

Over de luchtdrukwaarnemingen op de  
lichtschepen "Terschellingerbank" en "Texel"

(vervolg op Verslag V-35)

door

Drs. G. Verploegh en Dr. B. Heyna

551. 508. 4 (26)

Bij een vergelijking van de gecorrigeerde aflezings van de scheepskwikbarometer (no. 232) op het lichtschip "Terschellingerbank" met de gelijktijdige aanwijzingen van een aneroïde aan boord was gebleken, dat de kwikspiegel van de barometer bij gelijke aanwijzing van de aneroïde gemiddeld lager stond naarmate de wind harder was.

Dit verschijnsel (zie ook "De Zee", 1956, blz. 53), waarvan de oorzaak op een nog niet nader verklaarde manier gezocht moet worden in de bewegingen van het schip ten gevolge van zeegang en deining, is verder onderzocht met behulp van enige nieuwe reeksen van vergelijkende waarnemingen, zowel aan boord van de "Terschellingerbank" als aan boord van de "Texel".

I. Op 29 oktober 1958 te 1800 GMT is een nieuwe serie vergelijkende waarnemingen begonnen op het lichtschip "Terschellingerbank". De waarnemingen met de nieuwe scheepskwikbarometer no. 083 en een aneroïde (Fuess B 6983) werden op dezelfde wijze verricht als beschreven in het verslag V-35.

De volgende resultaten van deze meetserie, die op 30 november 21.00 GMT werd afgesloten, werden berekend.

1) Verschil aneroïde in radichut en op dek ( $A_r - A_d$ )

Wind	0	1	2	3	4	5	6 Bft	alle waarnemingen gemiddeld
$A_r - A_d$ :	0.0	+0.35	+0.32	+0.27	+0.34	+0.33	+0.44(mb)	+0.30
N :	4	21	40	87	77	24	5	258

2) Verschil aneroïde in hut en kwikbarometer ( $A_r - K$ )

$A_r - K$ :	-0.55	-0.74	-0.78	-0.83	-0.70	-0.53	-0.54(mb)	-0.73
$\sigma_m$ :	0.33	0.10	0.05	0.04	0.05	0.09	0.12(mb)	0.03

N = aantal waarnemingen

 $\sigma_m$  = stand.-afwijking van het gemiddelde verschil ( $A_r - K$ ).

De kwikbarometer, de aneroïde en een Paulin-reisbarometer waren tevoren op het K.N.M.I. geijkt en gelijkgesteld. Aan boord werd vóór de aanvang der metingen bevonden dat de aneroïde -0.7 mb t.o.v. de Paulin-reisbarometer was verschoven. Deze laatste bleek bij terugkomst op het K.N.M.I. (30 okt.) nog correct aan te wijzen. De aneroïde is aan boord niet meer gelijkgesteld, zodat het gemiddelde verschil  $A_r - K$  te verklaren is als een instelfout van de aneroïde.

Op 27 januari 1959 werd de scheepskwikbarometer Van Doorn no. 083 van boord gehaald en op 29 januari op het K.N.M.I. vergeleken met de standaardbarometer. De herleide standen waren resp.:

Standaardbarometer : 1028,5 mb  
 V. Doorn 083 : 1028,6 mb  
 Paulin : 1028,6 mb

De aneroïde werd op 27 en 28 januari vergeleken met de Paulin-reisbarometer, eerst tweemaal aan boord van de "Terschellingerbank", dan driemaal aan de wal en ten slotte tweemaal aan boord van het lichtschip "Texel".

	Paulin	Aneroïde
op "T.bank": ca. 13 <sup>u</sup>	: 1037,0	1036,8 mb
ca. 13 <sup>u</sup> 30	: 1036,7	1036,5 mb
aan de wal : ca. 20 <sup>u</sup>	: 1035,8	1035,0 mb
ca. 23 <sup>u</sup>	: 1034,4	1033,6 mb
28 jan. ca. 7 <sup>u</sup> 30	: 1032,7	1032,0 mb
op "Texel" : ca. 10 <sup>u</sup>	: 1033,2	1032,4 mb
ca. 11 <sup>u</sup>	: 1033,6	1032,5 mb

Gemiddeld over deze 7 waarnemingen bedroeg de afwijking van de aneroïde -0,66 mb.

Kwikbarometer noch aneroïde zijn dus tijdens de metingen onderhevig geweest aan een verloop van de nulinstelling.

II.

Een volgende serie vergelijkende waarnemingen werd verricht op het lichtschip "Texel" met ingang van 28 januari 1959 te 12.00 GMT tot en met 15 april daaropvolgend te 03.00 GMT. De scheepskwikbarometer droeg het kenmerk: Van Doorn no. 227. Deze proefneming had het volgende resultaat.

1) Verschil aneroïde in radichut en op dek ( $A_r - A_d$ )

Wind	: 0	1	2	3	4	5	6	7 Bft	alle waarnemingen gemiddeld
$A_r - A_d$	: 0.00	0.08	0.01	0.01	0.02	-0.00	-0.05	-0.01 (mb)	+0.01
N	: 18	60	75	129	203	82	33	14	614

2) Verschil aneroïde in hut en kwikbarometer ( $A_r - K$ )

$A_r - K$	: -0.79	-0.81	-0.72	-0.69	-0.68	-0.49	-0.46	-0.38 (mb)	-0.66
$\sigma_m$	: 0.09	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.10 (mb)	0.01

N = aantal waarnemingen

$\sigma_m$  = standaard-afwijking van het gemiddelde verschil ( $A_r - K$ )

Bij een controle-meting op 14 april wees de aneroïde 0.2 mb lager dan de Paulin-reisbarometer. De volgende dag wees de aneroïde op het K.N.M.I. 0.3 mb lager aan dan de standaardbarometer en de Paulin, welke

laatste twee gelijk waren. Gezien het verloop van de meetresultaten op 27 en 28 januari behoeven deze enkele controle-metingen nog geen aanleiding te geven tot de conclusie dat de nulinstelling van de anerofide in belangrijke mate zou zijn verlopen gedurende de proefneming op de "Texel".

Van het gedrag van scheepswikbarometers aan boord der lichtscheperen is bekend dat de ijking van deze barometers over het algemeen niet verandert in zo korte tijd. Nu was kwikbarometer no. 083 van de "Terschellingerbank" speciaal voor deze proefneming uitgezocht en van tevoren op het K.N.M.I. geijkt. Kwikbarometer no. 227 van de "Texel" was op 28 januari met de Paulin vergeleken met als resultaat:

	Paulin	kwikbar. no. 227
ca. 10 uur	1033.2	1033.4 mb
ca. 11 uur	1033.6	1033.5 mb

Op grond van het bovenstaande mogen we aannemen dat een eventueel verloop van de ijking van één der betreffende barometers tijdens de proefnemingen niet zo groot geweest kan zijn, dat hierdoor de onderlinge verhouding van de gemiddelde drukverschillen ( $A_r - K$ ) bij de verschillende windkrachten in elke serie belangrijk zou zijn beïnvloed.

Voor een nadere analyse van het verloop van de drukverschillen wordt hier een statistische methode toegepast, die bekend is onder de naam "Variantieanalyse". Hiervoor rangschikken we de waarnemingen in 22 klassen, waarbij elke klasse is gekenmerkt door twee grootheden:

- 1) de waargenomen windkracht in Beaufort,
- 2) de serie waartoe de waarneming behoort.

De eerste serie omvat de waarnemingen, verricht aan boord van het lichtschip "Terschellingerbank" van 6 augustus tot 1 september 1958, de tweede serie omvat de waarnemingen, eveneens verricht aan boord van het lichtschip "Terschellingerbank" (maar met een andere anerofide), gedurende de periode 29 oktober 1958 tot 30 november 1958; de derde serie ten slotte omvat de waarnemingen aan boord van het lichtschip "Texel" van 28 januari 1959 tot 15 april 1959. Een overzicht van het gemiddelde verschil  $A_r - K$ , in honderdste millibar, in elk van de klassen en gerangschikt naar serie in windkracht, is gegeven in onderstaande tabel.

Beaufort serie	0	1	2	3	4	5	6	7
1	+25	+29	+45	+37	+51	+66	+115	-
2	-55	-74	-78	-83	-70	-53	-54	-
3	-79	-81	-72	-69	-68	-49	-46	-38

De bijbehorende standaard-afwijkingen en aantallen per klasse kan men vinden in de reeds eerder gegeven tabellen.

De waarnemingen die tot eenzelfde klasse behoren worden beschouwd als steekproeven uit eenzelfde universum. Eventueel bestaande verschillen binnen een klasse, ontstaan bijvoorbeeld door een afhankelijkheid van de windrichting of van de wind voorafgaande aan de waarneming, zijn in het rapport V-35 reeds onderzocht en statistisch niet significant bevonden.

We gaan nu eerst onderzoeken of er een significant verschil tussen de 22 klassen onderling bestaat. Is dit nl. niet het geval, dan kunnen de afwijkingen tussen de verschillende klassen aan het toeval worden toegeschreven en heeft het dus geen zin om naar een verband tussen windkracht en verschil  $A_r - K$  te zoeken.

We stellen daartoe de hypothese  $H_0$ : "alle waarnemingen behoren tot eenzelfde universum". Om deze hypothese te toetsen, berekenen we in elke klasse de som der kwadraten van de verschillen tussen de individuele waarnemingen in die klasse en het klassegemiddelde. We nummeren de klassen met 1 t/m 22, en stellen de gevonden sommen voor door  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 22$ . De klassegemiddelden stellen we voor door  $x_i$ , het aantal waarnemingen in de  $i^e$  klasse door  $n_i$ , het totale aantal waarnemingen door  $N$ , het algemene gemiddelde door  $X$  en het aantal klassen door  $p$ .

Volgens Kendall, "The advanced theory of statistics", hoofdstuk 23, kunnen we de hypothese  $H_0$  nu toetsen door de grootheid

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{\sum n_i (x_i - X)^2}{p-1} : \frac{\sum S_i}{N-p} \dots\dots\dots (1)$$

te berekenen en de waarschijnlijkheid voor het optreden van de gevonden of een grotere waarde van  $z$  op te zoeken in een tabel voor de  $z$ -verdeling van Fisher.<sup>1)</sup> We vinden in ons geval:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{2679264}{21} : \frac{1385784}{1109} = 2,3128. \dots\dots\dots (2)$$

De waarschijnlijkheid dat de gevonden waarde alleen door het toeval veroorzaakt zou zijn, is veel kleiner dan 0,001. We concluderen dus dat de hypothese  $H_0$  verworpen moet worden, m.a.w. er bestaat een significant verschil tussen de verschillende klassen.

Dit verschil kan nog twee oorzaken hebben: er kan een verschil bestaan tussen de series (bv. door verschillende indexcorrecties van de gebruikte barometers of door verschillende invloeden van het schip) en er kan een invloed bestaan van de windkracht op het verschil  $A_r - K$ . De eerste oorzaak willen we elimineren, de tweede willen we juist onderzoeken.

We stellen daartoe de hypothese  $H_1$ , dat elk klassegemiddelde voorgesteld kan worden door de formule

$$a_i + f(B) \dots\dots\dots (3)$$

1) Hierbij is verondersteld dat de waarnemingen in elke klasse normaal verdeeld zijn met dezelfde standaardafwijking. Aangezien de afwijkingen in een klasse als waarnemingsfouten aan gelijke instrumenten beschouwd kunnen worden, lijkt deze veronderstelling niet te gewaagd. Bovendien is de waarschijnlijkheid van het vinden van een zo grote waarde voor  $z$  als in (2) dermate klein, dat het ondenkbaar is dat deze alleen veroorzaakt zou zijn door afwijkingen van de normale verdeling.

Hierin is  $a_i$  ( $i=1,2,3$ ) alleen afhankelijk van de serie (dus niet van de windkracht  $B$  in Beaufort) en  $f(B)$  is een nog nader te bepalen functie van  $B$ . Van  $f(B)$  is verondersteld dat deze functie niet afhangt van de serie, omdat we juist willen trachten om, voor wat betreft de windinvloed, alle waarnemingen tezamen te nemen. Mocht, tegen de verwachting,  $f(B)$  (dus het verband tussen  $A_r - K$  en  $B$ ) ook nog van de serie afhangen dan zal dit daarin tot uiting moeten komen, dat op grond van de hieronder toe te passen test de hypothese  $H_1$  verworpen wordt.

We willen nu onderzoeken of voor  $f(B)$  misschien een kwadratische functie gekozen kan worden en vullen de hypothese  $H_1$  daarom met

$$f(B) = bB + cB^2 \dots\dots\dots (4)$$

aan tot de hypothese  $H_2$ . We hebben dan

$$\begin{aligned} Q_i &= x_i - a_1 - bB - cB^2 \text{ voor serie 1, } i = 1 \dots 7 \\ Q_i &= x_i - a_2 - bB - cB^2 \text{ voor serie 2, } i = 8 \dots 14 \\ Q_i &= x_i - a_3 - bB - cB^2 \text{ voor serie 3, } i = 15 \dots 22 \end{aligned}$$

De groottheden  $Q_i$  zijn de verschillen tussen de gevonden gemiddelden  $x_i$  en de "theoretische" waarden, die we zouden vinden als de gemiddelden exact aan de betrekkingen (3) en (4) zouden voldoen.

Het toetsen van de hypothese  $H_2$  geschiedt op analoge wijze als het toetsen van de hypothese  $H_0$ . We berekenen eerst

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{\sum_{i=1}^{p-5} n_i Q_i^2}{\sum_{i=1}^{N-p} S_i} \dots\dots\dots (5)$$

en gebruiken dan de  $z$ -verdeling van Fisher. Vergeleken met (1) is in (5) de noemer  $p-1$  door  $p-5$  vervangen, omdat het aantal vrijheidsgraden nu  $p-5$  is (nl. 5 constanten tegen slechts één in (1)). Om (5) te berekenen moeten we eerst nog de constanten  $a_1, a_2, a_3, b$  en  $c$  bepalen; we doen dit volgens de methode van de kleinste kwadraten en vinden dan (in eenheden van 0,01 mbar).

$$\begin{aligned} a_1 &= +37 \\ a_2 &= -82 \\ a_3 &= -77 \\ b &= -2,6 \\ c &= +1,40 \end{aligned}$$

Hieruit kan berekend worden  $\sum n_i Q_i^2 = 35015$  en daaruit vinden we dan met behulp van (5):  $z = 0,25$ . In de tabel voor de  $z$ -verdeling vinden we een waarschijnlijkheid van 0,05 voor het optreden van een dergelijke waarde van  $z$ , zodat we de hypothese  $H_2$  niet behoeven te verwerpen.

Aannemende dat de aanwijzing van de aneroïde niet door de wind wordt beïnvloed en dat de kwikbarometer bij windkracht nul juist aanwijst, vinden we dus voor de verlaging,  $\Delta p$ , van de aanwijzing van de kwikbarometer aan boord van een lichtschip, ten gevolge van een windkracht  $B$ , de betrekking,

$$\Delta p = -0,026 B + 0,014B^2 \dots\dots\dots (6)$$

Uit onderstaande reeks van de meest waarschijnlijke  $\Delta p$ -waarden, verkregen met behulp van (6), blijkt dat het systematische effect van de wind op de kwikstand in de barometer pas bij ongeveer windkracht 5 groter begint te worden dan de praktische onnauwkeurigheid van de met een scheepskwikbarometer op zee gemeten luchtdrukwaarden.

windkracht	1	3	5	7	Beaufort
verlaging kwikspiegel	-0,01	+0,05	+0,02	+0,50	mb

Om een indruk te geven van de snelle toeneming van het effect bij hogere windkrachten kunnen we hieraan toevoegen dat, indien extrapolatie van de gevonden drukverlagingen voor windkrachten groter dan 7 Bft geoorloofd zou zijn, bij 9 Bft een drukverlaging van 0,9 mb en bij 11 Bft een verlaging van 1,4 mb zou voorkomen als gevolg van boven beschreven effect. Deze extrapolatie is echter uit de aard der zaak zeer onzeker.