KONINKLIJK NEDERLANDSCH METEOROLOGISCH INSTITUUT
N°. 102.

MEDEDEELINGEN
EN
VERHANDELINGEN.

29c.

P. H. Gallé. Klimatologie van den Indischen Oceaan.

V. Neerslag.

VI. Frequentie van Luchtdrukkingen en Stormachtige Winden.

VII. Tropische Cyclonen.

P. H. Gallé. Climatology of the Indian Ocean.

V. Precipitation.

VI. Frequency of Air-pressure and Stormy Winds.

VII. Tropical Cyclones.

TE VERKRIJGEN BIJ | EN VENTE CHEZ
SEYFFARDT's BOEKHANDEL,
Singel 13, Amsterdam.

KLIMATOLOGIE VAN DEN INDISCHEN OCEAAN.

V. NEERSLAG.

1. *Algemeene beschouwingen.*

In den Noordelijken Indischen Oceaan valt bijna alle neerslag als regen, een hoogst enkele maal komt hagel voor; in het Westenwindgebied van den Zuidelijken Indischen Oceaan komt hagel en soms sneeuw, meer voor dan in het Noorden.

Voor de hier volgende kaarten is regen, hagel en sneeuw bij elkaar genomen en wordt kortweg van regenwaarschijnlijkheid (r. w. h.) gesproken, omdat de regen zoo sterk overwegend is bij alle waarnemingen.

De kaarten geven de r. w. h. uitgedrukt in procenten, benevens het aantal waarnemingsuren dat in elk vak van 5° lengte en breedte beschikbaar was.

De kaarten gelden voor den Noordoostmoesson, dus December, Januari en Februari en voor den Zuidwestmoesson, dus voor Juni, Juli en Augustus.

Het percentage r. w. h. werd als volgt berekend. Allereerst werd voor vakken van 5° lengte en breedte nagegaan, gedurende hoeveel wachten van 4 uur, zich daar een schip bevond, dat waarnemingen heeft ingezonden en gedurende hoeveel kwartieren van dien tijd er regen, hagel of sneeuw is gevallen. De wachten werden tot kwartieren herleid; het quotiënt der neerslag- en verblijfkwartieren geeft het percentage der r. w. h..

2. *Regenwaarschijnlijkheid.*

a. *December, Januari, Februari.*

Eene gelijktijdige beschouwing van figuren 2 en 4-29*a*, 12-29*b*, 14 en 16-29*c* [1]) laat ons zien, dat ter plaatse, waar de Noordoostmoesson boven zee komt, de r. w. h. vrijwel nul is en op lager breedte in de Golf van Bengalen sneller toeneemt, dan in de Arabische Zee.

---

[1]) Figuur 16 en 17 zijn ontworpen door Prof. Dr. E. v. EVERDINGEN, naar de gegevens bewerkt voor „De Zeeën van Ned. Oost-Indië" en het eerst afgedrukt in „Science in the Netherland East Indies", saamgesteld voor het Pan Pacific Congress te Bandoeng 1929.

Dit sneller toenemen, waarbij ten slotte in den O. I. Archipel tusschen 0°—8° Z. B. en 95°—120° O. L. een maximum van 10% wordt bereikt, kan als volgt worden verklaard.

In het algemeen wordt regen veroorzaakt door stijgende luchtstroomen, die des te meer regen kunnen geven naarmate zij een hoogere temperatuur hebben en dientengevolge meer waterdamp kunnen bevatten.

Op den Oceaan waar de locale temperatuurverschillen, welke te land aanleiding vormen voor het ontstaan, bijvoorbeeld, van onweersbuien,

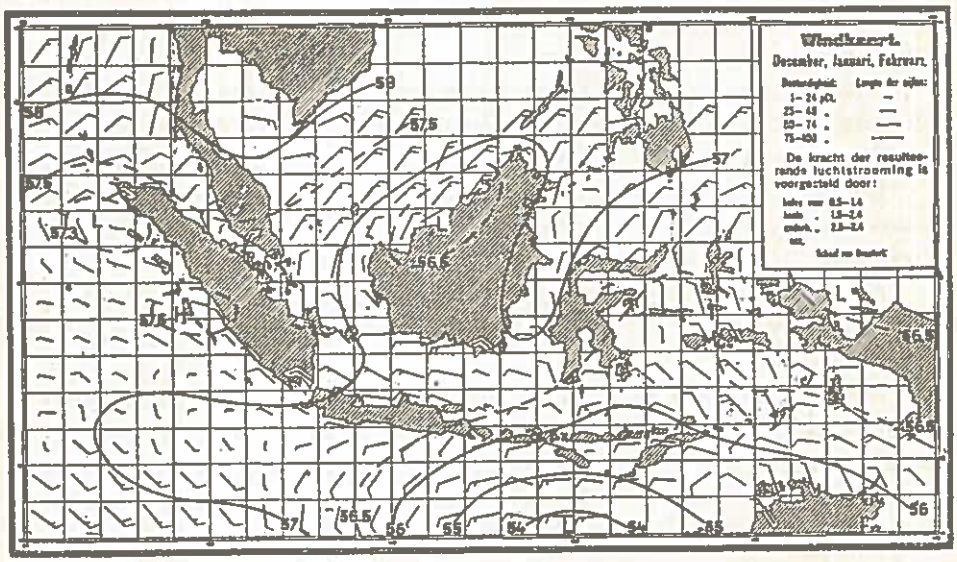

Fig. 16.

meestal ontbreken, zullen de stijgende luchtbewegingen voor een groot deel als stuwingsverschijnselen, tengevolge van de verschillen in horizontale luchtbewegingen moeten worden opgevat.

De volgende factoren bevorderen dus den regenval in het bedoelde gebied:

1e. de snelheid van de luchtbeweging neemt hier sneller af dan in het Westen van den Oceaan (fig. 4-29*a*);

2e. de hier toestroomende lucht nadert den Australischen lagen druk (fig. 2-29*a*);

3e. de temperatuur van de lucht is hier gemiddeld hooger dan in het westelijk deel van den Oceaan (fig. 12-29*b*).

Een aandachtige beschouwing van fig. 4 en 16 laat ons verder op 4° à 8° Z. B. en van 100° tot 120° O. L. het ontmoetingsterrein ontdekken van den tot een Westenwind omgebogen Noordoostmoesson van de Chineesche Zee en den Zuidoostpassaat van den Zuidelijken Indischen Oceaan.

Hierdoor zal stuwing moeten ontstaan, dus uitwijken van de lucht in verticalen zin, welke in een gebied, reeds gunstig voor condensatie door de hierboven onder 1, 2 en 3 genoemde oorzaken, een maximum van r. w. h. doet ontstaan.

Als tegenhanger kan het gebied ten noorden van Australië dienen.

Fig. 17.

Ofschoon de temperatuur hier ook zeer hoog is en de barometer hier lager staat dan over Zuid-Sumatra, de Java Zee en Borneo, is de r. w. h. hier kleiner. Maar in plaats van af te nemen en samen te dringen, zien wij hier de luchtbeweging toenemen en waaiervormig uiteenloopen, door de aanwezigheid van lagen druk benoorden Nieuw-Guinea, zoodat hier dalende luchtstroomen in het spel komen (fig. 16) in plaats van stijgende.

De lijn van 5% r. w. h. loopt aanvankelijk op 35° à 37° Z. B., buigt tusschen 40° en 70° O. L. noordwaarts uit, om daarna, na eene inbuiging naar het Westzuidwesten, in oostzuidoostelijke richting verder te loopen naar 45° Z. B..

Ten zuiden en westen van Australië vinden wij een zeer droog gebied.

Het naar het Noorden uitbuigen van de lijn, die de 5% r. w. h. aangeeft, houdt waarschijnlijk verband met het, daar ter plaatse, naar het Zuiden uitbochten van de 760-isobaar en den daar minder sterken Zuidoostpassaat (fig. 2 en 4-29*a*).

Voor het eigenaardige gebied met minder dan 5% r. w. h. tusschen 35°—40° Z.B. en 50°—55° O.L. vinden wij eene aanwijzing in eene gelijktijdige beschouwing van fig. 2 en 14. Het gebied van die kleine r. w. h. valt juist samen met een scherpe kromming van de 762.5-isobaar; een sterke divergentie van de luchtbeweging is daar dus te wachten, hetgeen altijd samengaat met regenarmoede. Er zij nog op gewezen, dat de lijn van 5% r. w. h. ook zoo had geteekend kunnen worden, dat het thans afzonderlijk geteekende kleine gebied er binnen had gelegen. Het verband met fig. 14 was dan duidelijker geweest.

Ten zuiden van de lijn van 5% neemt de r. w. h. tot 15% toe op 45° Z.B.; dit toenemen houdt natuurlijk verband met het feit, dat ten zuiden van 40° à 45% breedte de groote barometrische minima voorbij trekken.

b. *Juni, Juli en Augustus.*

Figuur 3, 5, 13, 15 en 17 toonen ons een kleine r. w. h. ter plaatse, waar de Zuidoostmoesson over Australië en den Oost-Indischen Archipel waait, en verder daar, meer in het westelijk deel van den oceaan, waar de Zuidoostpassaat, over den equator ombuigend tot Zuidwestmoesson, waaiende is. Een secundair gebied met kleine r. w. h. ligt beoosten Voor-Indië, in de Golf van Bengalen. Wij komen daarop later terug.

Bewesten den Oost-Indischen Archipel, tot 85° O.L., zien wij een verhoogde r. w. h. tot 8 à 10%.

Figuur 3 en 5 geven hiervan de verklaring. Daar ter plaatse bevindt zich n.l. een groot vlak gebied van lagen druk met een duidelijke cyclonale luchtbeweging. Aan de windzijde van Voor- en Achter-Indië neemt de r. w. h. toe tot 10 à 15%; aan de lijzijde van eerstgenoemd gebied vindt men, in de Golf van Bengalen, een gebied met zeer kleine r. w. h..

Zeer duidelijk komt hier, ten eerste, het gevolg van de opstuwing, dus stijging, van den oplandigen wind in het licht, waardoor de lucht aan de loefzijde van het gebergte haar regen laat vallen. Ten tweede zien wij het Föhn-verschijnsel optreden in de groote droogte aan de lijzijde van het gebergte van Voor-Indië en Colombo.

Ten zuiden van 35° Z.B. neemt de r. w. h. toe van 10 tot 25 % en bereikt dus een grooter bedrag dan in het voorgaande seizoen. Het verschil tusschen zomer en winter komt hier dus duidelijk te voorschijn in den vorm van lager barometerstand (fig. 2 en 3, 29*a*), grooter windkracht (tabel IV, p. 72 en 73, 29*a*) en veel grooter regenwaarschijnlijkheid.

Als hoofdkenmerken van de r. w. h. zijn te noemen:

1. Grooter r. w. h. aan de loefzijde van land of eilanden dan aan de lijzijde.

2. Betrekkelijk kleine r. w. h. in den eigenlijken Zuidoostpassaat en Noordoostmoesson met hun dalende, anticyclonale luchtbeweging.

3. Betrekkelijk groote r. w. h. in het ontmoetingsgebied van twee windsystemen (stuwing), in de lage druk gebieden nabij den equator (oostelijke zijde van den oceaan) en in de groote depressiegebieden van hooge zuiderbreedte met hun cyclonale luchtbeweging.

c. *De jaarlijksche gang van de regenwaarschijnlijkheid.*

Deze werd alleen berekend voor het vak 363, 10°—19° Z.B./80°—89° O. L., gelegen in het gebied van den Zuidoostpassaat. In de hier volgende tabel wordt de r. w. h. in % gegeven, benevens de gemiddelde Beaufort-kracht van de algemeene luchtbeweging.

Maand.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
R. w. h.	5	5	4	6	4	4	6	6	7	4	4	3
Luchtbew.	4	3	3	4	4	4	5	5	5	5	4	4

Eenig verband tusschen de r. w. h. en de snelheid van de algemeene luchtbeweging is uit de hierboven gegeven getallen af te leiden.

d. *De dagelijksche gang van de regenwaarschijnlijkheid.*

Ook hiervoor werden alleen berekeningen uitgevoerd voor het vak 363; tevens werd onderzocht welke kans men daar heeft op een geheel natte of geheel droge wacht (4 uur). De berekeningen werden verricht voor die tijdvakken, gedurende welke de passaat zijn grootste en kleinste kracht en bestendigheid bereikt; dus voor de maanden Juli, Augustus, September, October en voor de maanden Februari en Maart.

Van Juli—October werd in 1515 van de 10636 wachten, dat een schip aldaar vertoefde, regen waargenomen; de passaat bereikt met N. 140° O. 4.7 Beaufort en 88 % bestendigheid, zijn hoogtepunt.

De verdeeling van het aantal wachten, gedurende welke het 0, 1, 2, 3, 4, enz. kwartieren regende, vindt men in onderstaande tabel.

Maand.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Totaal.
Juli ...	2118	34	44	2	158	—	8	—	36	—	2	—	13	—	1	—	32	2 448
Aug. ..	1994	41	52	11	133	—	12	—	55	—	3	—	18	—	4	—	30	2 353
Sept. ..	1597	40	43	4	152	—	11	1	59	—	5	—	34	—	1	—	26	1 973
Oct....	3412	66	84	4	175	2	19	1	46	—	4	—	21	—	2	—	26	3 862
Totaal.	9121	181	223	21	618	2	50	2	196	—	14	—	86	—	8	—	114	10 636

De kans op 4 achtereenvolgende droge uren is dus groot, bijna 86 %; de kans op 4 achtereenvolgende natte uren zeer klein, en wel 1 %. Voor de hiertusschen liggende aantallen kwartieren regen kan ook de kans berekend worden, maar de uitkomst is niet van denzelfden aard als de hier bovenstaande, aangezien de waarneming, dat het bijvoorbeeld gedurende een wacht 8 kwartieren heeft geregend, niet wil zeggen, dat deze 8 kwartieren achter elkaar zijn voorgekomen.

Overigens wijzen de eigenaardige toppen bij 4, 8, 12 en 16, en in mindere mate bij 2, 6, 10 en 14 er op, dat dikwijls tot geheele en halve uren is afgerond. De sterk uitspringende maxima bij 4 kwartieren wijzen er echter wel op, dat een bui van ongeveer één uur, toch meer dan die van een anderen duur zal zijn voorgekomen.

De r. w. h. in deze vier maanden is 4.8 %; de verdeeling over het etmaal is als volgt:

Md.	4p.	8p.	Mn.	4a.	8a.	Gemiddeld.
4.1	3.6	4.5	4.6	6.2	5.6	4.8
— 0.7	— 1.2	— 0.3	— 0.2	1.4	0.8	Afwijking.

Wij vinden hieruit de volgende formule voor de r.w.h. voor het etmaal:

$$\text{r. w. h.} = 4.8 + 1.1 \cos (nt - 248^\circ) + 0.4 \cos (2nt - 192^\circ).$$

Hierbij dient in aanmerking te worden genomen, dat de waarnemingen geboekt worden aan het einde van iedere wacht, en dat dus de 4.1 %, gevonden voor den middag, eigenlijk geldt voor 10 uur voormiddag en de formule dus ook voor dit aanvangsuur doorgaat.

Rekent men, zooals gebruikelijk is, van den middag af, dan luidt de formule:

$$\text{r. w. h.} = 4.8 + 1.1 \cos (nt - 218^\circ) + 0.4 \cos (2nt - 132^\circ).$$

De meeste regen valt dus in den nanacht; met het oogenblik van grootste verwarming van het zeeoppervlak heeft dit verschijnsel dus niets te maken.

In de maanden Februari en Maart bereikt de passaat zijn geringste snelheid en bestendigheid, nl. N. 120° O. 2.9 en 70 %; 3668 wachten vertoefde er een schip in dit vierkant, van welke er in 424 wachten, gedurende één of meer kwartieren regen is gevallen.

De verdeeling van het aantal kwartieren vindt men in onderstaande tabel:

Maand.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Totaal.
Februari	952	17	25	6	61	—	4	—	24	—	2	—	14	—	1	—	9	1115
Maart	2292	20	43	3	117	—	7	—	31	2	2	—	10	—	1	—	25	2553
Totaal	3244	37	68	9	178	—	11	—	55	2	4	—	24	—	2	—	34	3668

De opmerkingen voor de maanden Juli—October gemaakt, met betrekking tot de eigenaardige toppen, gelden ook hier.

De kans om gedurende een geheele wacht regen of droog weer te hebben is 1 en 88 %, getallen welke vrijwel hetzelfde zijn als voor de maanden Juli—October.

De r. w. h. is 4.0 %; de verdeeling over het etmaal volgt hieronder, met de formule, waarbij de middag als aanvangspunt van telling is genomen:

Md.	4p.	8p.	Mn.	4a.	8a.	Totaal.
3.1	3.5	2.9	4.3	4.9	5.2	4.0
— 0.9	— 0.5	— 1.1	0.3	0.9	1.2	Afwijking.

$$\text{r. w. h.} = 4.0 + 1.1 \cos (nt - 229^\circ) + 0.3 \cos (2nt - 102^\circ).$$

Over het algemeen bestaat er dus zeer weinig verschil tusschen de hoeveelheid en verdeeling over het etmaal van de r. w. h. gedurende de beide seizoenen.

Voor het geheele jaar vinden wij de volgende afwijkingen met bijbehoorende formule:

Md.	4p.	8p.	Mn.	4a.	8a.	Totaal.
3.6	3.5	3.7	4.5	5.6	5.4	4.4
— 0.8	— 0.9	— 0.7	0.1	1.2	1.0	Afwijking.

$$\text{r. w. h.} = 4.4 + 1.0 \cos (nt - 219^\circ) + 0.3 \cos (2nt - 120^\circ).$$

Voor de Noordzee, in de lijn der lichtschepen, dus dicht bij de Nederlandsche kust, vinden wij voor het jaar de volgende getallen, die, omdat de waarnemingen op precies dezelfde wijze verricht werden, direct met bovenstaande gegevens, vergelijkbaar zijn.

Md.	4p.	8p.	Mn.	4a.	8a.	Totaal.
6.0	5.8	6.4	7.2	7.3	7.4	6.7
— 0.7	— 0.9	— 0.3	0.5	0.6	0.7	Afwijking.

$$\text{r. w. h.} = 6.7 + 0.9 \cos (nt - 206^\circ) + 0.2 \cos (2nt - 187^\circ).$$

De regenwaarschijnlijkheid in de Noordzee langs onze kust is dus 50% grooter dan in het passaatgebied van den Indischen Oceaan, de dagelijksche gang van het verschijnsel is in beide zeegebieden van denzelfden aard.

Voor den dagelijkschen gang van de bewolking vinden wij voor den Indischen Oceaan en voor de Noordzee de volgende afwijkingen van het gemiddelde; tusschen de afwijkingen van de r. w. h. en die van de bewolking blijkt, vooral in den Indischen Oceaan, eenig verband te bestaan.

Tijd.	Md.	4p.	8p.	Mn.	4a.	8a.	Plaats.
Juli—Oct.	— 0.33	— 0.07	— 0.10	0.06	0.25	0.20	Ind. Oceaan.
Febr.—Mrt.	— 0.17	0.09	— 0.14	0.07	0.03	0.12	„ „
Jaar.	0.02	0.01	— 0.11	— 0.26	— 0.01	0.35	Noordzee.

VI. FREQUENTIE VAN LUCHTDRUKKINGEN EN STORMACHTIGE WINDEN.

1. *Methode van onderzoek.*

De waargenomen barometerstanden, herleid op zeeniveau en 0° C., werden op de waarnemingsuren uitgetrokken en voor elk der zes groepen werden de aantallen met een zoodanigen coëfficient vermenigvuldigd, dat de eindsommen der aantallen op 10 000 uitkwamen. Onder 760 werden geboekt de waarnemingen van 759.5 tot en met 760.4.

Deze uitkomsten zijn in de tabellen gegeven. Bovendien is voor het moesson- en voor het passaatgebied de dagelijksche gang berekend uit de gemiddelde standen voor het einde van iedere wacht.

De frequentie der stormachtige en andere winden is ontleend aan de tabellen van Mededeelingen en Verhandelingen n°. 29*a*, p. 64 e. v.

2. *Moessongebied.* 5°—14° N./60°—69° O.

a. *Januari.*

De luchtdrukking schommelt tusschen 753 en 769 en 90% van de waarnemingen valt tusschen 759.8 en 765.2.

De dagelijksche gang wordt voorgesteld door de formule:

$$p = 762.53 + 0.32 \cos (nt - 283°) + 0.68 \cos (2nt - 279°).$$

Windkracht 3 en 4 Beaufort is het talrijkst, met 55% der waarnemingen; windkracht 8 of hooger komt niet voor. Het is hier dus bij uitstek rustig weder.

b. *Juli.*

De luchtdrukking schommelt tusschen 747 en 773 en 90% van de waarnemingen valt tusschen 752.2 en 761.8; de druk is dus veel lager dan in Januari, de spreiding, evenals het luchtdrukverval, is veel grooter. De richting van het verval blijkt uit de kaarten n°. 2 en 3 voor de luchtdrukking in Med. en Verh. 29*a*.

Voor den dagelijkschen gang geldt de formule:

$$p = 756.97 + 0.27 \cos (nt - 293°) + 0.48 \cos (2nt - 288°).$$

Windkracht 6 en 7 Beaufort is het talrijkst met 49 % der waarnemingen; windkracht 8 of hooger komt in 16 % van de waarnemingen voor.

De Zuidwestmoesson is dus wel veel ruwer dan de Noordoostmoesson, waarop ook het bijna 2 × grooter luchtdrukverval in Juli wijst.

3. *Passaatgebied.* 10°—19° Z./80°—89° O.

a. *Januari.*

De luchtdrukking schommelt tusschen 753 en 766 en 90 % van de waarnemingen valt tusschen 757.0 en 764.8. Voor den dagelijkschen gang geldt de formule:

$$p = 760.63 + 0.14 \cos (nt - 246°) + 0°.49 \cos (2nt - 307°).$$

Windkracht 4 en 5 Beaufort is het talrijkst met 45 % der waarnemingen, 1 % komt bij windkracht 8 of hooger voor.

b. *Juli.*

De luchtdrukking schommelt tusschen 755 en 769 en 90 % van de waarnemingen valt tusschen 757.7 en 765.3.

De spreiding is dus iets kleiner, het verval iets grooter dan in Januari, de gemiddelde stand iets hooger.

Voor den dagelijkschen gang geldt de formule:

$$p = 761.77 + 0.17 \cos (nt - 226°) + 0.47 \cos (2nt - 296°).$$

Beaufort 5 en 6 is het talrijkst met 57 % der waarnemingen; windkracht 8 of hooger komt in 5 % van alle waarnemingen voor.

De passaat is in den winter van het zuidelijk halfrond dus veel ruwer dan in den zomer.

4. *Westenwindgebied.* 35°—44° Z./70°—79° O.

a. *Januari.*

De barometer schommelt tusschen 744 en 776 en 90 % der waarnemingen valt tusschen 755.9 en 771.1. De spreiding is dus veel grooter dan in het moesson- of passaatgebied.

Windkracht 4 en 5 Beaufort is het talrijkst met 44 %; windkracht 8 of hooger komt in 4 % der waarnemingen voor.

b. *Juli.*

De barometer schommelt tusschen 732 en 779; 90% der waarnemingen valt tusschen 748.2 en 774.8. De spreiding en ook het verval is dus veel grooter dan in Januari en het winterseizoen komt zoowel in de frequentie der luchtdrukking als in die der windkracht duidelijk te voorschijn.

Windkracht 6 en 7 is het talrijkst met 36% der waarnemingen; windkracht 8 Beaufort of hooger komt in 29% der waarnemingen voor.

De naam „roaring forties" is wel toepasselijk.

Het was niet mogelijk voor dit gebied den dagelijkschen gang van de luchtdrukking te berekenen door het onvoldoend aantal waarnemingen; toevallige veranderingen in luchtdrukking maskeerden hier dit verschijnsel.

Lucht-drukking.	Moessongebied		Passaatgebied		Westenwindgebied	
	Januari.	Juli.	Januari.	Juli.	Januari.	Juli.
732	—	—	—	—	—	8
33	—	—	—	—	—	12
34	—	—	—	—	—	9
35	—	—	—	—	—	17
36	—	—	—	—	—	21
37	—	—	—	—	—	8
38	—	—	—	—	—	4
39	—	—	—	—	—	17
740	—	—	—	—	—	25
41	—	—	—	—	—	29
42	—	—	—	—	—	34
43	—	—	—	—	—	67
44	—	—	—	—	4	63
45	—	—	—	—	5	118
46	—	—	—	—	9	122
47	—	5	—	—	4	114
48	—	3	—	—	5	122
49	—	23	—	—	—	152
750	—	41	—	—	14	177
51	—	120	—	—	42	236
52	—	342	—	—	74	261
53	2	707	7	—	83	261
54	6	1038	32	—	106	337
55	6	1131	128	5	162	393
56	6	1232	307	33	171	388
57	22	1192	468	126	291	376

Lucht-drukking.	Moessongebied		Passaatgebied		Westenwindgebied	
	Januari.	Juli.	Januari.	Juli.	Januari.	Juli.
58	100	1040	776	308	318	418
59	247	1055	1160	896	355	422
760	720	811	1533	1626	521	506
61	1440	602	1823	1746	531	464
62	2253	329	1768	1867	674	489
63	2375	150	1066	1494	757	401
64	1689	87	610	748	853	430
65	783	26	287	518	711	422
66	248	20	35	303	780	485
67	83	13	—	208	879	397
68	16	5	—	107	724	425
69	4	6	—	15	577	350
770	—	10	—	—	549	294
71	—	3	—	—	443	273
72	—	5	—	—	175	161
73	—	5	—	—	92	214
74	—	—	—	—	42	177
75	—	—	—	—	37	121
76	—	—	—	—	12	88
77	—	—	—	—	—	71
78	—	—	—	—	—	13
79	—	—	—	—	—	8
Gemiddeld + 700 ..	62.53	56.97	60.63	61.77	64.18	60.67

VII. TROPISCHE CYCLONEN.

1. *Inleiding.*

De Indische Oceaan heeft twee groote gebieden, waar tropische cyclonen voorkomen. Het zijn:

a. de Arabische Zee en de Golf van Bengalen ten noorden van 8° noorderbreedte;

b. een zich naar het Westen verbreedenden strook in den Zuidelijken Indischen Oceaan bezuiden 8° zuiderbreedte, zich uitstrekkende van het zeegebied tusschen Australië en de Kleine Soenda-Eilanden over de Cocos-Eilanden naar Madagascar en de oostkust van Afrika.

Voor het bereiken van het eiland Madagascar buigt de baan van veel cyclonen naar het Zuiden en Zuidoosten om en hiervan trekt een deel dan over de Mascarenen. Dit kan, met het feit, dat MELDRUM, chef van het Meteorologisch Observatorium te Mauritius, veel over deze cyclonen heeft gepubliceerd, oorzaak zijn, dat gesproken wordt over Mauritius-cyclonen, als men die van den Zuidelijken Indischen Oceaan bedoelt.

Soms trekken de cyclonen langs de noordpunt van Madagascar de Straat van Mozambique in; Port Amelia, 12° 57′ Z.—40° 30′ O. en Tschinde, 18° 34′ Z.—36° 28′ O., werden door cyclonen zwaar geteisterd. Uitdrukkelijk wordt er hier op gewezen, dat, zeer ten onrechte, in sommige Nederlandsche en Duitsche publicaties [1]) de Cocos-Eilanden met omgeving als cycloon-vrij worden voorgesteld. Vele huizen zijn er voorzien van cyclone-shutters en de cycloon-frequentie is er ongeveer hetzelfde als in de omgeving van Mauritius.

Ten noorden en ten zuiden van den equator volgt een groot deel van de cyclonen een tijd lang een westnoordwestelijke of een westzuidwestelijke baan, eene richting dus nagenoeg samenvallend met den koers van het naar het Westen bestemde scheepvaartverkeer; dit maakt hen dubbel hinderlijk.

---

[1]) Zeemanshandboek, Deel I, p. 364. S. P. L'HONORÉ NABER, 1910. Maritieme Meteorologie en Oceanografie door P. BOSSEN en P. VAN DER ZEE, 1911, 1916 en 1922. Seehandbuch für den Indischen Ozean, p. 22, Deutsche Seewarte 1915. Monatskarte für den Indischen Ozean. Deutsche Seewarte 1915. Maritime Meteorologie und Ozeanographie von Joseph Krausz, 1917.

De beruchte Aden-cycloon (31 Mei—3 Juni 1885) was bijzonder gevaarlijk; deze liep de Golf van Aden in en veroorzaakte daar zware verliezen aan schepen en menschenlevens. Door gebrek aan zeeruimte was het vrijwel ondoenlijk dezen cycloon te ontloopen.

2. *Jaarlijksche gang van de cycloonfrequentie.*

a. Arabische Zee. Het onderzoek, dat de jaren 1648—1915 omvat, brengt ons tot de volgende cijfers. Het totaal aantal cyclonen over het beschouwde tijdvak waargenomen, was dus 75, waaruit volgt, dat eens in de 3.5 jaar een cycloon zou zijn voorgekomen.

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	4	0	2	9	11	17	1	0	1	9	17	4
In %	5	0	3	12	15	23	1	0	1	12	23	5

Vangen wij echter in het jaar 1840 met deze statistiek aan, dan komen wij tot onderstaande verdeeling en hieruit zien wij, dat de jaarlijksche gang vrijwel onveranderd is gebleven, maar dat het totaal aantal cyclonen 38 bedraagt, zoodat eens in de 2 jaar een cycloon is waargenomen. Volgens tabellen, voorkomende in het „Seehandbuch für den Indischen Ozean" en op den rug van de „Monatskarte für den Indischen Ozean", zou men in de Arabische Zee op één cycloon per jaar moeten rekenen. Een en ander toont voldoende aan, dat een statistiek, die met het jaar 1648 begint, niet geschikt is om er *absolute* gegevens uit af te leiden, om de eenvoudige reden, dat de mate van het scheepvaartverkeer sterk is toegenomen, zoodat tegenwoordig zoo goed als zeker geen cycloon aan de aandacht ontsnapt. Ook is het mogelijk, dat vroeger alleen de zware cyclonen gemeld werden.

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	2	0	2	3	6	9	1	0	0	6	8	1
In %	5	0	5	8	16	23	3	0	0	16	21	3

b. Golf van Bengalen. Hier vinden wij de volgende verdeeling over het jaar. Dit is een statistiek, afgeleid door BLANFORD, die loopt

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	2	0	2	9	21	10	3	4	6	31	18	9
In %	2	0	2	8	18	9	2	3	5	27	16	8

over de jaren 1737—1885. Volgens de Bay of Bengal Pilot, uitgegeven door het Hydrographic Department van de Admiralty te London, vindt men over het tijdvak 1877—1903 het volgende aantal „storms of great intensity", terwijl het aantal stormen van minder belang de „storms of

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	—	—	—	1	8	4	4	2	6	8	17	6
In %	—	—	—	2	14	7	7	4	11	14	30	11

moderate intensity" een geheel ander beeld geven. Het is duidelijk, dat wij hier met een geheel ander natuurverschijnsel te maken hebben. Het

Matige cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	—	—	—	3	5	25	40	38	43	30	8	3
In %	—	—	—	2	3	12	20	20	22	15	4	2

typische beeld van den dubbeljaarlijkschen gang, dat zoowel de Arabische Zee als de Golf van Bengalen toonde, is hier verdwenen. Als wij dieper op de zaak in gaan dan blijken dit alle te zijn „stormen van den regentijd", wij zouden het ook kunnen noemen „zware moessonverheffingen". Zij komen alle voor aan den top van de Golf, bewegen zich westwaarts, hebben inderdaad een cyclonale windverdeeling rond zich die aan de noordzijde zwak ontwikkeld is, maar het zijn geen zelfstandige cyclonen.

Voor het tijdvak 1877—1923 vinden wij bij Mrs. NEWNHAM en NORMAND de volgende aantallen en percentages.

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	0	0	1	6	14	8	8	2	9	15	22	9
In %	1	0	1	6	15	8	8	2	10	16	23	10

Ook hier dus weer de dubbeljaarlijksche gang in de cycloonfrequentie, zij het dan ook met een afwijking ten opzichte van BLANFORD, dat n.l. het tweede maximum in November, niet in October valt.

Volgens de Admiralty-statistiek zouden in 26 jaar 56 hevige cyclonen zijn voorgekomen dus ruim 2 per jaar, volgens NEWNHAM—NORMAND in 46 jaar 94, dus ook ruim 2 per jaar. De Golf van Bengalen heeft dus per jaar minstens 2 maal zooveel cyclonen als de Arabische Zee en in beide randzeeën vinden wij in de frequentie een dubbel-jaarlijksch karakter.

c. Zuidelijke Indische Oceaan. In den Zuidelijken Indischen Oceaan vinden wij volgens MELDRUM over het tijdvak 1848—1885 de volgende jaarlijksche verdeeling van de cyclonen.

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	71	61	59	50	19	3	2	0	0	5	25	33
In %	22	18	17	16	6	1	1	0	0	2	7	10

Dit zou dus wijzen op gemiddeld 9 cyclonen per jaar. De Zuidelijke Indische Oceaan is dus veel cycloonrijker dan de Noordelijke helft, waarbij wel in aanmerking dient genomen te worden, dat het beschouwde gebied hier ruim 3 maal grooter is. Voor de Cocos-Eilanden vonden wij de volgende verdeeling over het jaar, waarbij geput werd uit de tabellen van SCHÜCK en uit de registers van het Kon. Ned. Met. Instituut over de jaren 1856—1885, voor het gebied 10°—20° Z. B./90°—105° O. L..

Cyclonen.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Aantal	5	12	13	9	2	1	1	1	1	3	5	7
In %	9	20	22	15	3	2	1	1	2	5	8	12

Cycloonachtige verschijnselen werden gerekend aanwezig te zijn bij windkracht 8 à 9 Beaufort en hooger, indien ook andere verschijnselen op een atmosferische storing wezen. In het algemeen is overeenstemming met bovenstaande verdeeling voldoende, het geringe aantal in Januari is toeval en wellicht te wijten aan weinig vaart in het beschouwde gebied. Zeer opvallend is, dat in de maand Februari 1861, die berucht was om de hevige en veelvuldige Mauritius-cyclonen, er 2 in het z. g. „cycloonvrije" gebied voorkwamen. In „De Zee" Juni 1910, komt een beschrijving van een cycloon voor, die van 27—28 Nov. 1909 over de Cocos-Eilanden trok.

Voor een gemakkelijker overzicht geven wij in de volgende tabel de cycloon-frequentie in de beschouwde zeegebieden en in de Chineesche Zee. De gegevens voor laatstgenoemd gebied zijn ontleend aan „The Cyclones of the Far East door José Algué. S. J..

Cycloon-frequentie in %.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Aantal per jaar.
Arab. Zee .	5	0	5	8	16	23	3	0	0	16	21	3	1
Golf van Bengalen	2	0	2	8	18	9	2	3	5	27	16	8	2
Z. Indische Oceaan ..	22	18	17	16	6	1	1	0	0	2	7	10	9
Chin. Zee .	2	0	1	2	5	9	16	16	19	14	11	5	20

Het meest opvallend is de dubbeljaarlijksche gang in de Arabische Zee en de Golf van Bengalen en de enkeljaarlijksche gang in den Zuidelijken Indischen Oceaan en de Chineesche Zee. De dubbeljaarlijksche gang komt nergens anders ter wereld voor. Verder bestaat er een seizoentegenstelling tusschen den Zuidelijken Indischen Oceaan en de Chineesche Zee.

De dubbeljaarlijksche gang in de genoemde randzeeën kan als volgt worden verklaard.

Zooals bekend is, gaan de gebieden van Noordoost- en Zuidwestmoesson op noorderbreedte, op zuiderbreedte die van Noordwestmoesson en Zuidoostpassaat niet onmiddellijk in elkaar over; zij zijn gescheiden door een langgerekt gebied van lagen druk (zie fig. 2 en 4-29*a* voor laatstgenoemde gebieden).

In een dergelijk gebied van lagen druk ontstaat en verdwijnt dikwijls

meer dan een kleine wervel, totdat op een zeker oogenblik de bestaansvoorwaarden zóó gunstig zijn, dat uit den kleinen wervel de groote cycloon geboren wordt.

Dit gebied van lage luchtdrukking en veranderlijke winden verplaatst zich binnen de keerkringen en volgt daarbij de zon.

In de maanden December, Januari, Februari en Maart ligt het langgerekte en flink ontwikkelde gebied van lagen luchtdruk in den Indischen Oceaan bezuiden den equator, het strekt zich tot over Australië en Afrika uit; boven het vasteland van Azië is het winter-hoogdrukgebied tot volle ontwikkeling gekomen. Over de Arabische Zee, de Golf van Bengalen en de Chineesche Zee heerscht een vrij groote, van Noord naar Zuid gerichte gradiënt, de Noordoostmoesson komt tot volle ontwikkeling; cyclonen zijn in de drie zeeën zoo goed als onbekend in deze maanden, de frequentie bereikt haar kleinste waarde.

Na of op het eind van Februari trekt de gordel van lagen druk weer noordwaarts (p. 63-29*a*) en komt dan eerst in den Zuidelijken, daarna in den Noordelijken Indischen Oceaan op een breedte, waar de invloed van de afwijking ten gevolge der aardrotatie (evenredig aan sin φ) te klein is om wervels in stand te houden; tegelijkertijd neemt het gebied van hoogen druk boven Azië in beteekenis af. Het gevolg van genoemde verplaatsingen en veranderingen is, dat in de Golf van Bengalen en in de Arabische Zee groote gebieden met vlakke gradiënten voorkomen op een breedte, gunstig om wervels in stand te houden. In April, Mei en Juni wordt het eerste maximum in de cycloonfrequentie gevonden.

Wanneer men handboeken op cycloongebied voor de betrokken zeegebieden opslaat, zal men zien, dat tijdens de voorjaarskentering het gebied, waar cyclonen ontstaan, zich noordwaarts verplaatst, in de najaarskentering daarentegen zuidwaarts.

Omstreeks eind Mei verplaatst de kern van de Aziatische depressie zich zuidwestwaarts en wordt dieper; het permanente gebied van hoogen luchtdruk in den Zuidelijken Indischen Oceaan neemt in beteekenis toe, de gordel van lagen druk is verdwenen en opgenomen in de groote Aziatische depressie en er is een groote van Zuid naar Noord gerichte gradiënt ontstaan. Het resultaat is een flink doorstaande Zuidwestmoesson; in de Golf van Bengalen neemt na Mei, in de Arabische neemt na Juni de cycloonfrequentie snel af.

Zooals reeds werd vermeld, komen in het Noorden van de Golf van Bengalen in den eigenlijken regentijd nog wel stormen voor met cyclonaal karakter, maar een echte cycloon is toch een zeer groote uitzondering.

Het hoofdkenmerk is een zeer sterke Zuidwestmoesson, die met kracht van storm tot zwaren storm doorstaat.

In September begint de toestand zich te wijzigen, de zon krijgt zuiderdeclinatie, de temperatuur daalt in Midden-Azië, de continentale lage druk maakt plaats voor hoogen druk en over de Arabische Zee en de Golf van Bengalen komt de gordel van lagen druk weer te voorschijn, waarin de cyclonen ontstaan. Deze gordel verplaatst zich in zuidelijke richting.

Hierdoor wordt in genoemde zeegebieden in October en November een tweede maximum van cycloonfrequentie bereikt. Het gebied van lagen druk trekt verder equatorwaarts en passeert den equator en komt op een noorder-, later zuiderbreedte, waarbinnen geen cyclonen voorkomen, 8° N.—8° Z.B..

Samenvattend is dus het karakter van randzee, met noordelijke grens op ongeveer 20° breedte, dat de Golf van Bengalen en Arabische Zee kenmerkt, te zamen met de luchtdrukverdeeling op het Aziatisch vasteland en in den Indischen Oceaan als oorzaak op te vatten van die eigenaardige halfjaarlijksche periode.

De cycloonfrequentie in den Zuidelijken Indischen Oceaan is gemakkelijker te begrijpen. Wij zagen in October en November maxima in de cycloonfrequentie optreden in den Noordelijken Indischen Oceaan, daarna trekt het gebied van lagen druk, waarin die cyclonen gevormd worden, zuidwaarts.

In de strook tusschen 18 en 21° Z.B. komt over den geheelen oceaan de laagste druk in Februari voor, maar in Januari en Maart is hij slechts weinig hooger. In dezen gordel van lagen druk ontstaan de cyclonen, de grootste frequentie wordt in deze maanden bereikt; er zij nog op gewezen, dat ten noorden van dezen gordel de Noordwestmoesson, ten zuiden de Zuidoostpassaat waait.

De Zuidoostpassaat is in deze streken de algemeen doorstaande wind; hij bereikt in Februari en Maart zijn kleinste kracht en bestendigheid, van Juli tot en met September is hij daarentegen het sterkst. Voor het vak 10°—19° Z./80°—89° O. gelden achtereenvolgens de volgende getallen voor richting, kracht en bestendigheid:

N. 120° O. 2.9 Beaufort 70%.
N. 143° O. 4.8 „ 88%.

Hieronder laten wij nog een tabel volgen, geldend voor 24°—27° Z. en 54°—57° O., waaruit het verband blijkt tusschen cycloonfrequentie,

eenerzijds, anderzijds de jaarlijksche gang van luchtdrukking, temperatuur van lucht en water en zeer waarschijnlijk ook de betrekkelijke vochtigheid, die op hun beurt afhankelijk zijn van de zonsdeclinatie.

De barometerstanden zijn herleid tot 0° C. en 45° breedte en zeespiegel en verminderd met 760 m.m.; de temperatuur is verminderd met 20° C.

Maand.	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Cycloonfrequentie ..	22	18	17	16	6	1	1	0	0	2	7	10
Luchtdrukkring	1.0	0.7	1.3	2.7	3.4	5.6	6.6	7.4	7.1	5.3	3.5	1.6
Temp. Lucht	5.1	5.5	5.0	4.1	2.9	1.3	0.8	0.6	0.9	1.8	3.0	4.1
„ Water	4.9	5.5	5.4	4.7	3.5	2.4	1.6	0.8	1.2	1.8	3.0	4.1

Na April komt de gordel van lagen druk, waarover wij het hierboven hadden, weer op noorderbreedte; de cycloonfrequentie neemt dan ook snel af om na November weer toe te nemen.

Een gelijksoortige redeneering is ter verklaring van de cycloonfrequentie in de Chineesche Zee te houden; wij zijn hier echter op noorderbreedte, er moet met den Zuidelijken Indischen Oceaan dus een tijdsverschil van 6 maanden zijn; de grootste cycloonfrequentie moet dus in dit gebied in den nazomer vallen, op het tijdstip, dat in den Zuidelijken Indischen Oceaan het minimum voorkomt.

Inderdaad vallen de tijdstippen van het midden der beide maxima, voor den Zuidelijken Indischen Oceaan ± 1 Maart, voor de Chineesche Zee ± 1 September, juist 6 maanden uit elkaar; voor de beide minima geldt hetzelfde. De tijdstippen van maximum en minimum in het eene oceaangebied correspondeeren met dat van minimum en maximum in het andere.

Tusschen de periode der zonnevlekken en de cycloonfrequentie in den Zuidelijken Indischen Oceaan bestaat, zooals reeds door MELDRUM in 1877 werd aangegeven, eenig verband; over het tijdvak 1848—1906 kwamen wij tot het volgende resultaat:

Rangnummer der Periode-jaren.	Min. 1	2	3	4	Max. 5	6	7	8	9	10	11
Cycloonfrequentie	7	8	7	12	13	12	10	9	8	7	7

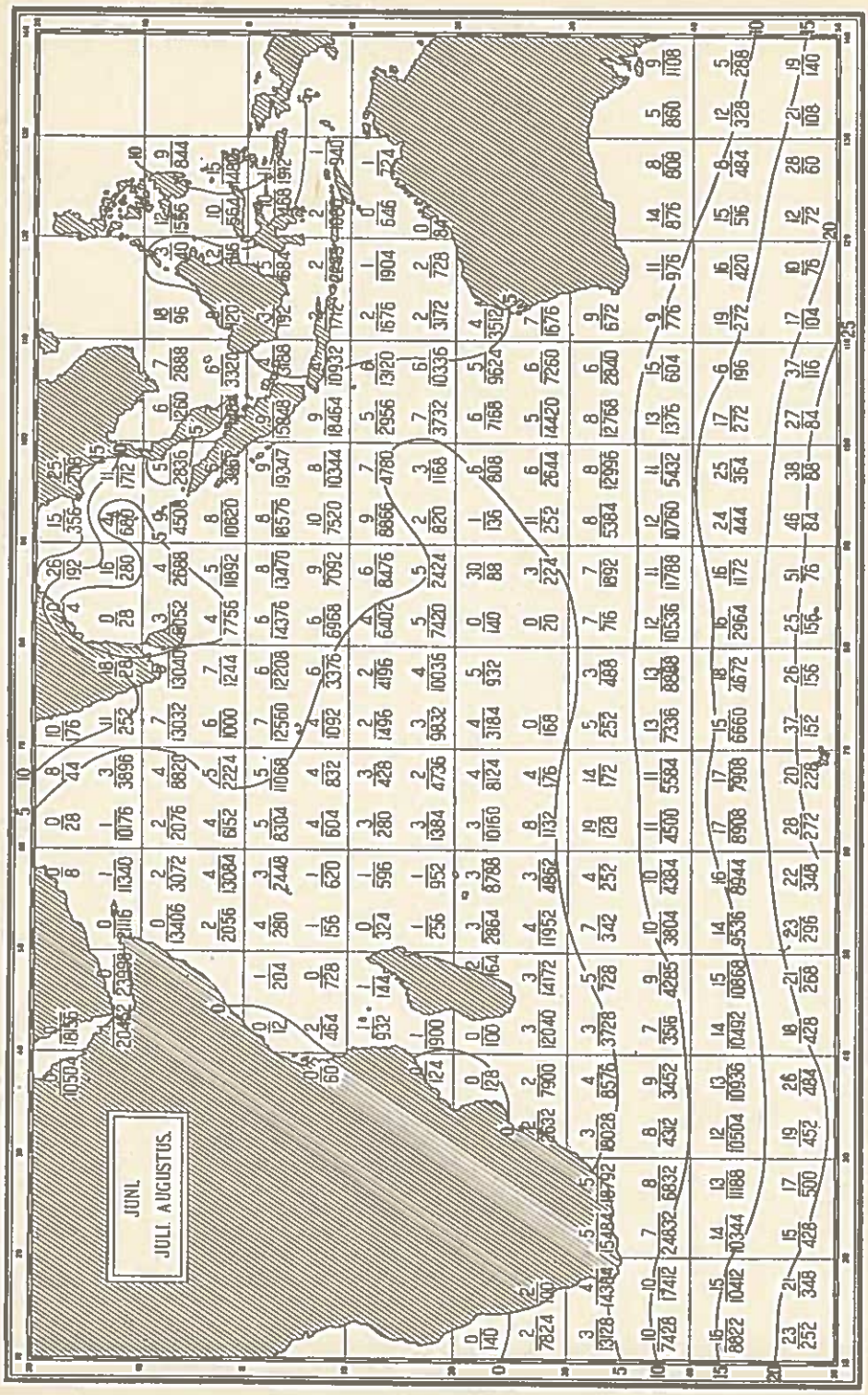

Fig. 15.

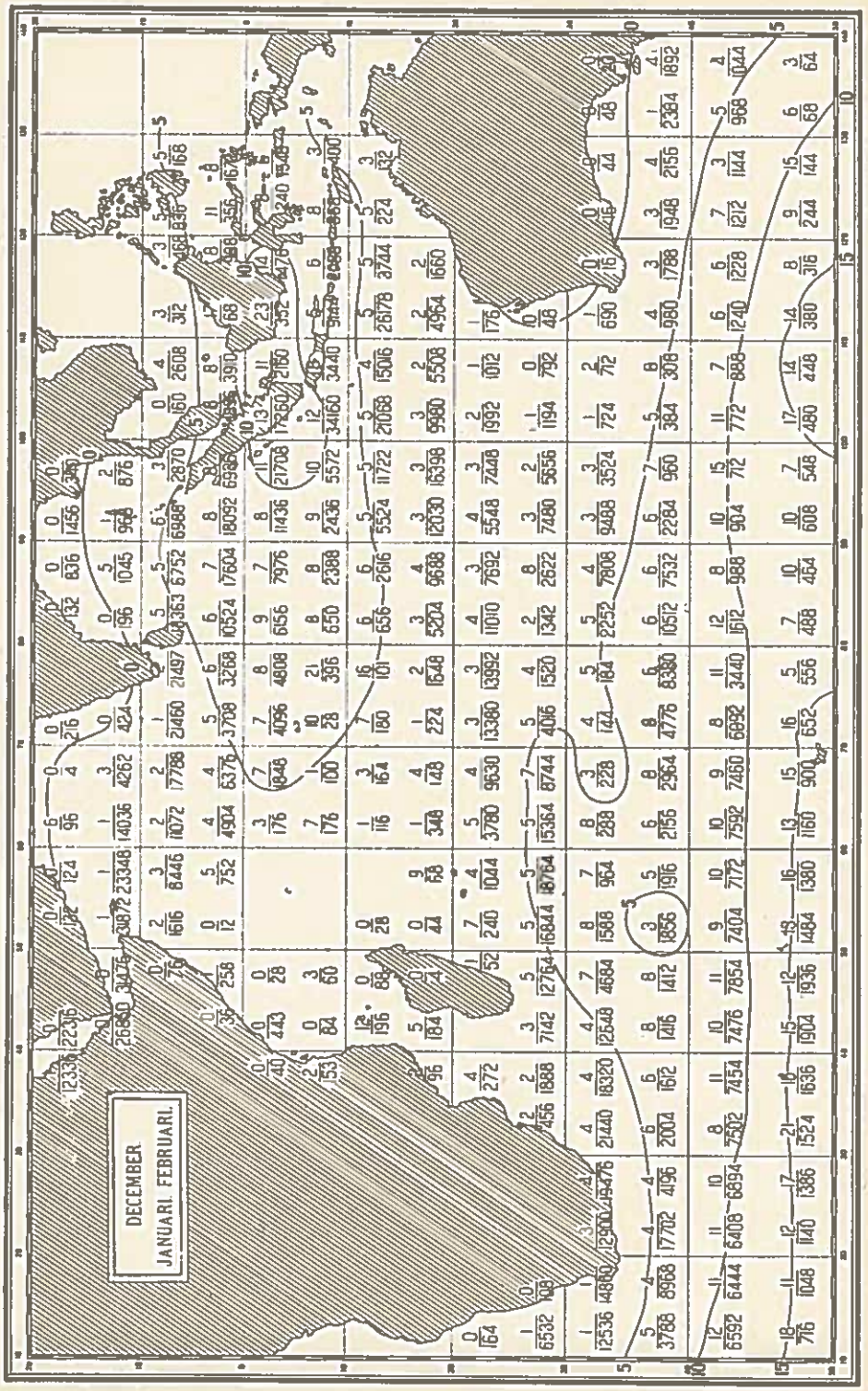

Fig. 14.

CLIMATOLOGY OF THE INDIAN OCEAN.

ENGLISH SUMMARIES.

V. PRECIPITATION.

1. *General remarks.*

The greater part of the precipitation falls in the N. I. Ocean as rain; hail is very seldom mentioned. In the region of the brave Westwinds of the S. I. Ocean snow and hail are more frequent than in the N. I. Ocean. For the charts rain, hail and snow have been taken together and we only speak of the probability of rain (p. o. r.) as rain prevails in all parts of the ocean.

The figures give the p. o. r. in percentages and the number of hours of observation available in each square of 5° latitude and longitude, for the combined months January, February, March and June, July, August.

The percentage of p. o. r. is the quotiënt of the number of quarters of an hour during which precipitation was entered in the meteorological logs and the number of quarters of an hour during which a ship observed in the 5° square.

2. *Probability of rain* (fig. 14 and 15).

a. *December, January and February.*

The regions with maxima and minima of p. o. r. are mentioned and reasons are sought why a maximum of rainfall is found in the Dutch East-Indian Archipelago.

This maximum must depend on an increased convergence of the wind-trajectories, which are favoured by the following factors:

1. The speed of the air-transport decreases here more than in the western part of the ocean (fig. 4-29*a*).

2. The air approaches the Australian depression (fig. 2-29*a*).

3. Generally the airtemperature is higher than in the western part of the ocean (fig. 12-29*b*).

Moreover fig. 4 and 16 show us in about 4°—8° L. S. and 100°—120° L. E. an area where the Northeast-monsoon of the China Sea meets the Southeast-trade of the South Indian Ocean and bend round together to a westerly wind. It is evident that here the air, adducted from all sides,

can only find a way out in a vertical direction; cooling, condensation and precipitation must follow in an area already favourable for rain.

As a contrast we mention the region to the north of Australia were a divergency in the prevailing windsystems is observed, and in spite of other favourable circumstances a decrease in the p. o. r. occurs.

A minimum of p. o. r. with a separated secondary minimum is found from between 30°—40° L. S. and 50° L. E. to Australia; coïnciding with the ridge of maximum air-pressure.

To the south of this maximum of air-pressure the p. o. r. increases, we approach here the heirway of the big depressions in the roaring forties.

b. *June, July and August.*

Maxima and minima of p. o. r. are discussed and attention drawn to the difference caused by the anabatic and kathabatic winds on both sides of the Indian Peninsula and Ceylon.

c. *Deals with the yearly range of the p. o. r..*

A comparison is made for each month for square 363 10°—19° S./ 80°—89° E. between wind in Beaufort-units and the p. o. r.. Generally spoken a greater windforce coïncides with a bigger p. o. r..

d. *Deals with the daily range of the p. o. r. and again a special investigatoin was made for square 363.*

From July to October when the trade reaches its maximum the probability of four consecutive dry or wet hours is 86 and 1 %; for February and March when the trade-winds are minimal in force, these numbers are 88 and 1 %.

The p. o. r. in the trades of the S. I. Ocean is compared with that of the North Sea near the Dutch coast; the result was that the daily range was nearly the same, the p. o. r. reaches its maximum between 4 a. m. and 8 a. m., but in the North Sea the p. o.r. surpasses with 50 % that in the trade region of the Indian Ocean.

VI. FREQUENCY OF AIR-PRESSURE AND STORMY WINDS.

For each of the six groups of observations, as they are made on board of seagoing ships, the sum of the number of observations has been

reduced to 10 000, and under 760 are entered all the barometer-readings between 759.5 and 760.4, reduced to 0° C. and sealevel.

The frequency of stormy and other forces of the wind is derived from the tables in n°. 29*a*, p. 64.

In chapter 2, 3 and 4 the monsoon, trade- and Westwind-region are considered. The formulae are given for the diurnal range of pressure for the monsoon- and trade-region; for the Westwind-region the number of observations was not sufficient.

VII. TROPICAL CYCLONES.

1. In the Introduction the parts of the Ocean are mentioned where cyclones occur and the fact, that erroneously in some Dutch and German handbooks, the Cocos-Isles are called cyclone-free.

2. Yearly range of cyclone-frequency.

The yearly range is considered for the Arabian Sea, the Bay of Bengal and the whole South-Indian Ocean, from the triangle between Australia and the Smaller Sunda-Isles to Madagascar or Africa.

A clear distinction is made between the real cyclones and the cyclonic stormwinds that are observed at the head of the Bay of Bengal, during the Southwestmonsoon. Furthermore the reason is explained why in the Arabian Sea and Bay of Bengal a double-yearly range occurs and a single-yearly range in the China Sea.

For the South-Indian Ocean the relation is shown between cyclone-frequency, pressure and temperature of air and water. The climatological differences between the North- and South-Indian Ocean are further considered in connection with the cyclone-frequency.

At the end MELDRUM's comparison from 1877 between the periodicity of sunspots and the frequency of the Mauritius cyclones is extended over the period 1848—1906 with the following result:

Yearnumber of Sunspot-period.	Min. 1	2	3	4	Max. 5	6	7	8	9	10	11
Cyclone-frequency.....	7	8	7	12	13	12	10	9	8	7	7

About the years of the maximum in the period of the sunspots a slight maximum in the cyclone-frequency for this ocean occurs.