

MERENONDERZOEK IN NEDERLANDSCH INDIË

(Eenige resultaten der Duitsche Limnologische Soenda-Expeditie)

Het wetenschappelijk onderzoek der binnenwateren in het algemeen heeft in het laatste 10-tal jaren snelle vorderingen gemaakt. Gegrond op de resultaten zowel van geographisch-hydrographische als op physisch-chemische en op biologische onderzoekingen, heeft de limnologie ons vertrouwd gemaakt met de in het water werkzame krachten en stoffen en met de grondslagen van het daarin voorkomend plantaardig en dierlijk leven. Deze wetenschap beschouwt de meren met al hun eigenschappen, met hun levende wezens als op zich zelf staande eenheden en tracht den samenhang tusschen het organische en het anorganische en tusschen deze doode stof en de levende wezens binnen deze eenheden te doorgronden.

Alle resultaten, die in dezen jongen tak van wetenschap tot op heden bereikt zijn, werden echter bijna uitsluitend verkregen door onderzoekingen van binnenwateren in de gematigde streken, allereerst van zoetwatermeren in Europa en Amerika. Omtrent de limnologie van binnenwateren in andere klimaten, vnl. van die der gelijkmatig warme tropenzone, was slechts weinig bekend. Teneinde deze leemte althans eenigermate aan te vullen en den weg te banen tot een onderzoek der tropische binnenwateren, beschouwd van uit het standpunt der causale, d. i. naar oorzaak en gevolg vragende limnologie, besloot de „Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft” in samenwerking met het „Kaiser Wilhelm Gesellschaft” te Berlijn in den zomer van 1928 een expeditie uit te zenden, aan welke, behalve Prof. Dr A. THIENEMANN uit Plön en Prof. Dr H. FEUERBORN uit Münster, ook steller dezes, benevens K. HERRMANN, werktuigkundige aan het Biologisch Station te Lunz, deelnamen.

Voor ons doel kwamen de aequatoriale gebieden van Azië, Afrika en Amerika in aanmerking. Wij kozen toen de Soenda Eilanden en wel vnl. op aanraden van Prof. SCHÜFFNER, Directeur van het Instituut voor Tropische Hygiëne te Amsterdam. Deze keuze bleek later een zeer gelukkige geweest te zijn. Immers, Nederlandsch Indië is niet slechts rijk aan binnenwateren van verschillenden aard, maar het is daarbij het tropenland, dat op wetenschappelijk gebied het meest bekend en dat ook het best toegankelijk is. Dat er in betrekkelijk korten tijd zulk een belangrijke hoeveelheid arbeid kon worden verricht, is echter niet alleen te danken aan deze omstandigheden, doch tevens aan de welwillendheid en de buitengewone hulpvaardigheid, waarin wij ons zoowel van de zijde der Regeering van dit wonderschoone land als van die van wetenschappelijke kringen en particulieren hebben mogen verheugen.

De bewerking van het overgrootste deel van hetgeen wij op onze reis bijeenbrachten is op het oogenblik nog niet beëindigd. Daarom wil ik mij in het volgende beperken tot een onderdeel, dat zich het meest leent tot een overzicht van hetgeen ter plaatse kon worden waargenomen, nl. *de temperatuursverhoudingen der tropische meren en hun biochemische gelaagdheid* ¹⁾.

Vóóraf zou ik echter, om eenige vergelijkingen mogelijk te maken, in het kort willen wijzen op bepaalde verhoudingen in de meren der gematigde streken,

¹⁾ Een uitvoerige uiteenzetting der resultaten vindt men in: F. RUTTNER, Hydrographische und hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. — Archiv für Hydrobiologie, Suppl. Bd. VIII „Tropische Binnengewässer”, blz. 197 — 454 (1931).

zooals deze in het laatste 10-tal jaren door de onderzoeken van Europeesche en Noord Amerikaansche geleerden bekend geworden zijn. Men weet, dat het water van een binnenmeer gedurende de zomermaanden geen gelijkmatige massa is, doch dat het een zeer duidelijk waarneembare gelaagdheid vertoont, die hoofdzakelijk moet worden opgevat als een gevolg van temperatuurschommelingen, welke door een kromme ¹⁾ zijn weer te geven. Het warme en daardoor soortelijk lichter water bevindt zich boven het koude. Hoe grooter het verschil in temperatuur is tusschen boven- en onderlaag, des te belangrijker is ook het verschil in dichtheid, en des te grooter tevens het weerstandsvermogen, dat een of andere kracht, b. v. een windstoot, ondervinden zal, die de watermassa tracht dooreen te mengen en de bovenste lichtere lagen, die als een kurk

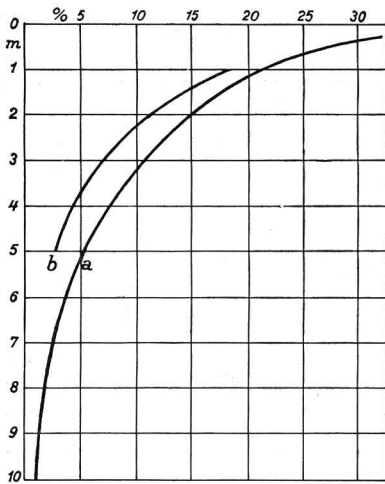


Fig. 1. De totale zonnebestraling, welke in het water indringt, uitgedrukt in percenten der lichtintensiteit aan het wateroppervlak (volgens BIRGE en JUDAY). a. Seneca-meer, doorzichtig tot op 6.8 m; b. Canandaigua-meer, doorzichtig tot op 4.4 m.

BIRGE in fig. 1 is weergegeven. In werkelijkheid zien de temperatuurskrommen voor de meren der gematigde streken er gedurende de zomermaanden geheel anders uit, hetgeen duidelijk blijkt uit de beide voorbeelden in fig. 2. Onmiddellijk onder het wateroppervlak zien wij een ongeveer gelijk warme laag van wisselende dikte, die door de limnologen met den naam van *epilimnion* aangeduid wordt. Op deze laag volgt meestal zonder eenigen overgang, dus in de kromme met een door een sterke temperatuursdaling veroorzaakte plotselinge knik, het *metalimnion*, welks helling (in de kromme) naar de diepte toe geleidelijk minder steil wordt en ten slotte overgaat in de onderste laag, het *hypolimnion*, dat weer doorgaans gelijk van warmte is. Alleen de temperatuurskrommen van het meta- en hypolimnion komen ongeveer overeen met het verloop van die der stralingsabsorptie; in het epilimnion echter is de invloed van deze absorptie vervaagd door de op het meeroppervlak werkende

op de lagere waterlagen drijven, omlaag te drukken.

De onderzoeken van A. BIRGE en W. SCHMIDT hebben ons geleerd de grootte van den arbeid, d.i. de kracht te berekenen, die de wind moet uitoefenen om de watermassa's van een meer onderling te vermengen — deze dus uit den gelaagden in een ongelaagden toestand over te voeren — en deze kracht per m² in kilogrammeters uit te drukken. In overeenstemming met W. SCHMIDT noemen wij dit arbeidsvermogen de stabiliteit der gelaagdheid, welke niet slechts voor de hydrographie, doch eveneens voor het materieverbruik van een meer van belang is.

Daar de door het meerwater opgenomen warmte afkomstig is van de energie der zonnestralen en de warmtestralen met lange golflengte reeds in de bovenste waterlagen worden geabsorbeerd, zouden wij voor een meer, dat geheel vrij is van uitwendige invloeden, een temperatuurskromme verwachten, welke reeds van het wateroppervlak af zeer stijl verloopt. Deze kromme zou ongeveer evenwijdig loopen aan de absorptiekromme der zonnestralen, zooals die voor twee Noord Amerikaansche meren naar de onderzoeken van JUDAY en

¹⁾ Onder een kromme of curve verstaat men een breuk- of een meer of minder duidelijke golflijn, welke een schematische voorstelling geeft van het verband der onderzochte factoren (zie fig. 2).

krachten, vnl. door den wind. Het water wordt hier voortdurend door stroomingen doorengemengd, door welke tijdelijk ontstane temperatuursverschillen steeds worden opgeheven. De invloed van den wind neemt echter met de diepte snel af; de onderste grens van dezen invloed is door de zg. „Sprungschicht” ¹⁾ gekenmerkt.

Bovengenoemde feiten hebben in vele opzichten belangrijke gevolgen: wegens de afsluiting door de „Sprungschicht” nl. blijft de koelere, dus zwaardere watermassa van het hypolimnion, zolang er onder invloed van de temperatuur een bepaalde gelaagdheid bestaat, vastgehouden in de diepte en komt niet in aanraking met het oppervlakte-water. Eerst in de herfst, als door de voortschrijdende afkoeling de „Sprungschicht” geleidelijk aan omlaag wordt gedrukt en het meer dan overgaat in den toestand van volledige homothermie — d.i. in een toestand van overal gelijke warmte — bij lage temperatuur ($\pm 4^\circ$), wordt ook, na opheffing van den stabielen toestand, het water van het hypolimnion in den kringloop betrokken, waardoor een vermenging en een verandering in gelaagdheid van het water in het geheele meer plaats vindt.

In de diepere lagen van het hypolimnion, waar het licht niet kan doordringen, vindt door bacteriën de afbraak plaats der organische bestanddeelen, welke door de planten in de bovenste of trophogene ³⁾ laag (het epi-

limnion) werden opgebouwd (d.i. door fotosynthese) en welke vervolgens geleidelijk omlaag gezonken zijn. Dit heeft ten gevolge, dat het diepte-water verrijkt wordt met de eindproducten van deze omzetting, nl. met koolzuur, ammoniak, phosphaten, enz. Daarbij wordt zuurstof verbruikt. De hoeveelheid van deze stoffen, die ontstaat, en ook de hoeveelheid zuurstof, welke wordt verbruikt, wordt bepaald door de massa en de kwaliteit der te ontleden organische substantie, het tempo der omzetting en den duur der stabiliteit der waterlagen, dus door den duur der stagnatie. Geheel te recht beschouwt men daarom de zuurstofkromme voor de meren der gematigde streken als een indicator voor hun organische productie: meren, welke een sterke vermindering — nu en dan zelfs een algeheele verdwijning — van de zuurstof in het

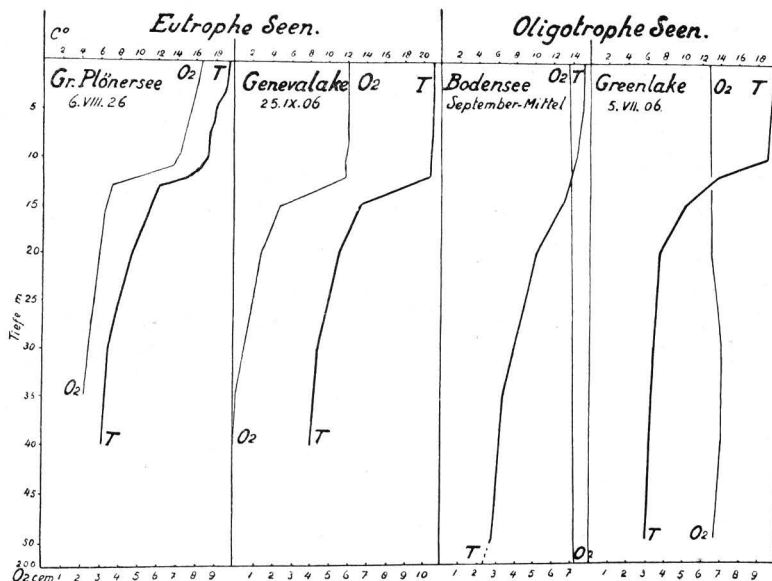


Fig. 2. Temperatuurs- en zuurstofgelaagdheid in eutrophe en oligotrophe meren ²⁾.

¹⁾ Met dezen term duidt men de laag aan, bij welke de temperatuur meestal *sprongsgewijs* omlaag gaat, omdat daar de invloed van den wind ophoudt.

²⁾ De krommen zijn van links naar rechts ontleend aan: 1. THIENEMANN; 2. en 4. BIRGE en JUDAY; 3. AUERBACH, MERKER en SCHMALZ.

³⁾ Trophogeen noemt men deze laag, omdat hier onder den invloed van het licht meer leven ontstaat dan in de diepere lagen.

hypolimnion vertoonen, kunnen (in navolging van THIENEMANN) als rijk aan voedingsstoffen, d.i. als *eutrooph* worden beschouwd, terwijl in *oligothrophe* meren, die dus arm zijn aan voedingsstoffen, de zuurstofkromme hetzij in het geheel geen, hetzij slechts een geringe helling aanwijst voor de diepere lagen. Voorbeelden van zuurstofkrommen van eutrophe en oligotrophe meren volgens de resultaten van Europeesche en Noord Amerikaansche onderzoekers vindt men in fig. 2 weergegeven.

Uit deze samenvatting blijkt reeds dadelijk, hoe voor de gezamenlijke omzetting in een gematigd warm binnenwater de verschijnselen, door de gelaagdheid ontstaan, van belang zijn, en hoe die tenslotte aan de temperatuursverhoudingen hun ontstaan te danken hebben. Doch hoe is het met dit alles nu in de tropen? Komen in het gelijk-

matige klimaat der equatoriale gebieden lagen voor van ononderbroken stabiliteit of bevindt zich het meerwater in de tropen voortdurend in een toestand van circulatie, zooals dat bij de meren in de gematigde streken gedurende de herfst en den winter het geval is? En welke uitwerking hebben deze perioden van stagnatie, zoo zij zich werkelijk voordoen, op de stofwisseling van het meer bij de hoge temperatuur van het hypolimnion?

Het spreekt van zelf, dat de oplossing van deze principieel belangrijke vraagstukken tot de voornaamste opgaven van onze reis behoorde. Wij onderzochten voor dit doel de temperatuursverhoudingen en de chemische

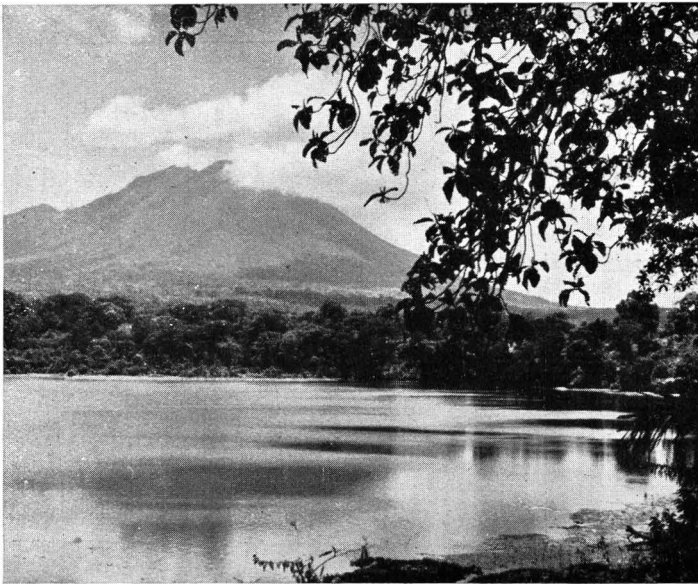


Fig. 3. Meer van Klakah (Ranoe Lamongan).

Foto Hermann./

gelaagdheid van 15 ongelijk groote en op verschillende zeehoogte gelegen meren van Sumatra, Java en Bali¹⁾. In het onderstaande wil ik er uit deze als voorbeelden drie kiezen, die tegelijkertijd drie verschillende klassen t.o.v. de grootte en drie verschillende typen t.o.v. de gelaagdheid vertegenwoordigen, om voorts aan de hand van eenige krommen de voornaamste resultaten van ons onderzoek mede te deelen.

Als eerste voorbeeld kies ik een der maren²⁾, die rondom den G. Lamongan op diens voet gerangschikt zijn, en wel het op 240 meter boven zee gelegen **Meer van Klakah** (Ranoe Lamongan) bij Klakah, een cirkelvormig bekken van 0.34 km² oppervlakte en 28 m diepte (fig. 3 en 4). Het water heeft hoge eutrophe eigen-

¹⁾ In Oost Java: Ranoe Lamongan, R. Pakis, R. Bedali en R. Klindoengan; in Midden Java: Telaga Pasir en T. Ngebel; in West Java: de stuwmeren van Tjigombong en van Sindanglaja (welk laatste sinds dien leeggelopen is). Op Sumatra: Danau Ranau, D. Singkarak, D. Manindjau, D. di Atas en het Toba-meer. Op Bali: Danoe Bratau en D. Batoer.

²⁾ Een mare is een ketelvormige inzakking, gewoonlijk in den vorm van een meer, ontstaan als zuiver explosieve centraalruptie met doorgaans geringe drijvende kracht.

schappen: het is geelbruin van kleur, is slechts tot op $1\frac{1}{2}$ meter doorzichtig en heeft een opvallend hoog gehalte aan nanno-plankton ¹⁾, nl. 100.000 cellen per cm^3 . In fig. 5 links zijn de verschillende temperatuurszonen van dit meer en haar wijzigingen gedurende een tijdruimte van $\pm 1\frac{1}{2}$ maand opgeteekend. De dun uitgetrokken lijnen hebben betrekking op de stabiliteit der gelaagdheid en geven dus het arbeidsvermogen weer, dat de wind moet verrichten om een vermenging van het water tot op een bepaalde diepte te kunnen bewerkstelligen, uitgedrukt in kgm per m^2 meeroppervlak. Reeds op het eerste gezicht ziet men, dat deze afbeelding aangeeft, dat de temperatuurkromme een geheel gelijk verloop heeft als in een meer uit de gematigde streken tijdens de stagnatie gedurende den zomer. Het eenige werkelijke onderscheid ligt hierin, dat de kromme verschoven is naar een hoog temperatuurgebied, dat nl. de diepte-temperatuur bijna 26° bedraagt. Hoewel er geringe verschillen bestaan in temperatuur tusschen de oppervlakte en de dieper gelegen lagen, heerscht hier toch een zeer groote stabiliteit in de gelaagdheid; zoo bedroeg deze b. v. op 13 October 14 kgm voor een waterzuil tot op 20 m diepte bij een temperatuursverschil van slechts 1.25° . Lag dit meer op Noorderbreedte en zou de diepte-temperatuur ervan 4° zijn, dan zou bij hetzelfde temperatuursverschil slechts een stabiliteit van 0.6 kgm optreden. Dit op het eerste gezicht verrassende feit vindt zijn oorzaak in de eigenschap van het water om zijn dichtheid in een gebied met hoogere temperatuur veel sneller te wijzigen dan in een met een lage temperatuur. Zoo is het verschil in dichtheid tusschen water van 24° en 25° 25-maal zoo groot als tusschen dat van 4° en 5° . In de meren der warme gebieden zijn dus reeds geringe temperatuursverschillen voldoende om een stabiele gelaagdheid te doen optreden, welk feit voor de tropische limnologie van bijzondere beteekenis is.

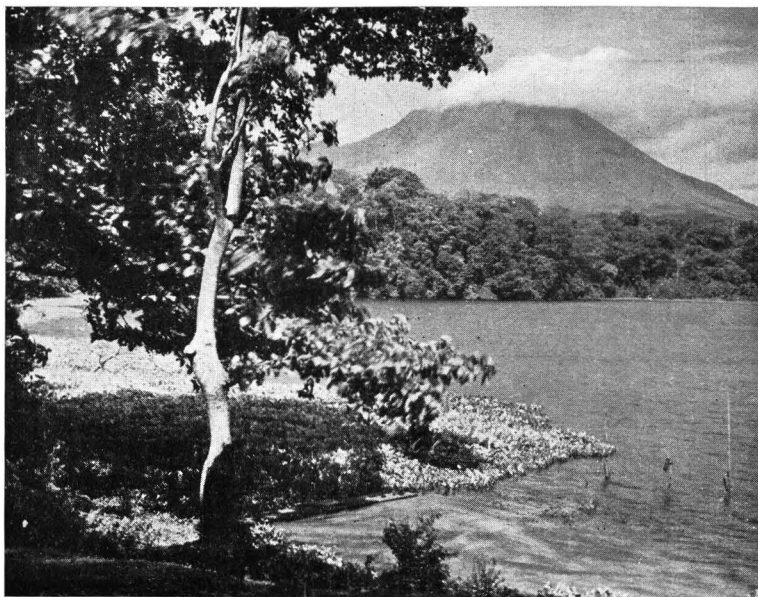


Fig. 4. Meer van Klakah (Ranoe Lamongan). [Foto Hermann.]

De verdeeling van de opgeloste zuurstof, welke in fig. 5 rechts is aangegeven, vertoont een zeer sprekend beeld, dat volkomen beantwoordt aan de verhoudingen in extreem eutrophe meren van een gematigd klimaat: het epilimnion bevindt zich nagenoeg in een verzadigingstoestand, hierop volgt een aanvankelijk bijzonder snelle, daarna een meer geleidelijke vermindering van het zuurstof-gehalte, welke daling slechts tusschen 6 en 7 m diepte onderbroken wordt door een kleine, waarschijnlijk op de aanwezigheid

¹⁾ Nanno-plankton is afgeleid van nannos (verkeerd voor nanos) = dwerg en planao = ik dwaal, dwaal rond (vgl. planeet), en beteekent dus dwerg-plankton.

van bronwater terug te voeren stijging. De stippellijnen geven de veranderingen aan in het zuurstofgehalte van 's morgens vroeg tot den namiddag. De invloed van de koolzuur-assimilatie door het phyto-plankton ¹⁾ en de oeverplanten komt tot uiting in een sterke zuurstof-toeneming onder het wateroppervlak tot aan een oververzadiging van 121 %.

Ook de andere onderzochte stoffen, van welke fig. 6 eenige krommen weergeeft, die de verdeling betreffen, doen een duidelijke, min of meer door de temperatuurskromme beheerschte gelaagdheid onderkennen. Het in dit meer relatief hoog gehalte aan dubbelkoolzure verbindingen (bicarbonaten), meestal aan dubbelkoolzure kalk (calciumbicarbonaat) — dat, terloops gezegd, in de meeste der onderzochte binnenwateren,

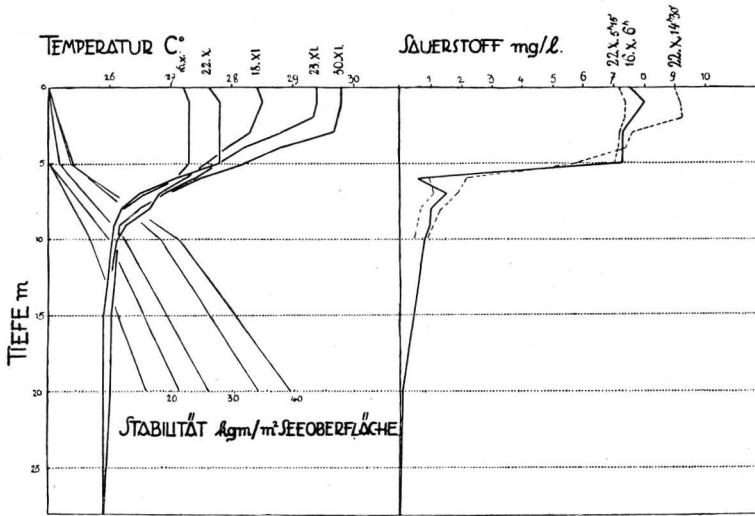


Fig. 5. Temperatuurs- en zuurstofkrommen voor het Meer van Klakah.

het uit het alkali-gehalte van het Meer van Klakah berekende koolzuur-evenwicht met de door ons gevonden waarden, dan levert dit een afwijking op, welke voor de bovenste lagen een tekort, voor de onderste lagen een surplus aangeeft, terwijl voor de middelste lagen de beide krommen elkaar nagenoeg dekken. Het koolzuurtekort in het epilimnion wordt zonder twijfel bepaald door de assimilatie der planten. De diepte, waarop de evenwichtstoestand bereikt wordt, kan nagenoeg als de onderste grens der fotosynthese worden beschouwd. Het surplus in de onderste lagen mag op rekening gesteld worden van de ademhaling der planten en dieren, resp. op de afbraak van organische stoffen. Dat er in de middelste waterlagen een evenwichtstoestand heerscht t.o.v. het koolzuur, moet toegeschreven worden aan het wederom in oplossing gaan van de kalk, welke in de trophogene laag onder invloed van de assimilatie is neergeslagen. Hier heeft geen opeenhooping plaats van overtollige koolzuur, doch het komt hier slechts tot een toeneming van het gehalte aan bicarbonaat.

Geheel in overeenstemming met de verdeling van het koolzuur is de reactie van het water (p_H). Aan de oppervlakte, waar het zure bestanddeel uit het mengsel — dat bepaald wordt door de verhouding bicarbonaat : vrije koolzuur — door assimilatie verdwenen is, is het water alkalischer, terwijl het in de

teren, in volkomen overeenstemming met die in Europa, $\pm 90\%$ van het geheele zoutgehalte uitmaakt — neemt met de diepte niet onbelangrijk toe. Het gehalte aan vrij, dus niet aan een alkali, b. v. kalk, gebonden koolzuur hangt in de eerste plaats af van het gehalte aan bicarbonaat: voor elke concentratie van dit laatste moet nl. een bepaalde hoeveelheid vrij koolzuur voorhanden zijn om het carbonaat (enkelvoudige koolzure verbinding) in oplossing te houden. Vergelijkt men nu

¹⁾ Phyto-plankton = plantaardig plankton, in tegenstelling met dierlijk of zoo-plankton.

diepte minder alkalisch is dan men uit het gehalte aan bicarbonaat zou afleiden.

Opmerkelijk zijn de krommen van de ammoniak en de anorganische phosphor, niet zoozeer door hun verloop, dat aan de verwachtingen beantwoordt, dan wel door de buitengewone toename van deze stoffen in het hypolimnion. De bovenste lagen daarentegen zijn er bijna vrij van te noemen en men mag aannemen, dat hier in den regel slechts geringe hoeveelheden van deze voor het leven zoo belangrijke substanties door de plantaardige organismen aan het water onttrokken worden.

Ook ijzer en mangaan vertoonen gelijksoortige verschijnselen t.o.v. de gelaagdheid. Echter wijkt de kromme van het mangaan in zoverre van alle andere af, dat het maximum niet gelegen is in de grootste diepte, maar in het metalimnion. Deze verhouding bleek typisch te zijn voor het meerendeel der onderzochte meren: in enkele gevallen trad zelfs een tweetoppige kromme op met nog een, meestal gering, maximum boven den grond. De gevonden hoeveelheden mangaan waren in één geval — binnen de „Sprungschicht” van het Ranoe Klindoengan in Oost Java — buitengewoon groot en bereikten een waarde van 15 mg per liter.

Hier moge naar voren gebracht worden, dat slechts die stoffen, welke als bouwstoffen een rol spelen t.o.v. het plantaardig en dierlijk organisme, in de onderzochte meren een duidelijke gelaagdheid aanwijzen, terwijl b.v. het indifferente chloor-ion door de geheele waterlaag min of meer gelijkmatig verdeeld is. Zoo blijken de verschijnselen, die betrekking hebben op de gelaagdheid, beheerscht te worden door de levensverrichtingen in het meer, zoodat wij ze te recht mogen bestempelen met den naam van *biochemische lagen*.

De hierboven geschilderde verhoudingen t.o.v. de gelaagdheid herhalen zich met zeer onbeduidende variaties in alle 8 door ons op Java onderzochte meren, welke alle kleine binnenwateren zijn van minder dan 2 km² oppervlak. Al deze meren zouden wij ook naar hun andere eigenschappen (kleur, doorzichtigheid, gehalte aan nanno-plankton) als eutrooph kunnen beschouwen, terwijl zij ook in hun chemische gelaagdheid volkomen met dit type overeenstemmen. Ik wil ze daarom niet nader bespreken, doch overgaan tot de behandeling van binnenwateren van zeer veel grooter omvang dan die op Java, nl. de meren van Sumatra.

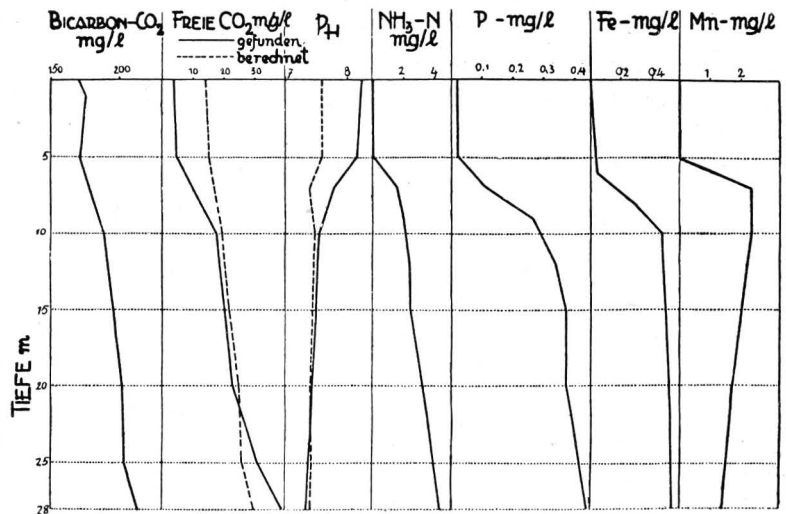


Fig. 6. Kwantitatieve wateranalyse van het Meer van Klakah, graphisch voorgesteld.