



Redactie: Dr K. W. DAMMERMAN, Dr D. F. VAN SLOOTEN.

Vaste Medewerkers: Dr J. G. B. BEUMÉE, L. COOMANS DE RUITER, Prof. Dr H. C. DELSMAN, Prof. Dr W. M. DOCTERS VAN LEEUWEN. Dr Edw. JACOBSON, Dr S. LEEFMANS, J. C. VAN DER MEER MOHR Jr., J. OLIVIER

Adres der Redactie: Van Imhoffweg 10, Buitenzorg

§ § ABONNEMENTSPRIJS VOOR NIET-LEDEN DER N. I. N. H. V. f 8.50 § §

KORAALRIFFEN EN ZONLICHT

Stel U voor dat U met Uw schip vaart over een vlakke, vrijwel ongerimpelde, blauwe zee, met glashelder water. Dat aan de kim een boomgroepje opduikt, dat langzamerhand groter wordt en aangroeit tot een eiland. Een eiland omgeven door een strand van wit koraalzand, dat U van verre tegenblinkt. De bovenrand van dit strand wordt belijnd door een rij van slanke cocospalmen, aan de buitenzij wordt de witte zandstreep begrensd door een ondiepe plas met zandige bodem en lichtgroenig water, door een wal van kalkblokken en -brokken van de blauwe zee gescheiden. Het schip gaat voor anker en U bevindt U boven een koraalrif.

Is de eerste ontmoeting al om nooit te vergeten, welke indrukken ondergaat U wanneer U het schip verlaat, met Uw bootje naar ondiep water roeit en nu het rif lopend, zwemmend en duikend gaat bekijken! De weelde is onbeschrijflijk en imponeert leek en onderzoeker, kunstenaar en eenvoudige visser in gelijke mate. Bontgekleurde vissen dartelen als vlinders tussen en boven de trechters, bomen, zuilen, bollen of grillige silhouetten van kalk- en lederkoralen; helblauwe zeesterren, donkergroene zeelilies, paarse zeeanemonen van een halve meter in doorsnee vormen het opgelegde smaragdwerk van een kleed dat uit de stemmiger gekleurde koralen aaneengeweven is. Waar wij ons ook heendraaien, overal ontmoet ons oog deze zelfde verbluffende, overdreven weelde. We kunnen ons geluk niet op, trachten ons zat te kijken aan deze duizendvoudige schoonheid. Maar dagen en weken hebben we nodig voor dat het geheel ons niet meer bevangt, voor wij de analyse van dit moois aandurven.

Een koraalrif is een levensgemeenschap van zeldzame uniekheid, waarin de hoofdrol gespeeld wordt door de koraaldieren. Zij vormen kalkskeletten doordat ze — wanneer ik het zo eenvoudig mogelijk voorstel — de in het zeewater opgeloste koolzure kalk in onoplosbaar carbonaat kunnen omzetten. Doordat deze koraaldieren in zo groot aantal bij elkaar voorkomen, vormen hun skeletten banken van kalk, die van de zeebodem naar boven groeien, om tenslotte de wateroppervlakte te bereiken waar dan het koraaleiland ontstaat door werking van wind en stroom.

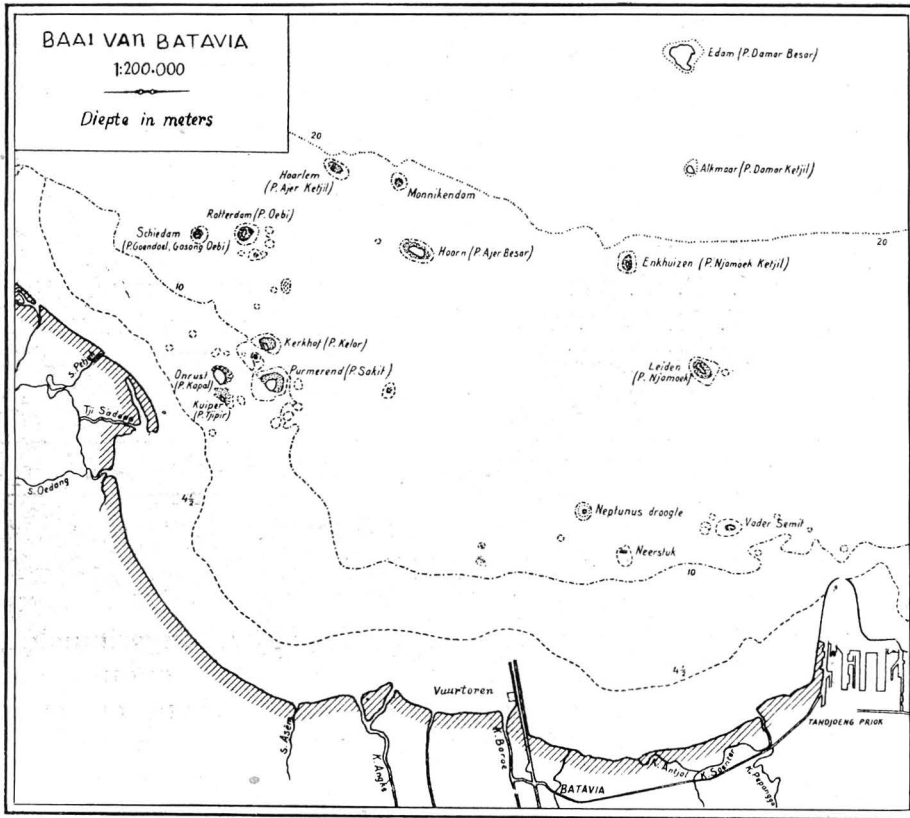


Fig. 1. Baai van Batavia.

Zodra een aantal soorten dezer koraaldieren bij elkaar zijn, zijn daarmee voor een groot aantal andere dieren gunstige levensvoorwaarden geschapen, welke zij hier, maar dan ook uitsluitend hier, op het rif vervuld vinden en terwijl het rif uit misschien 100 koraalsoor-

ten wordt opgebouwd, voorziet het in de behoeften van misschien 2000 diersoorten, die van het geheel eerst een echt koraalrif maken. Want evenmin als zij voorkomen waar het rif ontbreekt, is het rif iets zonder hen. Zij vormen met de koralen dan ook één geheel. Er zijn rifvissen, rifanemonen, rifgarnalen en rifkreeften, rifkrabben, rifstomatopoden, rifcrinoiden en rifzeesterren, en allen zijn direct als rifdieren te herkennen door hun kleurenweelde. Een analyse van deze wereld behoort — dat behoef ik U wel niet te zeggen — tot een der aantrekkelijkste, maar tevens moeilijkste chapters van het werk van de mariene bioloog. Wij zullen ons hier intussen thans niet aan wagen en bij een ander probleem stilstaan.

U hebt vaak genoeg gehoord, dat het voorkomen van koraalriffen gebonden is aan grenzen. Grenzen van temperatuur, zoutgehalte en diepte. De invloed van zoutgehalte en temperatuur zijn vrij uitvoerig onderzocht, vooral door MAYOR in Amerika en EDMONDSON in Honolulu. Ons interesseert hier de dieptegrens.

In het algemeen gesproken bouwen koralen geen riffen beneden ± 50 meter. Vooral door de onderzoeken van BASSET SMITH, op de Tizard en Macclesfield banken in de Chineesche Zee, en door de dredgings van de Sealark in de Indiese Oceaan is gebleken, dat rifkoralen grotere diepten bereiken kunnen (BASSET SMITH vond enkele tot op 80 meter); dit is echter een grote uitzondering. De door SMITH gedregde *Acropora*'s uit iets grotere diepte, voor zover ze in de rifvorming een belangrijke rol spelen, zijn allen even arm ontwikkeld.

Wat beheerst deze dieptegrens? DANA heeft verondersteld, dat de lage temperatuur op grotere diepte van invloed was. Maar deze temperatuur is aan de equator hoger dan die, welke op hoger breedte door koralen aan de oppervlakte verdragen wordt (20° C.) en kan dus geen factor zijn.

Volgens WOOD-JONES is vroeger wel verondersteld, dat in grotere diepte geen kalkskeletten zouden kunnen gemaakt worden. Doch dit is al zeer onwaarschijnlijk, daar er tal van organismen zijn, die het wel kunnen, in de eerste plaats desolitaire koralen. WOOD-JONES heeft uitvoerig betoogd dat het hiereen kwestie van sedimentatie geldt. Hij stelde zich voor, dat aan de oppervlakte het slik door golfbeweging in suspensie gehouden wordt, dat beneden zekere diepte sedimentatie optreedt en dat daarom beneden deze diepte de rifkoralen



Fig. 2. Lagune aan de noordzijde van Hoorn, rechts vooraan de puinwal. De mangroveboompjes in de verte staan midden in de lagune. Ze zijn van hun takken beroofd door de bevolking van Poeloe Oebi, Rotterdam, die er de geiten mee voedert.

[Foto Van der Steen.

bedekt zouden worden door een constante slibregen, die hen doodt. Hij heeft zelfs de wet geformuleerd, dat de batymetrische grens van de rifvormende koralen wordt bepaald door de lijn van sedimentatie. Deze zou voor verschillende zeeën verschillend zijn, afhankelijk van de golfsterkte. Hoe aantrekkelijk deze theorie ook klinkt, en met hoeveel vuur WOOD-JONES zijn veronderstelling ook geponeerd heeft, ze houdt geen stand. Want slibmetingen tonen aan dat de grootste slibhoeveelheid dáár te vinden is waar de golfbeweging zich het sterkst doet gelden, dus waar de zee het ondiepst is, terwijl het water helderder wordt met toenemende diepte van de zee. De hoeveelheid sediment, neerdalend in de open zee, is zeker niet genoeg om een rif indirect of direct aan voedsel te helpen, laat staan om het te doden.

We komen hiermee aan een vierde factor die van invloed kan zijn, dat is die van het licht. STANLEY GARDINER schijnt de eerste te zijn geweest die veronderstelde dat het licht de dieptegrens van riffen bepaalde. U zult misschien weten, dat rifkoralen (niet solitaire koralen) in symbiose leven met z.g. *zoöxanthellen*, dit

zijn tot de Cryptomonadinen gerekende eencellige algen. Deze vult het entoderm der polypen in enorm aantal en GARDINER nam aan, dat de koralen gedeeltelijk van deze algen leefden en dus geen eten hadden op een diepte, waar de algen stierven door lichtgebrek. BOSCHMA's experimenten en waarnemingen schenen te bevestigen dat de koralen deze zoöxanthellen verteren, het werk van YONGE op het Great Barrier Reef van Australië heeft aangetoond dat hun rol vermoedelijk een geheel andere is.

Voor we nu verder gaan en aan ons eigenlijk onderwerp beginnen, moet ik U in een paar woorden de eilanden beschrijven, waar het onderzoek in kwestie plaats vond. Ze zijn gelegen in de Baai van Batavia, een ondiepe bocht van Java's Noordkust, gevormd doordat links en rechts, Oost en West, slibrijke rivieren met



Fig. 3. Puinwal en deel van de lagune van Kerkhof. Op de voorgrond delen van het oude fort en op het zand de slingers van *Ipomoea pes-caprae*. In de verte Rotterdam en een boot.

Foto Van den Bosch.]

begrenzing van een waterplas, die aan de binnenzijde door het eiland begrensd wordt en lagune heet. De plas is vergelijkbaar met het zwijn tegen een zandbank aan de Hollandsche kust en zorgt voor afvoer van het over de puinwal gegooide water. De puinwal eindigt aan de oost- en westzijde van het eiland, waar ook het rif van minder belang wordt. Tegelijk verdwijnt dus de lagune en wordt het zandstrand van het eiland breder. Aan de zuidzijde tenslotte draagt dit een breed strand, dat met een vrij steile helling het water ingaat. Koraalgroei is hier door het sederenderende zand van weinig belang.

Zuurstofbepalingen nu, die ik in 1928 deed in de lagune van een der eilanden, wezen uit dat het water overdag sterk oververzadigd raakte met zuurstof, in de nacht zijn zuurstofgehalte zag dalen en 's morgens een minimum vertoonde

uitgestrekt deltagebied (de Tjisadane en de Tjitaroem) een sterke landtoename veroorzaken. In deze Baai liggen als zuidoostelijkste uitlopers der in de westelijke Java-zee liggende Duizendeilanden een aantal kleine koraaleilanden. Zij hebben in principe allemaal dezelfde vorm, welke zij danken aan de inwerking van stroom en wind¹⁾. Aan de noordzijde het rif, naar het eiland toe steeds ondieper wordend en tenslotte eindigend in een wal van door de branding opgehoopte en stukgeslagen koralen. Deze puinwal vormt tevens de buiten

¹⁾ Vgl. UMBGROVE's bijdrage in De Tropische Natuur XVII, 1928, blz. 123 — 130.

van soms niet meer dan 30% van verzadiging. Ik bepaalde daarop, om een vergelijk te hebben, ook het zuurstofgehalte buiten de puinwal, boven het rif, en vond ook hier de lage zuurstofspanning aan het einde van de nacht, vóórdat de zonassimilatie van planten mogelijk had gemaakt. Dit water stond in direct verband met het open water van de zee om de riffen. Hieruit volgde dus, dat de waterbeweging 's nachts niet in staat was de door de riffauna en -flora verbruikte zuurstof aan te vullen. Zou er dus geen licht tot het rif doordringen, dan zou dit moeten sterven alleen al door zuurstofgebrek. Dit bracht me op het idee na te gaan of ik met behulp van deze bijzonderheid niet



Fig. 4. Fort van Kerkhof. Rechts achter Onrust.

[Foto Van den Bosch.

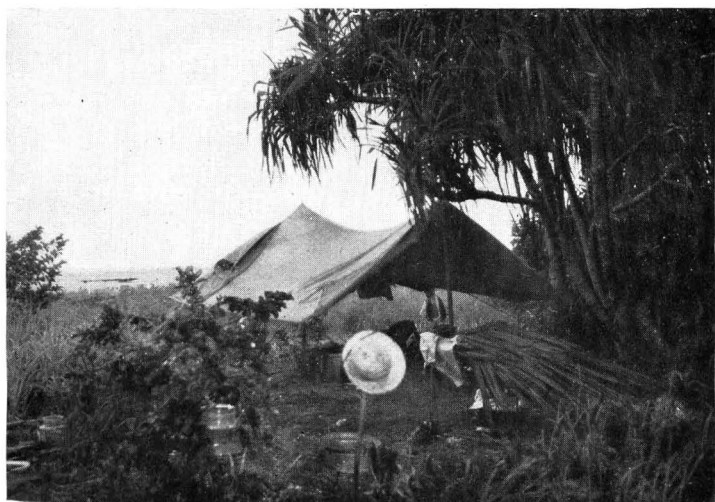


Foto Vrij]

Fig. 5. Kamp op Poeloe Dapoer.

verband tussen deze diepte enerzijds, de slibhoeveelheid en lichtdoordringing anderzijds, dan is dit een sterk argument voor de afhankelijkheid van de rifdiepte van licht.

Voor dit onderzoek moest ik de beschikking hebben over:

1. Zuurstofbepalingen, om het zuurstofverbruik van een rif te kunnen benaderen.
2. Stroommetingen om te zien of ook deze op mogelijkheid van tekort aan zuurstof wezen.

niet verband tussen rifdiepte en doordringing van licht in zee-water zou kunnen aantonen. Mijn gedachtengang was daarbij als volgt: duisternis veroorzaakt zuurstofgebrek en moet dus de dood van het rif tengevolge hebben; waar veel slib is, moet het licht weinig diep doordringen en veroorzaakt dus beneden duisternis; deze diepte van lichtdoordringing bij verschillende slibhoeveelheid is misschien vast te stellen; lukt het nu bovendien de diepte van riffen dicht bij de kust en verder uit de kust te bepalen en vinden we

3. Slibmetingen.

4. In aansluiting hieraan meting van de doordringing van licht in zeewater.
5. Bepaling van de dieptegrens van de levende koraalgroei op riffen dicht bij en verder van de kust.

1. Van de zuurstofbepalingen noemde ik al iets. Het water van de Baai van Batavia is nacht en dag verzadigd of oververzadigd met zuurstof, d. w. z. het bevat bij 28° C. meer dan 4.7 cm^3 per L. Het rifwater daarentegen is 's middags sterk oververzadigd ($7-7.5 \text{ cm}^3$), 's morgens arm aan zuurstof. (Deze oververzadiging in de namiddag is niet alleen aan zoöxanthellen te danken, ook aan hogere algen, die de dode koralen, enz. bedekken). De zuurstofproductie van het

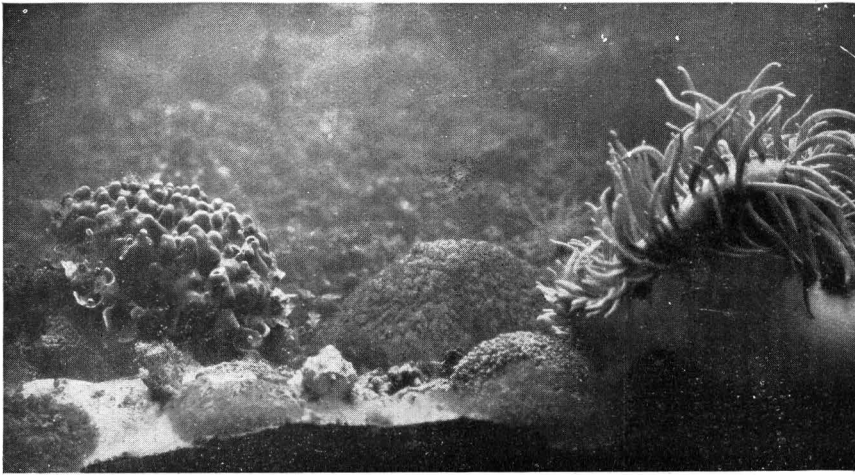


Fig. 6. Bassin van het Aquarium op Onrust. Links een kolonie van *Helio-pora coerulea*, geheel rechts een grote zeeanemoon van het geslacht *Bunodes*. Tussen hen een ex. van het koraal *Herpetholitha*. Links beneden een ex van *Fungia actiniformis*, naar rechts een ex. van *Fungia fungites*, de vis *Scorpaenopsis* en het koraal *Polyphyllia*, het laatste tegen de grote *Bunodes* aan.

Foto Verwey.]

koraal is natuurlijk te meten; ze bedraagt voor 100 gram *Acropora hebes* in ondiep water en helder zonlicht $5 - 6.5 \text{ cm}^3$ zuurstof per uur. Het zuurstofverbruik is evenzo te meten. Het bedraagt voor 100 gram *Acropora hebes* $2.5 - 3 \text{ cm}^3$ per uur. Er wordt dus in de zon ongeveer tweemaal zoveel gemaakt als verademd.

's Nachts wordt geen zuurstof geproduceerd, wel verademd. Een kilo *Acropora* verademt

$\pm 20 \text{ cm}^3$ per uur. Een flink exemplaar van *Acropora* weegt enige kilo's en verbruikt dus in 1 nacht van 12 uren evenveel malen 250 cm^3 zuurstof als het kilo's weegt. Een rif van enige duizenden kilo's verbruikt in één nacht dus enige honderden liters. Daar een m^3 zeewater ± 5 liter zuurstof bevat, kan zo'n rif gemakkelijk een honderd m^3 stilstaand water in één nacht zuurstofloos maken. En dan zit dit rif vol vissen, kreeften, krabben, slakken, wormen en planten, die allen hun deel opeisen.

2. Het gaat er nu dus om te weten, of het water hard genoeg stroomt om deze zuurstof aan te voeren. Stroommetingen nu werden voor de westelike Java-zee uitgevoerd door VAN WEEL en KOESVELD. BERLAGE heeft deze metingen verder uitgewerkt en in leesbare vorm gegoten, waarbij hij alle observaties tot oost- en west-stromen herleidde. BERLAGE vond voor de stroomsnelheid van het water in de westmoesson 28, in de oostmoesson 17 cm/sec . Voor ons zijn intussen de stromen zelf van belang, ongelet hun richting, en ik heb dus hun gemiddelden uit de gegevens van VAN WEEL en KOESVELD berekend:

Westmoesson:	40,	32,	30	cm/sec.,	dus	40 — 30	cm/sec.
Voorjaarskentering:	24,	22,	19	" , "		24 — 19	"
Oostmoesson:	33,	29,	27	" , "		33 — 27	"
Najaarskentering:	33,	30,	27	" , "		33 — 27	"

De laagste gemiddelde snelheid is dus ± 20 cm/sec. Bij een stroom van deze sterkte heeft één m^3 water 5 sec. nodig om over één m^2 rif te stromen. Zo'n rif kan naar schatting 30 — 300 kg koralen dragen en deze verbruiken maximaal ± 10 cm^3 zuurstof in die 5 sec. Stroomt dit water nu langs een rif van 100 m lang, dan verliest de m^3 1000 cm^3 en de zuurstofspanning zou dan dus 20% dalen, wanneer er geen diffusie, convectie of menging was. Diffusie als zodanig is veel te langzaam, speelt geen rol, men kan uitrekenen dat ze voor

een m^2 zeewater van 4 cm^3 zuurstof per liter, wanneer het in contact is met zeewater van 5 cm^3 zuurstof per liter, in 5 sec. 0,000002 cm^3 bedraagt. Convectie is niet gemakkelijk na te gaan. Wanneer intusseneen zwakke stroom over een ondiep liggend rif vloeit, is er vermoedelijk weinig reden veel invloed van

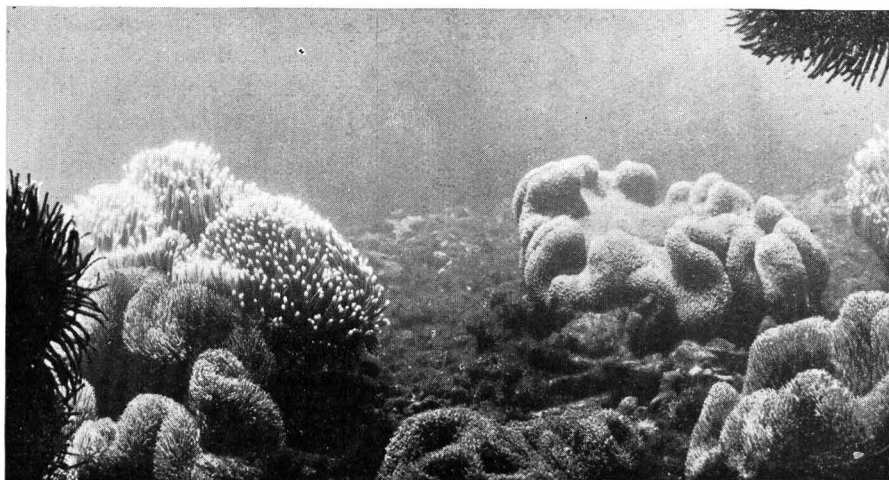


Fig. 7. Bassin van het Aquarium op Onrust. Middenonder een kolonie van het koraal *Actinotryx*, links en rechts daarvan *Stoichactis giganteum*. Links en rechts achter exx. van 2 andere *Stoichactis*-soorten. [Foto Boschma.

convectie te verwachten en in dat geval zou het water dus zuurstofarmer worden.

In werkelijkheid hangen de koralen intussen niet af van de stroomsnelheid die we boven meten, maar van water bij de bodem, dat door de wrijving veel minder hard stroomt. Ik mat bij Haarlem een snelheid van 10 cm/sec., dat betekent, dat het beneden stellig niet meer dan 5 cm/sec. stroomt. Passeert het nu weer een stuk rif van 100 m, dan wordt 4000 cm^3 zuurstof opgebruikt uit 1 m^3 . En daar deze 4800 cm^3 bevat zou er spoedig een zuurstof-tekort zijn. Hieruit zou dus volgen, dat waar licht ontbreekt door veel slib, een zuurstof-tekort niet uitgesloten behoeft te zijn. Daarbij speelt het slib zelf, in dikke laag op de bodem aanwezig, een zeer schadelijke rol. Want er is haast geen groter zuurstofconsument dan organiese stof in staat van ontbinding.

3. We willen nu dus zien hoe het staat met de slibhoeveelheid boven en om verschillende riffen, waarbij we vooral die dicht bij de kust hebben te vergelijken met de riffen, welke verderaf liggen. Ter toelichting diene dat de slibhoeveelheid indirect gemeten werd door de zichtbaarheidsgrens te bepalen van een witte schijf, welke in het water neergelaten werd.

Bij Onrust : schijf zichtbaar tot op gemiddeld 3.7 m diep.

" Schiedam :	"	"	"	"	6.7	"	"
" Rotterdam:	"	"	"	"	7.—	"	"
" Hoorn :	"	"	"	"	8.3	"	"
" Haarlem :	"	"	"	"	9.1	"	"

De slibhoeveelheid, in schijfzichtbaarheid uitgedrukt, is dus bij Onrust 2 — 3 keer groter dan bij Haarlem.

4. We hebben nu te onderzoeken hoe diep het licht doordringt bij deze verschillende slibhoeveelheden. Er zijn in de laatste jaren, in het bijzonder door POOLE en ATKINS in Engeland en SHELFORD en medewerkers in Amerika, prachtige



Fig. 8. Stukje van het rif van Hoorn op ± 5 meter diepte, onder water gefotografeerd. Weelderige groei van *Acropora brüggemanni*, met rechts-midden wat *Acropora nobilis* en op de voorgrond *A. digitifera*.

Foto Verwey.]

onderzoekingen verricht over de doordringing van licht van verschillende golflengte in zeewater bij verschillende slib- of planktonhoeveelheid. In verband met ons onderzoek interesseert ons intussen in de allereerste plaats de hoeveelheid zonlicht, die in staat is nog assimilatie door chlorophyll mogelijk te maken. Aan de oppervlakte wordt veel zuurstof gemaakt, minder verademd, dieper neemt de productie af, de verademing blijft gelijk, nog dieper overtreft het verbruik door verademing de productie. Bepalen we nu het punt waar gebruik en productie van zuurstof door planten met elkaar in evenwicht zijn, dat we het compensatiepunt noemen, dan hebben we een vergelijkbare maat. Dit punt werd bepaald door JÖNSSON en GAARDER en GRAN in de Oslo Fjord, Noorwegen, door GAIL in Puget Sound, Amerika, en in een uniek onderzoek door ORR en Miss MARSHALL in Millport, Schotland.

In al deze gevallen werden algen of phytoplankton tot op verschillende diepte neergelaten in flessen en werd de afname of toename in zuurstofhoeveelheid na verloop van zekere tijd bepaald. Het maakt natuurlijk verschil of men het compensatie-

punt bepaalt voor een heel etmaal of alleen voor de dag; voor een etmaal ligt het wat hoger omdat 's nachts het zuurstof-verbruik doorgaat, maar de productie stilstaat. Maar globaal gesproken kan men zeggen, dat het compensatiepunt bij geen der genoemde onderzoekingen beneden 30 m diepte lag.

Hoe verhoudt zich nu in de Baai van Batavia de zichtbaarheidsgrens van de witte schijf tot de diepte van het compensatiepunt? Ook hier werden daartoe algen tot op verschillende diepte neergelaten in goed gesloten glazen flessen en na verloop van tijd werd dan het zuurstofgehalte bepaald.

Daar de Baai van Batavia bij Onrust 10, bij Haarlem tot 22 m diep is, leren deze getallen, dat het compensatiepunt in de Baai van Batavia bij helder weer bij de bodem ligt, of zelfs nog iets lager, m. a. w. er is dan zuurstof-productie op de bodem. Is er intussen

Zichtbaarheids-grens schijf	Diepte compensatiepunt
3 m	9.5 — 10.5 m
4 "	10.— — 12.— "
6 "	14.5 — "
8 "	19.— — 20.5 "
11 "	20.— — 25.5 "

bij slecht weer veel slib, dan ligt het compensatiepunt veel hoger, zelfs tot bijna 10 meters boven de bodem. Maar hoofdzaak voor ons is dat het bij Haarlem gemiddeld veel lager ligt dan bij Onrust en met de slibhoeveelheid tot op zekere hoogte keurig parallel loopt.

5. We hebben nu dus nog vast te stellen hoever de diepte der verschillende riffen reikt, om te zien of er misschien enig verband tussen de slibhoeveelheid of het compensatiepunt en de rifdiepte valt te constateren. De rifdiepte werd bepaald door met de duikhelm de rifhelling af te lopen en onderaan een bamboe op te laten stijgen, bevestigd aan een koord met meterindeling. Op deze wijze kon de diepte van de onderste koraalgroei snel en nauwkeurig bepaald worden. De metingen gaven het volgende resultaat:

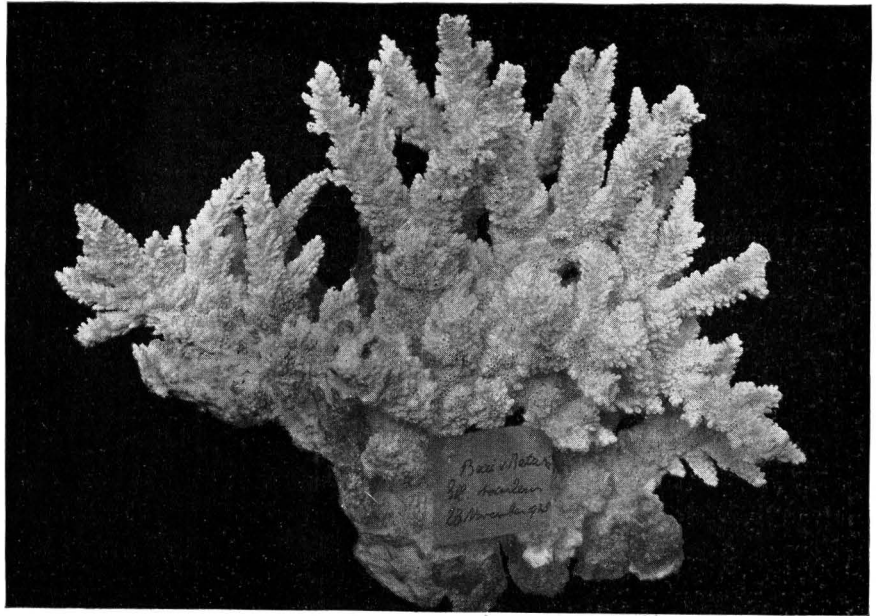


Fig. 9. *Acropora* sp., nauw verwant aan *Acropora rosaria*.

[Foto Boschma.]

	Rifdiepte	Diepte der zee	Hieruit blijkt dus, dat de rifdiepte
Onrust	7 — 7.5 m	9 — 10 m	toeneemt naarmate we ons verder van de
Kerkhof	8	10 — 12	kust verwijderen; maar tevens neemt daarbij
Rotterdam	10	14 — 16	het verschil tussen rifdiepte en diepte van
Hoorn	12	16 — 20	de zee toe, daar dit verschil bij Onrust 2,
Haarlem	15	20 — 22	bij Haarlem ± 6 meter bedraagt. Dit bewijst dat het niet de directe werking van de

Ik wees er reeds op, dat het uitgesloten is, dat het slib als zodanig van invloed kan zijn. Want de slibhoeveelheid neemt af van ondiep naar diep water en dit geldt evengoed voor het onderzoeksterrein als geheel als voor elk afzonderlijk rif. Waar het rif dus de slibhoeveelheid van het ondiepe water bij Onrust verdraagt, daar moet het zeker de geringere slibhoeveelheid uit iets dieper water bij Haarlem verdragen.

Overzien we nu de verkregen resultaten, dan blijkt, dat de diepte van het punt, waar verbruik en productie van zuurstof door algen met elkaar in evenwicht zijn, het compensatiepunt, parallel loopt met de slibhoeveelheid in het water en dat ook de diepte van het levende koraal met de gemiddelde slibhoeveelheid parallel loopt. Compensatiepunt en rifdiepte lopen dus evenzo parallel en dit is wel een zeer sterk argument voor de afhankelijkheid van de rifdiepte van licht.

J. VERWEY.