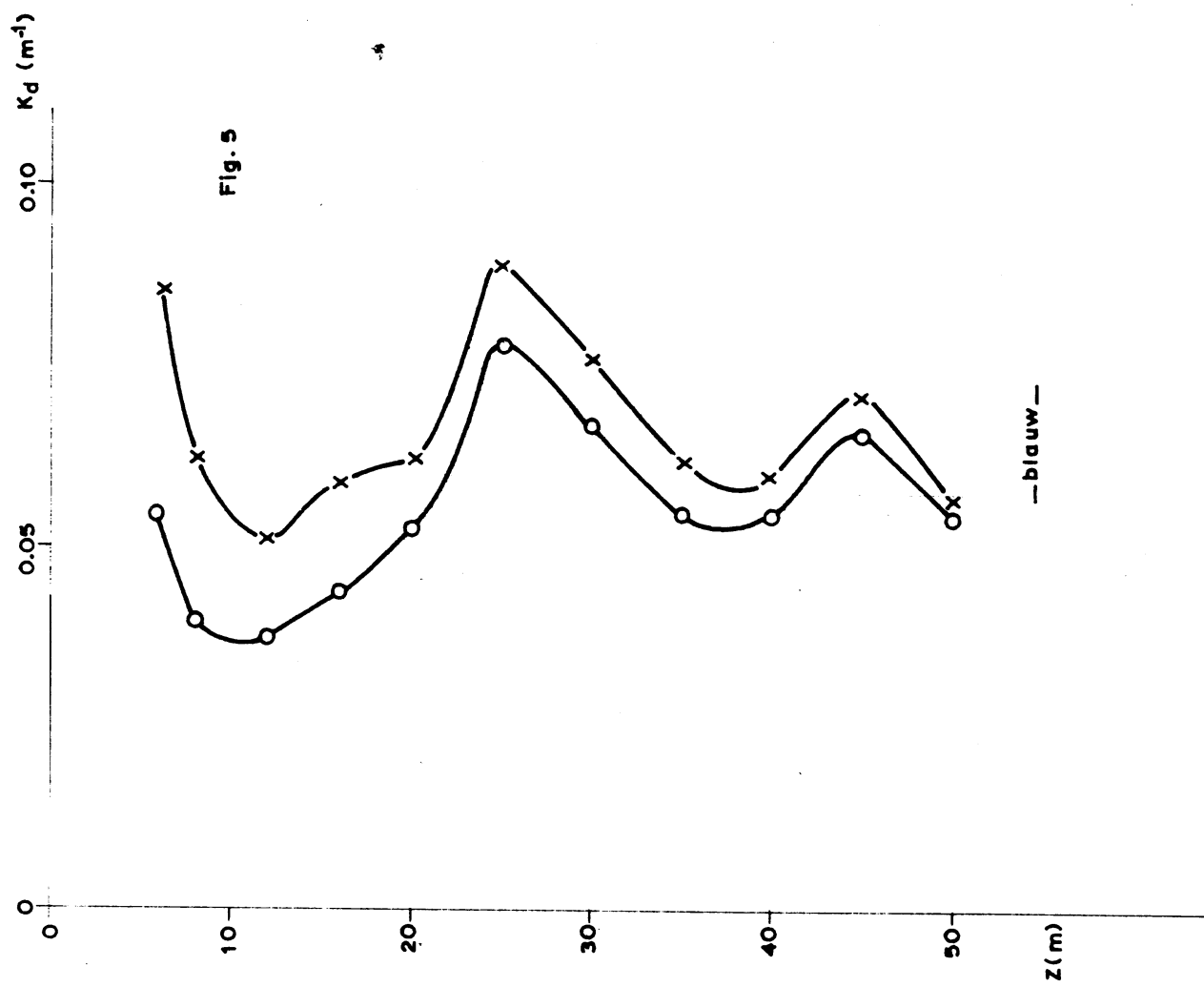


Fig. 4



$\lambda (\text{nm})$



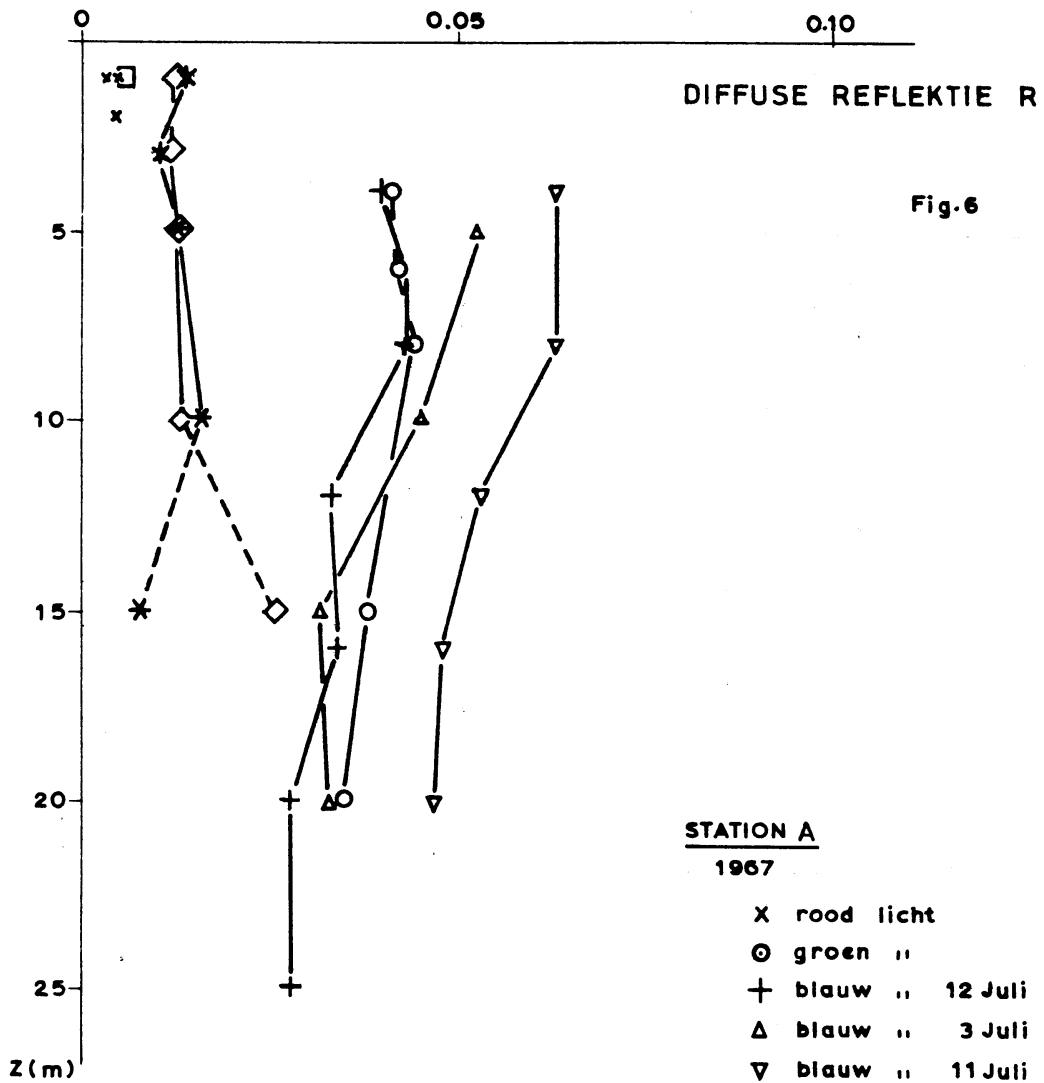


Fig.7

