

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

WATERSTANDEN LANGS DE NEDERLANDSE KUST

door

H. Timmerman

De Bilt, september 1965

WATERSTANDEN LANGS DE NEDERLANDSE KUST

door

H. Timmerman

1. Inleiding

Gedurende de laatste jaren worden dagelijks op routinebasis voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl voorspellingen der afwijkingen van de waterstanden bij hoogwater per radio verspreid. De berekening van deze afwijkingen geschiedt volgens methodes, uitgewerkt door Schalkwijk [3], Groen en Weenink [1,2]. In dit rapport zijn de voorspellingen voor de genoemde stations uit de jaren 1956-1963 geverifieerd.

Bij verondersteld gevaar voor stormvloed worden ten behoeve van de Rijkswaterstaat extra waterstandsvoorspellingen gegeven voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl. Ook deze voorspellingen zijn aan een verificatie onderworpen.

De verschillen tussen opgetreden en voorspelde waterstanden kunnen aan diverse oorzaken worden toegeschreven. Een poging is ondernomen na te gaan hoe groot de invloed van deze oorzaken afzonderlijk is op de genoemde verschillen. Ook is onderzocht in hoeverre er bij bepaalde meteorologische omstandigheden systematische verschillen voorkomen.

2. De waterstandsvoorspellingen op routinebasis

De afwijking van de waterstanden bij hoogwater wordt voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl op routinebasis vier maal daags voorspeld. Het kan gebeuren dat voor een bepaald hoogwater meerdere voorspellingen worden gegeven. Deze voorspellingen dienen te worden onderscheiden. In dit rapport geldt het volgende: Onder 1e voorspelling wordt verstaan die voorspelling van een waterstand, welke voor een bepaald hoogwater en een bepaald station niet meer door een andere is gevolgd. Onder 2e voorspelling wordt verstaan de onmiddellijk daaraan voorafgaande voorspelling. De eerste voorspelling heeft dus altijd een kortere voorspellingstermijn dan de tweede.

De per radio verspreide waterstandsvoorspellingen zijn in eerste instantie in bovengenoemde groepen ondergebracht. Verder is er onderscheid gemaakt

tussen voorspellingen uit de maanden mei t/m september (zomer) en die uit de maanden oktober t/m april (winter).

De voorspellingen van de waterstanden zijn gebonden aan de volgende klasse-indeling:

Tabel 1

meer dan een halve meter verlaging	< -50
omstreeks een halve meter verlaging	-30 - -80
een geringe verlaging	-20 - -50
geen afwijking van betekenis	-30 - +30
een geringe verhoging	20 - 50
omstreeks een halve meter verhoging	30 - 80
iets meer dan een halve meter verhoging	50 - 100
omstreeks een meter verhoging	70 - 130
omstreeks anderhalve meter verhoging	110 - 190
omstreeks twee meter verhoging	150 - 250
omstreeks twee en een halve meter verhoging	200 - 300
omstreeks drie meter verhoging	250 - 350 cm
enz.	

Met het oog op bovenstaande indeling zijn de verschillen tussen de opgetreden hoogste waterstanden en de erbijbehorende hoogwaterstanden uit de getijtafels onderverdeeld in de volgende klassen: <-80, -80 - -51, -50 - -31, -30 - -21, -20 - +20, 21 - 30, 31 - 50, 51 - 70, 71 - 80, 81 - 100, 101 - 110, 111 - 130, 131 - 150, 151 - 190, 191 - 200, 201 - 250, 251 - 300, 301 - 350, enz.

De gegeven indeling biedt de mogelijkheid contingentie-tabellen (zie tabel 2) samen te stellen.

Uit deze contingentie-tabellen kunnen aankondigings- en trefferpercentages worden afgeleid. Onder het aankondigingspercentage A wordt verstaan de procentuele verhouding tussen het aantal malen dat een afwijking in de voorspelde klasse valt en het totaal aantal malen dat een afwijking uit de bedoelde klasse is opgetreden. Onder trefferpercentage T wordt verstaan de procentuele verhouding tussen het aantal malen dat een afwijking in de voorspelde klasse valt en het totaal aantal malen dat een voorspelling in de desbetreffende klasse kan worden ondergebracht.

In tabel 3 zijn de aankondigingspercentages en de trefferpercentages van de waterstandsvoorspellingen gegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de eerste en tweede voorspelling, alsmede tussen zomer en winter.



Tabel 2b

HOEK VAN HOLLAND

→v ↓o	<u>zomer</u> 1e voorspelling						→v ↓o	<u>zomer</u> 2e voorspelling						
	-55	-35	0	+35	+55	+75		+100	-55	-35	0	+35	+55	+75
-50--31		1	7				-50--31		1	6				
-30--21	1	1	24	1			-30--21	1	2	23	1			
-20--20	1	4	1075	31	3		-20--20	2	2	1019	29	4		
21- 30			216	22	5		21- 30			207	18	5		
31- 50			36	22	10		31- 50			37	15	9		
51- 70			3	1	7		51- 70			3	3	4		
71- 80					2	2	71- 80					1	2	1
81-100						4	81-100					2		2

→v ↓o	<u>winter</u> 1e voorspelling									
	<-55	-55	-35	0	+35	+55	+75	+100	+150	+200
<-80	1	1								
-80--51	3	11	13	12						
-50--31		16	44	82	1					
-30--21		5	25	134	2					
-20--20		1	45	1354	45	19	2	1		
21- 30			2	166	34	16	2	1		
31- 50			1	103	46	39	7	2		
51- 70				15	18	21	11	5	1	
71- 80				2	2	11	6	2		
81-100					3	6	8	11		
101-110							3	2		
111-130							1	4		
131-150								3		
151-190								1	1	
191-200										1

→v ↓o	<u>winter</u> 2e voorspelling									
	<-55	-55	-35	0	+35	+55	+75	+100	+150	+200
<-80	2									
-80--51	14	10	13							
-50--31	15	36	84	1						
-30--21	8	17	125	3						
-20--20	5	49	1261	38	17	2				
21- 30		3	155	33	14	3	1			
31- 50		2	107	44	28	6	2			
51- 70			19	13	23	7	5			
71- 80			8		8	5	2			
81-100			1	1	7	10	8			
101-110					1	2	1	1		
111-130					1	1	3			
131-150							2	1		
151-190							1	1		
191-200								1		









Tabel 3a

V L I S S I N G E N

	<u>zomer</u>								<u>winter</u>								
	1e voorspelling				2e voorspelling				1e voorspelling				2e voorspelling				
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	
<-55									<-55	29	24	40	5	33	24	100	2
-55	0	5	0	2	0	4	0	3	-55	46	113	83	35	43	107	69	42
-35	82	32	0	6	40	29	20	5	-35	67	177	36	132	66	168	36	117
0	96	1379	97	1362	96	1304	97	1294	0	92	1795	84	1862	90	1682	84	1768
+35	86	315	62	74	84	293	55	65	+35	61	581	57	152	59	535	52	132
+55	46	91	67	27	42	86	67	24	+55	36	439	73	119	36	411	70	100
+75	56	16	50	2	46	17	75	4	+75	58	150	73	37	54	144	71	38
+100	100	3	50	4	100	3	50	2	+100	78	55	63	35	74	53	64	25
+150									+150	100	4	100	1	100	4	40	5
+200									+200			0	1				

Tabel 3b

H O E K V A N H O L L A N D

	<u>zomer</u>								<u>winter</u>								
	1e voorspelling				2e voorspelling				1e voorspelling				2e voorspelling				
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	
<-55									<-55	37	41	67	6	36	39		
-55	12	8	0	2	14	7	0	3	-55	41	182	79	34	38	173	66	44
-35	72	35	33	6	76	34	60	5	-35	72	309	53	130	67	289	45	117
0	97	1384	96	1361	96	1313	97	1295	0	93	1856	88	1868	90	1734	87	1773
+35	86	311	57	77	85	291	50	66	+35	68	420	53	151	66	398	58	133
+55	52	83	70	43	43	75	56	25	+55	47	292	63	112	42	279	59	99
+75	58	19	100	2	57	18	100	2	+75	58	122	62	40	54	117	61	36
+100	100	8	100	4	67	8	100	3	+100	72	61	59	32	63	60	56	25
+150									+150	50	10	50	2	40	10	50	4
+200									+200	67	3	100	1	0	3		

Tabel 3c

D E N H E L D E R

	<u>zomer</u>								<u>winter</u>								
	1e voorspelling				2e voorspelling				1e voorspelling				2e voorspelling				
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	
<-55									<-55	57	65	92	13	48	60	82	11
-55	20	15	33	3	23	13	0	1	-55	49	233	77	65	45	225	72	58
-35	88	98	31	16	86	73	38	16	-35	71	350	64	130	70	347	61	146
0	95	1399	97	1353	94	1346	97	1297	0	91	1791	88	1799	91	1717	87	1711
+35	85	229	39	59	85	240	34	67	+35	69	388	37	160	69	352	37	155
+55	56	64	46	39	50	64	54	35	+55	52	301	69	152	49	276	65	133
+75	81	16	85	7	81	16	83	6	+75	61	139	68	25	57	132	64	25
+100	100	4	50	2	100	4	50	2	+100	70	64	79	33	67	63	79	29
+150									+150	65	17	75	4	56	16	40	5
+200									+200	40	5			40	5		
									+250	0	1			0	1		

Tabel 3d

H A R L I N G E N

	<u>zomer</u>								<u>winter</u>								
	1e voorspelling				2e voorspelling				1e voorspelling				2e voorspelling				
	A		T		A		T		A		T		A		T		
<-55	14	7			14	7			<-55	36	153	89	27	31	138	67	12
-55	9	92	33	3	8	92	25	4	-55	29	347	71	76	30	332	64	87
-35	59	191	64	14	58	85	71	14	-35	53	404	50	118	53	382	49	116
0	96	1294	91	1347	95	1231	90	1285	0	93	1617	81	1781	91	1547	80	1703
+35	76	204	48	46	76	195	44	50	+35	69	339	41	127	65	333	39	120
+55	47	79	53	49	44	79	50	40	+55	54	289	68	147	49	293	58	145
+75	89	27	55	11	65	26	50	10	+75	63	152	60	50	53	151	65	51
+100	81	16	100	5	60	15	80	5	+100	60	85	74	34	50	84	70	27
+150	100	3	100	1	100	3	100	1	+150	48	27	50	16	42	24	42	19
+200									+200	50	10	0	2	40	10	0	1
+250									+250	0	3			0	3		

Tabel 3e

D E L F Z I L

	<u>zomer</u>								<u>winter</u>								
	1e voorspelling				2e voorspelling				1e voorspelling				2e voorspelling				
	A		T		A		T		A		T		A		T		
<-55	33	3			50	2			<-55	41	134	80	25	31	126	77	22
-55	11	27	25	4	7	28	25	4	-55	37	257	66	82	32	244	53	70
-35	68	69	64	11	61	70	63	8	-35	61	306	46	111	59	292	43	113
0	92	1315	93	1351	97	1235	93	1286	0	92	1675	84	1797	92	1613	83	1738
+35	78	300	58	48	77	281	48	56	+35	62	423	43	123	62	410	47	114
+55	42	120	68	44	37	112	57	35	+55	43	332	64	148	41	314	60	137
+75	63	33	50	10	54	33	46	13	+75	55	150	55	44	48	136	51	45
+100	71	17	85	7	62	16	75	4	+100	60	74	59	34	52	71	47	32
+150	80	5	100	1	75	4	100	1	+150	45	29	58	12	31	29	44	9
+200									+200	33	9			22	9	0	1
+250									+250	0	2	0	1	0	1	0	1
+300									+300	0	1			0			

De standaarddeviaties van de percentages uit tabel 3 hangen af van het aantal gevallen waarop de percentages berusten, zoals in tabel 4 is aangegeven.

Tabel 4

n = 1600	$\sigma = 1$	n = 100	$\sigma = 5$
n = 400	$\sigma = 2\frac{1}{2}$	n = 50	$\sigma = 7$
n = 300	$\sigma = 3$	n = 25	$\sigma = 10$
n = 200	$\sigma = 3\frac{1}{2}$	n = 10	$\sigma = 16$

Inzicht in het gedragspatroon dat is gevolgd bij de voorspellingen van de opzetten der waterstanden kan worden verkregen door een vergelijking van aankondigings- en trefferpercentages. Om deze vergelijking te vergemakkelijken zijn in tabel 5 gegeven de aankondigings- en trefferpercentages van de eerste voorspelling gemiddeld over de stations Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder enerzijds en gemiddeld over de stations Harlingen en Delfzijl anderzijds.

Tabel 5

	<u>Vs+Hvh+Hedr</u>				<u>Hl+Dz</u>				globaal aantal gevallen	
	<u>zomer</u>		<u>winter</u>		<u>zomer</u>		<u>winter</u>			
	A	T	A	T	A	T	A	T		
<-55			45	67	<-55			39	84	50
-55	14	14	45	79	-55	10	28	49	68	200
-35	84	25	71	51	-35	59	64	55	48	300
0	96	96	92	87	0	94	92	92	82	1800
+35	86	54	64	49	+35	77	53	66	42	400
+55	51	55	44	68	+55	44	60	48	66	300
+75	60	82	59	67	+75	72	52	59	57	200
+100	100	70	76	67	+100	76	92	60	66	50
+150			65	71	+150	87	100	46	54	10
+200			50	100	+200			50	0	1
					+250			0	0	
					+300			0		

Met betrekking tot tabel 5 kan worden opgemerkt dat de aankondigings- en trefferpercentages voor de klasse 0 bijzonder hoog zijn. Veel betekenis kan er echter niet aan worden toegekend, want ook de "voorspelmethode" die uitsluitend de klasse 0 voorspelt, levert een hoog aankondigings- en trefferpercentage.

De klassen +35 en -35 geven in het algemeen aanzienlijke verschillen tussen de aankondigings- en trefferpercentages. De betekenis van deze verschillen

is, dat er ten aanzien van de betrokken klassen een voorzichtige taktiek wordt gevolgd.

Daarentegen brengen de verschillen tussen de aankondigings- en trefferpercentages bij de klassen +55, -55 en <-55 een minder voorzichtige taktiek tot uitdrukking. Blijkbaar is er een zekere schroom om afwijkingen van wat meer betekenis te voorspellen.

De klassen +75, +100 enz. vertonen een steeds geringere bezetting. De representativiteit van de percentages voor deze klassen neemt daardoor af, zodat de verschillen tussen de aankondigings- en trefferpercentages niet significant zijn. De aankondigings- en trefferpercentages bedragen gemiddeld over beide klassen in de winter 63 resp. 64%. In de zomer zijn deze percentages 77 resp. 74%. De percentages die betrekking hebben op de zomer zijn dus iets hoger dan die van de winter. Aan dit verschil, dat erop zou wijzen dat de waterstandsvoorspellingen, althans wat de grote afwijkingen betreft, in de zomer gemakkelijker zouden zijn dan in de winter, kan geen significante betekenis worden toegekend. Wel kan worden opgemerkt dat er met betrekking tot de wind- en stormwaarschuwingen eveneens aanwijzingen zijn dat de voorspellingen in de zomer minder moeilijkheden opleveren dan in de winter. [TIMMERMAN 7].

De percentages voor de klassen +150 en hoger berusten op slechts zeer weinig gevallen. De standaarddeviaties ervan zijn groot en bedragen meestal meer dan 10. Als beste benadering kan worden opgegeven een aankondigings- en trefferpercentage van ongeveer 50%.

De kontingentietabellen geven verder de mogelijkheid de prestatie-index PI te bepalen van de voorspellingen voor de diverse stations. [KUIPERS 4]. Deze zijn in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6

	zomer		winter	
	1e v.	2e v.	1e v.	2e v.
Vlissingen	24	25	34	33
Hoek van Holland	26	25	38	35
Den Helder	22	21	39	38
Harlingen	25	24	38	38
Delfzijl	26	25	37	35

Uit tabel 6 volgt dat de PI van de waterstandsvoorspellingen een jaarlijkse gang vertoont. Voor alle stations is de PI in de winter aanmerkelijk hoger dan in de zomer. Dit hangt ongetwijfeld samen met het feit, dat de afwijkingen van de waterstanden in de winter belangrijk groter zijn dan in de zomer. De verschillen in PI tussen de stations onderling zijn evenwel klein.

Opvallend is verder dat de PI van de eerste verwachting slechts weinig verschilt met die van de tweede. Blijkbaar is de grotere meteorologische onzekerheid tijdens de 2e verwachting van weinig invloed. Deze enigszins verrassende konklusie wordt later nog op andere wijzen bevestigd. (pag. 13, 16 en 20).

### 3. Stormvloeden uit de jaren 1959 t/m 1962

3.0 Tijdens stormvloeden of bij verondersteld gevaar voor stormvloeden worden speciale voorspellingen van de afwijkingen der waterstanden aan de Rijkswaterstaat verstrekt. Deze voorspellingen worden niet ondergebracht in klassen, zoals bij de routinevoorspellingen het geval is, maar meestal in hele decimeters gegeven. Op eenvoudige wijze kan daarom de gemiddelde afwijking en de standaardafwijking van deze voorspellingen worden bepaald. Deze afwijkingen zijn in tabel 7 gegeven voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl. De getallen hebben betrekking op voorspellingen uit de periode najaar 1959 t/m voorjaar 1962. Slechts die voorspellingen zijn bij de berekening betrokken, die niet door andere voorspellingen voor hetzelfde hoogwater zijn gevolgd.

Tabel 7

	$\overline{o-v}$	$\sigma_{o-v}$
Vlissingen	-1,6 dm	2,5 dm
Hoek van Holland	-1,5 dm	2,7 dm
Den Helder	+0,3 dm	2,1 dm
Harlingen	+0,2 dm	3,8 dm
Delfzijl	-0,5 dm	3,7 dm

De voorspellingen voor Harlingen en Delfzijl waren in de periode 1959 t/m 1962 blijkbaar onnauwkeuriger dan die voor Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder. Zie ook pag. 16. De significantie van het verschil kon evenwel niet worden aangetoond. Systematische afwijkingen komen in Den Helder, Harlingen en Delfzijl vrijwel niet, in Vlissingen en Hoek van Holland daarentegen wel voor. De voorspellingen voor de twee laatstgenoemde stations zijn gemiddeld  $1\frac{1}{2}$  dm te hoog. De verschillen bleken zelfs significant van nul af te wijken.

Met behulp van materiaal dat ten grondslag ligt aan de methode Schalkwijk [3], is de standaarddeviatie bepaald van de individuele voorspellingen voor Hoek van Holland bij verhogingen van meer dan 1 meter. Deze standaarddeviatie, die derhalve betrekking heeft op afhankelijk

materiaal, bedraagt 2 dm. Ze is van gelijke orde van grootte als die van Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder. Het is een tweede aanwijzing dat de invloed van de meteorologische onzekerheid van Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder niet groot is. Zie ook pag. 12, 16 en 20.

De vraag doet zich voor welke factoren dan wel een rol spelen bij het tot stand komen van de verschillen tussen opgetreden en voorspelde opzettingen. Ook is het van belang iets te weten omtrent de grootte van de invloed van die factoren.

De volgende factoren kunnen worden genoemd:

- 1) Onjuiste voorspelling van het luchtdrukveld, met inbegrip van de detailstructuur van het luchtdrukveld, die soms ook uit de aktuele weerkaart niet voldoende nauwkeurig kan worden afgeleid.
- 2) Onvoldoende kennis van de samenhang tussen luchtdrukveld en windveld. Bij deze samenhang spelen onder meer stabiliteit en a-geostrofische effecten een rol. Beide kunnen soms niet voldoende nauwkeurig worden vastgesteld.
- 3) Onvoldoende kennis van de invloed van de luchtdruk.
- 4) Onvoldoende kennis van het verband tussen het windveld en het daaruit voortvloeiende windeffekt in het stationaire geval.
- 5) Onvoldoende kennis van de invloed van niet-stationaire effecten.

Hierbij kunnen worden genoemd:

- a) onjuiste keuze van de time-lag, die het tijdsverschil aangeeft tussen het optreden van een bepaald windveld en het daaruit voortvloeiende windeffekt;
  - b) schommeling van het water ten gevolge van tevoren opgetreden stormen;
  - c) het opzweep-effekt;
  - d) het eventueel aanwezig zijn van een extra hoeveelheid water uit de Atlantische Oceaan;
  - e) "golven" lopende langs de Engelse kust naar de Nederlandse kust;
  - f) buienhalingen;
  - g) fronten en troggen, waarbij gedacht kan worden aan "resonantie".
- 6) Fouten in de waterstandsmetingen.
  - 7) Schijneffekten ten gevolge van onvoldoende kennis van de getijkromme.

De bovenstaande zeven factoren behoren ongetwijfeld tot de belangrijkste foutenbronnen. Met andere woorden, de zeven genoemde foutenbronnen geven tezamen aanleiding tot verschillen tussen de voorspellingen van de afwijkingen van de waterstanden en de opgetreden afwijkingen, waarvan het gemiddelde en de standaarddeviatie in tabel 7 zijn gegeven. Verdieping van inzicht

wordt verkregen, zodra kan worden aangegeven welke foutenbronnen de belangrijkste zijn en vooral dan wanneer de grootte van de invloed ervan kan worden vastgesteld. Een poging hiertoe is ondernomen door eliminatie van één of meer foutenbronnen.

- 3.1 In het kader van het onderzoek zijn 16 stormvloeden uit de jaren 1959 t/m 1962 nader onderzocht. Om praktische redenen is de volgende definitie van "stormvloed" gehanteerd: "Als het begin van een stormvloed wordt beschouwd het tijdstip waarop één van de waarnemingsstations tijdens hoogwater een verhoging  $\geq 8$  dm waarneemt, terwijl dit bij de onmiddellijk daaraan voorafgaande waarnemingen van de overige stations en het station zelf niet het geval was. Als het einde wordt beschouwd het tijdstip waarop de afwijking op één van de stations tijdens hoogwater  $\geq 8$  dm bedraagt, terwijl dat bij de onmiddellijk daaropvolgende waarnemingen van de overige stations en het station zelf bij hoogwater niet meer het geval was."

Van iedere stormvloed is een overzicht gegeven van de weerssituatie, het windveld, het windeffekt en het verloop van de verschillen tussen de werkelijk opgetreden waterstanden en de "astronomisch" voorspelde waterstanden tijdens het hoogtepunt van de stormvloed. Bovendien is telkens de opgetreden opzet op het tijdstip van hoogwater vergeleken met de berekende opzet, ten einde eventuele systematische verschillen te kunnen vaststellen.

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, werd het windeffekt bepaald met behulp van methodes, die zijn uitgewerkt door Schalkwijk, Groen en Weenink. Naast de berekende opzetten voor het stationaire geval werden ook steeds de opzetten bepaald, die waren gekorrigeerd voor de luchtdruk, voor de stabiliteit van de lucht of voor het opzwiepeffekt, zoals door Schalkwijk werd beschreven. De merites van deze korrekties werden niet van geval tot geval nagegaan maar werden op andere wijze bepaald. (Zie pag. 15 en 16).

Het windveld werd in de meeste gevallen opgemeten met behulp van de windschaal, ontworpen door BLVOET [6]. Zo nodig werden de vakken Noord, Zuid I, Zuid II, Zuid III en Kanaal bij inhomogene windvelden in kleinere gebieden onderverdeeld. Bij windsnelheden groter dan 50 kts werd de windsnelheid gelijk genomen aan  $\frac{5}{4}$  x gradiëntwind. Steeds werd nagegaan in hoeverre de windwaarnemingen door schepen verricht in overeenstemming konden worden beschouwd met de windmetingen verricht op de weerkaart. Het bleek dat er meestal wel waarnemingen waren, die de opgemeten windkrachten bevestigden.

Voor de bepaling van de windeffekten in Harlingen en Delfzijl diende verder de wind in de Waddenzee bekend te zijn [VERPLOEGH en GROEN, 5]. Voor het windeffekt in Harlingen werd gebruik gemaakt van de windmetingen

in Den Helder en Vlieland en voor het windeffect in Delfzijl van de windwaarnemingen van Norderney. In enkele gevallen ontbraken deze metingen. In die gevallen werd de windkracht uit de weerkaart opgemeten met behulp van de Bijvoet-windschaal.

Een beschrijving van de stormvloeden kan in een aparte bijlage worden aangetroffen.

In de paragrafen 3.1, 3.2, 3.3 en 4 wordt evenwel gebruik gemaakt van gegevens afkomstig van de stormvloeden. Met behulp van deze gegevens werden voor ieder hoogwater een drietal berekeningen uitgevoerd. Deze zijn:

- 1) een berekening B voor het stationaire geval;
- 2) een berekening  $B_p$  waarbij een correctie voor de luchtdruk is toegepast;
- 3) een berekening  $B_s$  waarbij een correctie voor de stabiliteit is toegepast.

Tevens is in de daarvoor in aanmerking komende gevallen de zgn. opzweepcorrectie van SCHALKWIK [3], die samenhangt met de traagheid van het water, toegepast.

Bij de aldus berekende opzetten speelt de meteorologische onzekerheid, die zich in de praktijk voordoet, omdat het luchtdrukveld moet worden voorspeld, vrijwel geen rol meer. De meteorologische onzekerheid is evenwel niet geheel geëlimineerd, omdat ook uit de actuele weerkaart de detailstructuur van het windveld bij gebrek aan waarnemingen op de Noordzee soms niet voldoende nauwkeurig kan worden vastgesteld.

In tabel 8 zijn naast de gemiddelde verschillen tussen de opgetreden en de berekende afwijkingen voor de vijf stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl, ook de gemiddelde verschillen tussen de opgetreden en de voorspelde afwijkingen (1e voorspelling, zie pag. 1) gegeven, alsmede de standaarddeviaties van de individuele berekeningen c.q. voorspellingen. Als voorspelde waarde is gekozen het centrum van het voorspelde interval.

Tabel 8

	$\overline{O-B}$	$\sigma_{O-B}$	$\overline{O-B_p}$	$\sigma_{O-B_p}$	$\overline{O-B_s}$	$\sigma_{O-B_s}$	$\overline{O-V}$	$\sigma_{O-V}$
Vlissingen	-0,8	2,9	-0,7	3,0	-0,7	3,0	-0,5	2,4
H. v. Holland	-0,2	2,5	-0,2	2,5	-0,1	2,6	+0,3	2,3
Den Helder	-0,3	2,8	-0,4	2,8	0,0	2,8	+1,2	2,8
Harlingen	-0,8	3,1	-0,8	3,0	-0,6	3,1	+1,6	3,6
Delfzijl	+0,5	2,9	+0,4	2,7	+0,6	2,9	+2,0	3,2
Gemiddeld	-0,3	2,8	-0,3	2,8	-0,2	2,9	+0,9	2,9



Het verschil tussen de opgetreden en de berekende opzetten gemiddeld voor alle stations bij toepassing van de opzweepkorrektie bedroeg -1,4 dm met een standaarddeviatie in de individuele gevallen van 4,1 dm. Zonder korrektie bleek het verschil gemiddeld over dezelfde gevallen -0,1 dm met een standaarddeviatie van 3,7 dm te zijn. Het opzweepeffect is dus kennelijk niet van primair belang en draagt niet bij tot nauwkeuriger voorspellingen.

De resultaten van tabel 7 en tabel 8 lijken op sommige punten met elkaar in tegenspraak. Strikt genomen mogen de tabellen echter niet met elkaar worden vergeleken, omdat de getallen uit tabel 7 betrekking hebben op slechts een deel van het materiaal dat aan tabel 8 ten grondslag ligt, namelijk het deel met dusdanig hoge opzetten, dat contact met Rijkswaterstaat noodzakelijk was. Bovendien zijn de voorspellingen van tabel 7 puntvoorspellingen, terwijl die van tabel 8 intervalvoorspellingen zijn, waarbij het centrum van het interval als voorspelde waarde is gekozen.

Uit tabel 8 blijkt dat de opzetten, berekend met behulp van het aktuele windveld, al dan niet met toepassing van de genoemde correcties, vrijwel geen systematische afwijkingen ten opzichte van de opgetreden opzetten te zien geven. De voorspellingen, per radio verspreid in gevallen dat er opzetten  $\geq 8$  dm optraden, zijn voor de stations Den Helder, Harlingen en Delfzijl daarentegen systematisch te laag. Vlissingen en Hoek van Holland geven geen systematische afwijkingen.

Een vergelijking der standaarddeviaties leert, dat de correcties voor de luchtdruk en voor de stabiliteit geen betere resultaten opleveren.

De voorspelde opzetten en de achteraf berekende opzetten, zonder toepassing van correcties, vertonen in hun standaarddeviaties merkwaardigerwijs geen significante verschillen, hetgeen een bevestiging vormt van hetgeen op pag. 12 en 13 reeds werd vermeld, namelijk dat de meteorologische onzekerheid in dit opzicht geen rol van betekenis speelt. Foutenbron 1, voor zover deze betrekking heeft op een onjuiste voorspelling van het windveld, speelt dus blijkbaar geen rol van betekenis. Dit op het eerste gezicht verrassende resultaat moet ongetwijfeld worden toegeschreven aan het feit dat het, mede door de omstandigheid dat het effect van het windveld op het water met een zekere vertraging werkt, gaat om verwachtingen van het windveld op zeer korte termijn, waarbij bovendien in hoofdzaak gebruik wordt gemaakt van een wind, die als een gemiddelde moet worden beschouwd over een bepaald gebied.

De per radio verspreide voorspellingen voor Harlingen en Delfzijl blijken onnauwkeuriger te zijn dan die voor de overige stations. Dit is in overeenstemming met de aanwijzing op blz. 12. Volledigheidshalve moet evenwel worden

opgemerkt, dat het materiaal niet onafhankelijk van elkaar is. De gemiddelde standaarddeviatie voor Harlingen en Delfzijl bedraagt 3,4 en voor Den Helder, Hoek van Holland en Vlissingen 2,5. Dit verschil is significant. Bij de berekende opzetten bedragen deze getallen resp. 3,0 en 2,8. Ook hier komen Harlingen en Delfzijl er slechter af, hoewel het verschil nu niet significant is. Er kunnen argumenten worden aangevoerd, die de slechtere resultaten voor Harlingen en Delfzijl begrijpelijk maken. Deze argumenten hangen samen met de ligging van de genoemde stations, waardoor bijvoorbeeld de foutenbronnen 4, 5f en 7 een grotere rol spelen dan bij de andere stations.

3.2 In de praktijk geschiedt de berekening van de opzetten met behulp van weerkaarten, die informatie over het windveld geven telkens met een tijdsinterval van 3 uur. Dit betekent, dat een achteraf berekende opzet voor het tijdstip  $t = t_0$  noodzakelijkerwijs geldig is voor het tijdsinterval  $t_{0-1\frac{1}{2}} - t_{0+1\frac{1}{2}}$ . In par. 3.1 is gebleken dat deze achteraf berekende opzetten dezelfde spreiding vertonen als de in de praktijk voorspelde opzetten. Het is daarom zinvol de standaarddeviaties te bepalen van de opzetten in de vijf bewerkte stations, telkens over een tijdsinterval van 3 uur. Daartoe is gebruik gemaakt van halfuurlijkse waarnemingen, waarbij de opzet  $\geq 8$  dm bedroeg. Zie tabel 9.

Tabel 9

Vlissingen	1,5 dm
Hoek van Holland	1,7 dm
Den Helder	1,3 dm
Harlingen	2,5 dm
Delfzijl	1,8 dm

Indien dus de gemiddelde opzet uit het tijdsinterval  $t_{0-1\frac{1}{2}}$  tot  $t_{0+1\frac{1}{2}}$  gebruikt zou kunnen worden als voorspelde opzet voor een willekeurig tijdstip uit het bedoelde interval, dan nog zouden de voorspellingen een standaarddeviatie vertonen, die in tabel 9 is aangegeven. Tot de factoren die nog een rol spelen bij deze standaarddeviaties, kunnen worden genoemd het veranderende windveld op de Noordzee en in het Kanaal binnen een tijdsinterval van 3 uur, golven lopend langs de Engelse kust, buienhalingen, fronten en troggen, meetfouten en fouten in de getijkromme.

Deze factoren bieden vrijwel geen aanknopingspunten ter verbetering van de voorspellingen der waterstanden. Zo bezitten de golven, lopend langs de Engelse kust, een korte periode van slechts enkele uren. In voorkomende

gevallen dragen ze er slechts toe bij dat men van tevoren weet minder nauwkeurige voorspellingen te kunnen doen. Toepassing van het effect van buienhalingen vereist een dusdanig verfijnde kennis van het weer, dat hier geen praktische mogelijkheden liggen tot verbetering van de opzetvoorspellingen. Evenmin is dit het geval met fronten en troggen, waarvan onder meer kan worden vastgesteld dat er resonantie kan optreden, indien deze met een snelheid van ongeveer 40 kts over de Noordzee trekken. (Zie Bijlage, Stormvloed 14). Het effect is praktisch niet te voorspellen, ook al omdat de met de kritische snelheid bewegende systemen bovendien juist op het ogenblik van hoogwater aan de Nederlandse kust moeten aankomen. De genoemde factoren dragen daarom slechts bij tot het inzicht dat de opzetvoorspellingen in bepaalde gevallen onnauwkeuriger zijn dan gewoonlijk.

De getallen uit tabel 9 kunnen daarom worden opgevat als een grens, die aan de nauwkeurigheid van opzetvoorspellingen moet worden gesteld. Dat wil zeggen, dat een voorspelmethode die voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder en Delfzijl een kleinere standaarddeviatie oplevert dan 1,3 - 1,8 dm en voor Harlingen een standaarddeviatie kleiner dan 2,5 dm, praktisch gesproken onmogelijk is.

Deze grens kan ook nog op andere wijze worden benaderd door vergelijking van opgetreden opzetten bij hoogwater in Vlissingen en Hoek van Holland. In de praktijk wordt voor de stations Vlissingen en Hoek van Holland gebruik gemaakt van dezelfde windeffect-formule, aangezien de formules die betrekking hebben op de twee stations afzonderlijk, vrijwel geen verschillen opleveren. Toch zijn de opgetreden opzetten voor beide plaatsen niet precies aan elkaar gelijk. Het blijkt dat bij opzetten  $\geq 8$  dm de opzet in Hoek van Holland gemiddeld 0,8 dm hoger is dan die in Vlissingen, terwijl de standaarddeviatie van dit verschil 2,0 dm bedraagt. Theoretisch bedraagt het verschil bij een tijdens stormvloeden gebruikelijke windrichting en windkracht 0,2 dm. Indien dus voor iedere voorspelling van de opzet bij hoogwater in Hoek van Holland gebruik zou kunnen worden gemaakt van de opzet juist tevoren bij hoogwater in Vlissingen opgetreden, dan nog zouden deze "voorspelde" waarden in Hoek van Holland een standaarddeviatie van 2 dm bezitten.

Tot de factoren die een rol spelen bij deze tamelijk grote standaarddeviatie, kunnen worden genoemd het veranderende windveld op de Noordzee en in het Kanaal binnen een tijdsinterval van 1 uur (het verschil tussen tijdstippen hoogwater Vlissingen en Hoek van Holland bedraagt ongeveer 1 uur), golven lopend langs de Engelse kust (deze komen namelijk niet precies gelijktijdig in Vlissingen en Hoek van Holland aan), buienhalingen, fronten en troggen, meetfouten en fouten in de getijkromme.

De factoren zijn vrijwel dezelfde als die op pag. 17 zijn vermeld. Volgens de laatste beschouwing blijkt de grens die aan de nauwkeurigheid van waterstandsvoorspellingen moet worden gesteld, van dezelfde orde van grootte te zijn als de eerdergenoemde.

Een vergelijking met de standaarddeviaties uit tabel 8 leert, dat deze grens in de praktijk dicht wordt benaderd. Het gemiddelde verschil tussen de standaarddeviaties bedraagt ongeveer 1 dm. Dit verschil kan voornamelijk worden toegeschreven aan:

- 1) onvoldoende kennis van de detailstructuur van het windveld;
- 2) onvoldoende kennis van het verband tussen windveld en windeffekt;
- 3) onjuiste keuze time-lag;
- 4) schommeling van het water, ten gevolge van tevoren opgetreden stormen;
- 5) extra hoeveelheid water uit de Atlantische Oceaan.

Een eventuele verbetering van de opzetvoorspellingen kan praktisch alleen worden bereikt door een beter inzicht in de werking der bovengenoemde vijf factoren.

Ten aanzien van faktor 1 kan worden opgemerkt dat verbetering van het inzicht in de detailstructuur van het windveld slechts kan worden verkregen door vele en goede waarnemingen op de Noordzee. In welke mate dit verbeterde inzicht aanleiding zal geven tot een verbetering van de opzetvoorspellingen kan zonder een experiment niet worden vastgesteld. Wel kan worden opgemerkt, dat voorspellingen gebaseerd op een betere kennis van de detailstructuur van het windveld een standaarddeviatie zullen bezitten, die hoogstens ongeveer 1 dm kleiner is dan die van de huidige voorspellingen, terwijl dit alleen nog maar het geval kan zijn indien de andere factoren geen betekenis zouden hebben. Nu zijn er aanwijzingen dat de factoren 4 en 5 bij de 16 stormvloeden van weinig belang zijn geweest. Een schommeling van het water, hoezeer een realiteit in bepaalde omstandigheden, speelde door de selectie van perioden met stormvloeden, waarbij evenwel geen tweelingstormen betrokken waren, geen rol van enige betekenis. Ook blijkt bij beschouwing van de verschillen tussen opgetreden en berekende opzetten (zie Bijlage) dat er geen sprake kan zijn van de systematische aanwezigheid van een belangrijke hoeveelheid extra water uit de Atlantische Oceaan, terwijl dit in individuele gevallen eveneens als onwaarschijnlijk moet worden beschouwd. Met betrekking tot faktor 3 kan worden opgemerkt dat SCHALKWIJK [3] bij een onderzoek van een groot aantal stormvloeden heeft gevonden dat de time-lag 2-3 uur zou bedragen. Gebleken is evenwel dat in een individueel geval de time-lag groter kan zijn en wel ongeveer 6 uur [WEENINK, 8]. Ook bij de bestudeerde 16 stormvloeden waren er enige aanwijzingen dat de in de praktijk gebruikte time-lag van 3 uur te klein

zou zijn. (Zie 3.3 de punten d en e). Daarom zijn voor Hoek van Holland nogmaals opzetberekeningen uitgevoerd, ditmaal met een time-lag van 12 uur voor distrikt Noord, 6 uur voor de distrikten Zuid I, Zuid III en Kanaal en 3 uur voor het distrikt Zuid III. De aldus berekende opzetten bleken een gemiddelde afwijking van  $-0,7$  dm te bezitten bij een standaarddeviatie van  $2,6$  dm. Een vergelijking met de overeenkomstige waarden  $-0,2$  dm en  $2,5$  dm uit tabel 8 leert, dat de toegepaste vergroting van de time-lag geen systematisch betere resultaten geeft. Evenwel ook geen slechtere resultaten, hetgeen betekent dat kennis van de veranderingen van het luchtdrukveld in 9 uur tijds in distrikt Noord en in 3 uur tijds in de distrikten Zuid I, Zuid III en Kanaal voor Hoek van Holland niet bijdraagt tot een betere voorspelling van de waterstanden. (Zie ook pag. 12, 13 en 16). In individuele gevallen zal een afwijkende time-lag in hoofdzaak pas achteraf kunnen worden vastgesteld, zodat er geen voorspellende waarde aann kan worden toegekend. Tenslotte is een verbetering van de waterstandsvoorspellingen, zij het ook een geringe, mogelijk, indien het inzicht tussen windveld en windeffekt groter wordt. In paragraaf 3.3 zijn enkele punten genoemd, die bij het onderzoek van de 16 stormvloeden naar voren zijn gekomen. Deze punten kunnen wellicht een bijdrage leveren tot een geringe verbetering van de waterstandsvoorspellingen.

- 3.3 Bij de vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten tijdens de in dit verslag betrokken stormvloeden zijn bepaalde aspecten naar voren gekomen, die in de volgende punten kunnen worden samengevat:
- a) Een trogpassage of een frontpassage geeft een extra toeneming van de opzet. Daarbij kan bovendien resonantie optreden, indien het front c.q. de trog met ongeveer 40 kts beweegt.
  - b) De opzetten nemen slechts langzaam of in het geheel niet toe, zolang het front of de trog, die de windruiming markeert, de Nederlandse kust niet is gepasseerd.
  - c) De berekening geeft een te hoge waarde, indien de wind ter plaatse zwakker is dan op andere delen van de Noordzee.
  - d) De opzetten nemen minder snel toe dan het naderen van de depressie doet vermoeden.
  - e) De opzetten nemen minder snel af dan het wegtrekken van de depressie doet vermoeden.
  - f) Bij een isobaarrichting WZW-WNW zijn de berekende opzetten te hoog.
  - g) Bij stormvloeden in de zomer zijn de berekende opzetten aan de hoge kant.
  - h) Extra verhogingen treden soms op tengevolge van een "golf", die langs de Engelse kust loopt met een snelheid gelijk aan die van de getijgolf. Meestal kunnen deze golven in verband gebracht worden met een trog van lage druk.

Deze aspecten kunnen wellicht in sommige gevallen een bijdrage leveren tot iets nauwkeuriger voorspellingen van de waterstanden.

#### 4. Enkele opmerkingen met betrekking tot de praktische voorspelbaarheid van de waterstanden

Ten aanzien van de voorspellingen van de afwijkingen der waterstanden kunnen enkele opmerkingen worden gemaakt. Het onderzoek heeft aangetoond dat enkele punten van belang zijn, waardoor in incidentele gevallen iets nauwkeuriger waterstandsvoorspellingen kunnen worden gegeven. (Zie paragraaf 3.3). Ook kan bij de puntvoorspellingen die tijdens stormvloed en aan Rijkswaterstaat worden verstrekt, rekening worden gehouden met het feit dat de voorspellingen voor Vlissingen en Hoek van Holland systematisch  $1\frac{1}{2}$  dm te hoog zijn. (Zie tabel 7). In het algemeen kan echter worden vastgesteld dat het uiterst moeilijk zal zijn de nauwkeurigheid der waterstandsvoorspellingen aanzienlijk te verbeteren. Daarom dient ervan te worden uitgegaan dat de voorspellingen voor Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder een standaarddeviatie van  $2\frac{1}{2}$  - 3 dm bezitten en die voor Harlingen en Delfzijl een standaarddeviatie van 3 -  $3\frac{1}{2}$  dm. Hiermee is een praktische grens van de voorspelbaarheid van waterstanden gegeven. Het deel van de standaarddeviatie dat samenhangt met meetfouten en fouten in de getijkromme, heeft evenwel geen betekenis voor de ware opgetreden waterstand.

Het voorgaande houdt in dat met betrekking tot de gemeten waterstand rekening moet worden gehouden met de omstandigheid dat bij  $2\frac{1}{2}$  % van de stormvloed, dat wil ruwweg zeggen, bij 1 stormvloed in de 10 jaren, deze gemeten waarde de voorspelde waarde met 5 à 6 dm zal overtreffen in de stations Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder en met 6 à 7 dm in de stations Harlingen en Delfzijl. Van tevoren kan echter niet worden gezegd wanneer die bewuste gevallen zich zullen voordoen. Dit vereist in het bijzonder bij superstormen een voorzichtige taktiek.

#### 5. Samenvatting

In dit rapport is een verifikatie uitgevoerd van waterstandsvoorspellingen, die dagelijks op routinebasis worden gegeven. De aankondigings- en trefferpercentages toonden aan dat er bij afwijkingen van meer dan een halve meter een onvoorzichtiger taktiek werd gevoerd dan bij afwijkingen van geringere betekenis. In de zomer waren zowel de aankondigings- als de trefferpercentages hoger dan in de winter. De prestatie-index daarentegen was in het laatstgenoemde jaargetijde hoger dan in de zomer. Dit hangt samen met het feit dat afwijkingen van wat meer betekenis in de zomer veel zeldzamer zijn dan in de winter. Uit een

vergelijking van de PI der stations onderling en van de PI der eerste en tweede voorspelling bleek, dat er in deze opzichten geen verschillen zijn. De grotere meteorologische onzekerheid tijdens de tweede voorspelling speelde dus merkwaardigerwijze geen rol.

De voorspellingen van de afwijkingen der waterstanden tijdens stormvloed en aan Rijkswaterstaat verstrekt, bleken voor Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder een standaarddeviatie van ongeveer  $2\frac{1}{2}$  dm en voor Harlingen en Delfzijl van ruim  $3\frac{1}{2}$  dm te bezitten. De gemiddelde afwijking verschilde voor de stations Den Helder, Harlingen en Delfzijl niet systematisch van 0. De voorspellingen voor Vlissingen en Hoek van Holland daarentegen waren gemiddeld  $1\frac{1}{2}$  dm te hoog. De grotere standaarddeviatie voor Harlingen en Delfzijl hangt samen met de ligging van deze stations, waardoor er een grotere gevoeligheid is voor lokale effecten. Bij verhogingen van meer dan 8 dm bleek de standaarddeviatie van "achteraf-voorspellingen", gebaseerd op actuele weerkaarten, 2 - 3 dm te bedragen. Hieruit volgde opnieuw dat de invloed van de meteorologische onzekerheid gering is.

In het rapport zijn de belangrijkste factoren genoemd, die een rol spelen bij het tot stand komen van verschillen tussen opgetreden en voorspelde opzettingen. Door eliminatie van bepaalde factoren kon een indruk worden verkregen van het gewicht dat aan sommige factoren of aan groepen van factoren moet worden toegekend. Op deze wijze kon worden aangetoond dat de correcties voor de luchtdruk, voor de stabiliteit van de lucht, voor het opzweep-effekt en ook een andere time-lag gemiddeld geen betere resultaten geven. Het geringe belang van de meteorologische onzekerheid bleek ook nu weer uit het feit dat de voorspelde opzettingen en de achteraf berekende opzettingen in hun standaarddeviaties geen verschillen vertoonden. Verder kon worden aangetoond dat aan de mogelijkheid van opzetvoorspellingen met een standaarddeviatie kleiner dan  $2\frac{1}{2}$  - 3 dm voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder en kleiner dan 3 -  $3\frac{1}{2}$  dm voor Harlingen en Delfzijl uit praktische overwegingen moet worden getwijfeld. Hierbij zij evenwel opgemerkt dat meetfouten en fouten in de getijkromme - die beide bijdragen tot de standaarddeviatie - geen betekenis hebben voor de ware opgetreden waterstand.

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van 16 stormvloed en uit de jaren 1959 t/m 1962. Een verslag van deze stormvloed en is in een aparte bijlage gegeven. Bij de bestudering van deze stormvloed en traden een aantal aspecten naar voren, die in sommige gevallen wellicht een bijdrage kunnen leveren tot iets nauwkeuriger voorspellingen van de waterstanden.

Literatuur:

1. M.P.H. Weenink and P. Groen     A semi-theoretical, semi-empirical approach to the problem of finding wind effects of water levels in a shallow partly-enclosed sea. Proc. Kon. Ned. Ak. v. Wetenschappen, B Vol.61, 198-213, 1958.
2. M.P.H. Weenink     A theory and method of calculation of wind effects on sea levels in a partly-enclosed sea, with special application to the southern coast of the Northsea. K.N.M.I. Med. en Verh., No. 73, 1958.
3. W.F. Schalkwijk     A contribution to the study of storm surges on the Dutch coast. K.N.M.I. Med. en Verh., No. 125, 1947.
4. W.J.A. Kuipers     Over de noodzakelijkheid van weersvoorspellingen, die zijn ingesteld op de verbruiker. Colloquium-verslag KNMI, 8 juni 1954.
5. G. Verploegh and P. Groen     The effect of the wind over the eastern part of the Dutch Wadden Sea on the height of high water at Delfzijl. K.N.M.I. W.R. 52-009.
6. H.C. Bijvoet     A new overlay for the determination of the surface wind over sea from surface weather charts. K.N.M.I. Med. en Verh., No. 71, 1957.
7. H. Timmerman     Wind- en Stormwaarschuwingen uit de jaren 1960 t/m 1963. K.N.M.I. Verslagen V-154, 1964.
8. M.P.H. Weenink     The "twin" storm surges during 21st-24th December 1954. A case of resonance. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Bd 9 Heft 5, 1956.



BILAGE bij het verslag:  
WATERSTANDEN LANGS DE NEDERLANDSE KUST,  
door H. Timmerman, Verslagen V-174, 1965

ZESTIEN STORMVLOEDEN UIT DE JAREN 1959 t/m 1962

1. DE STORMVLOED VAN 25-26 SEPTEMBER 1958

GWL Wz

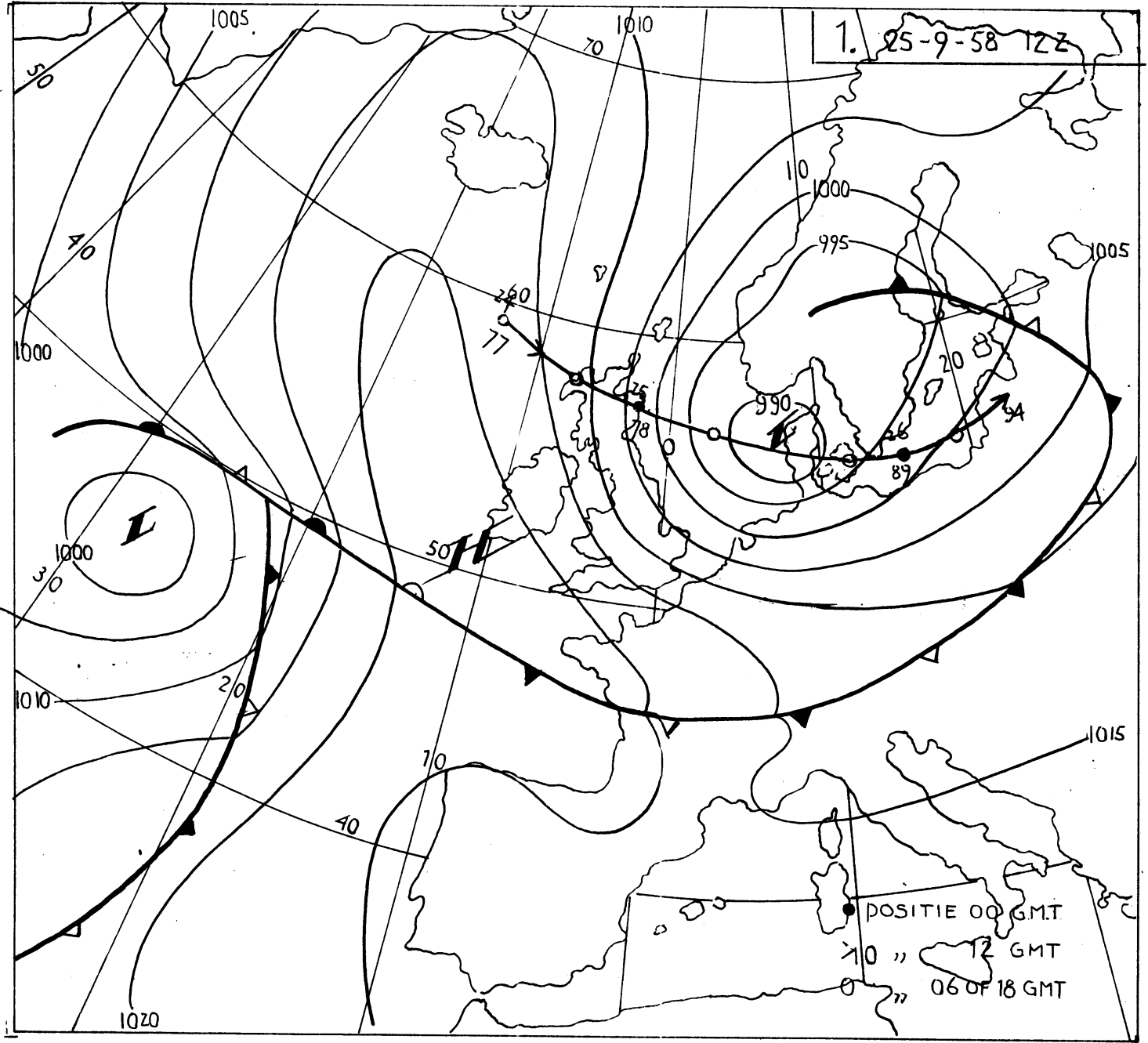
1.0 De weerssituatie

Op 24 september '58 lag een depressie (+ 975 mb) ten NW van Schotland. Deze kon worden beschouwd als een samenvoeging van een snellopende depressie uit het zeegebied ten zuiden van New Foundland en een uit het zeegebied tussen Groenland en IJsland afkomstig lagedrukgebied in de hogere luchtlagen. Op 25 september 00z bereikte het centrum van de depressie de Noordzee ter hoogte van Aberdeen. Vervolgens stak het lagedrukgebied in 12 uur tijds de Noordzee over en bewoog in de avond van 25 september via Denemarken naar het oosten. De depressie veroorzaakte een betrekkelijk kort durende noordwesterstorm van 8-9 beaufort. Deze storm bevond zich aan de achterzijde van een trog, die op 25 september van 06z tot 12z over de Noordzee trok. De treksnelheid van deze trog was dus groot en bedroeg ongeveer 40 kts; de depressie zelf bewoog met een snelheid van ongeveer 25 kts.

In tabel 10 is het windveld in de vakken Noord, Zuid I, Zuid II, Zuid III en Kanaal, alsmede de opgetreden wind in Den Helder, Vlieland en Norderney ten tijde van de storm gegeven. x = windsnelheid kleiner dan 20 kts.

Tabel 10

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlieland	Norderney	
25/9 '58	06	x	290/40	270/37	220/32	280/22	240/34	250/33	240/28
		x							
	09	$\frac{3}{4}$ $\frac{1}{4}$ 355/22	335/42	290/34	210/38	290/30	250/38	250/34	220/29
		x			$\frac{4}{5}$ x				
	12	$\frac{3}{4}$ $\frac{1}{4}$ 355/34	320/38	290/38	$\frac{4}{5}$ 300/34	290/28	280/39	270/35	250/45
	010/26	310/28	300/25	340/34	310/20	290/38	270/29	270/46	
	010/24	330/27	310/24	340/34	x	300/33	290/24	310/44	
	010/28	330/27	310/24	320/28	x	300/28	290/19	320/38	
26/9 '58	00	360/30	340/30	305/28	330/26	x	290/33	290/19	290/22
	03	360/32	340/36	330/27	340/22	x	320/33	330/19	290/22
		010/34	340/33	330/20	$\frac{4}{5}$ x $\frac{1}{5}$ 330/30	x	320/36	320/23	320/21
	09	360/30	350/28	330/24	340/20	x	320/33	320/23	360/13



1.1 Het windeffekt

In tabel 11 zijn achtereenvolgens vermeld de opgetreden opzetten O tijdens hoogwater in de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl, de voorspelde opzetten V en de met behulp van de uit de weerkaart opgemeten winden berekende opzetten B. Verder zijn gegeven de verschillen tussen opgetreden opzet en berekende opzet (O-B), alsmede de verschillen tussen opgetreden opzet en berekende opzet, waarbij deze laatste gekorrigeerd zijn voor luchtdruk ( $O-B_p$ ), voor stabiliteit ( $O-B_s$ ) of voor het opzwiepeffekt ( $O-B_o$ ). Aanzienlijke verschillen tussen O-B en  $O-B_o$  komen dus alleen voor bij niet-stationaire toestanden.

Tabel 11

		O	V	B	O-B	$O-B_p$	$O-B_s$	$O-B_o$
Vlissingen								
26/9 '58	00.00	+5	+5½	+6½	-1½	-1½	-1½	-1½
Hoek van Holland								
26/9 '58	01.00	+7½	+7½	+7	+½	+½	+½	+½
Den Helder								
25/9 '58	17.00	+11	+10	+9	+2	+2	+2½	+2
26/9 '58	06.00	+5½	+5½	+9½	-4	-4	-4	-4
Harlingen								
25/9 '58	19.30	+13½	+15	+12½	+1	+1	+1	+1
26/9 '58	08.00	+8	+5½	+12½	-4½	-4	-4½	-4½
Delfzijl								
25/9 '58	22.00	+12½	+15	+10½	+2	+2	+2	+2
26/9 '58	11.00	+8½	+5½	+6½	+2	+2½	+2	+2

In figuur 1 zijn de waargenomen opwaaiingen op de vijf waarnemingsstations tijdens het hoogtepunt van de stormvloed in grafische vorm weergegeven. Het door de trog veroorzaakte effect op het water blijkt vooral in Harlingen en Delfzijl duidelijk. De extra opzet bedroeg ongeveer 4 dm. De na de trogpassage gedurende korte tijd aanwakkerende noordwesterstorm weerspiegelt zich in de opzetkromme van Delfzijl van omstreeks 15z. Opvallend is verder dat er in de ochtend van 25 september een tijdelijk verschil van ongeveer 5 dm optreedt in de verhogingen van Vlissingen en Hoek van Holland.

FIG 1

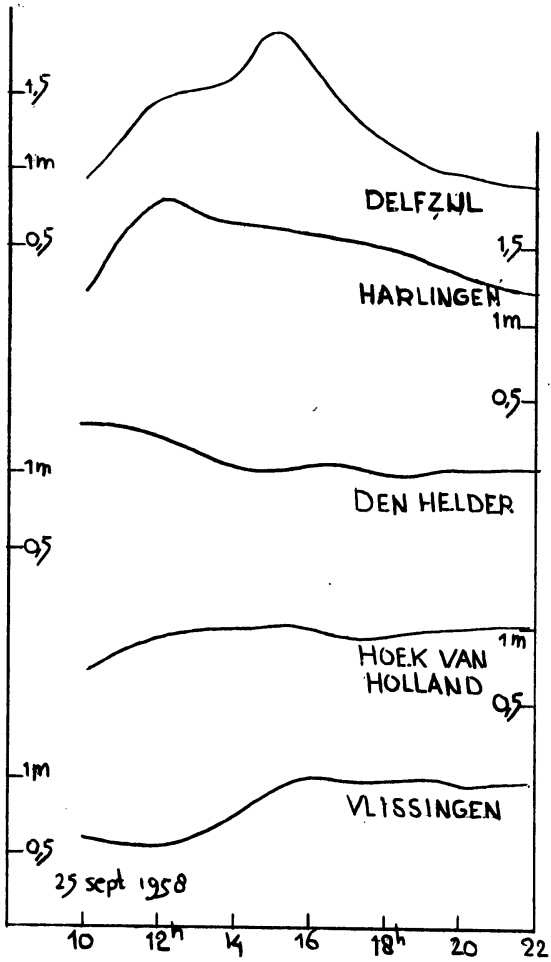
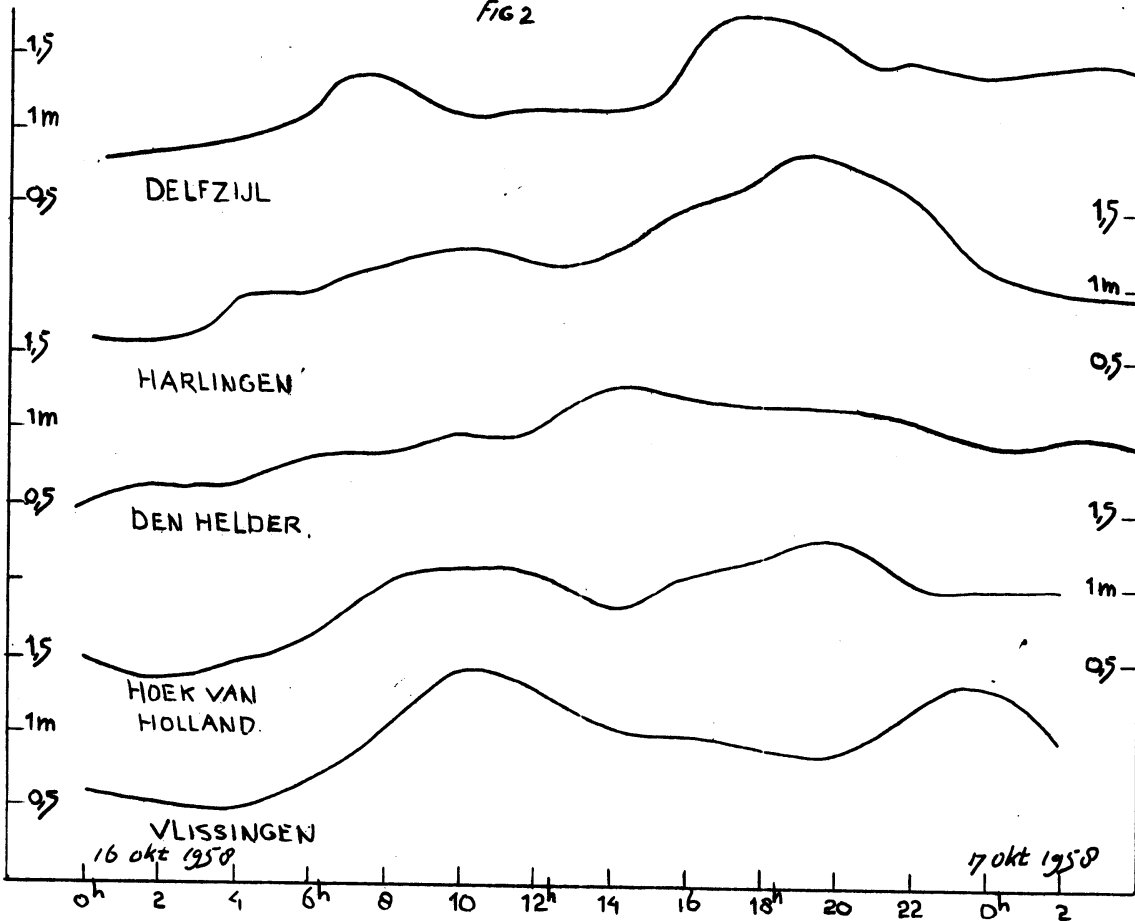


FIG 2



## 1.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

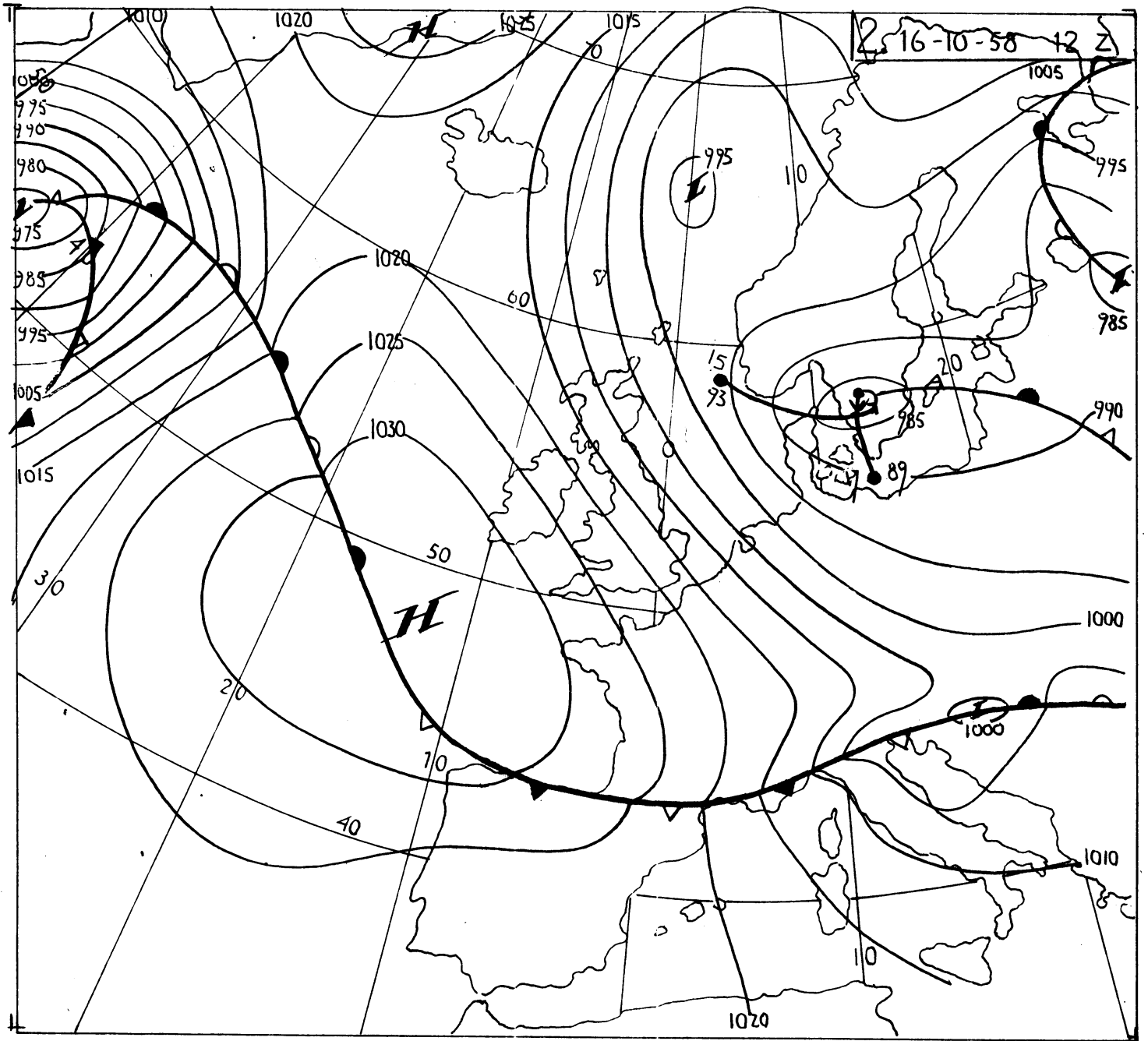
Bij het ochtendhoogwater van 26 september in Den Helder en Harlingen viel de berekening te hoog uit. Verreweg de grootste bijdrage tot de berekende waarde leverde het distrikt  $Z_I$ . Dit verschijnsel van te hoge berekende opzetten, wanneer ter plaatse de winden zwakker zijn dan op verder weg gelegen delen van de Noordzee, kan ook bij andere stormvloeden worden vastgesteld. De andere hoogwaters gaven een redelijke overeenstemming tussen opgetreden en berekende waarde.

## 2. DE STORMVLOED VAN 15-17 OKTOBER 1958

GWL 15/10 Wz; 16/10 NWz; 17/10 Nz

### 2.0 De weerssituatie

De weerstoestand op 15 oktober '58 werd gekenmerkt door een langgerekt lagedrukgebied bij IJsland en een hogedrukgebied bij de Azoren. Tussen deze twee luchtdrukssystemen bevond zich een westelijke straalstroom, die over vrijwel de gehele breedte van de Atlantische Oceaan reikte. Achter een kleine storing, die snel over Schotland en de Noordzee naar het oosten trok, breidde zich een homogeen westelijk tot noordwestelijk windveld van kracht 7-8 bft over de Noordzee uit. Inmiddels volgde op 16 oktober een diepe depressie bij New Foundland een noordelijke tot noordoostelijke koers en bouwde er zich op de oceaan even ten westen van de Britse Eilanden een hogedrukgebied op. Tegelijkertijd bewoog het lagedrukgebied bij IJsland in zuidoostelijke richting naar Scandinavië. Het windveld op de Noordzee bleef over het algemeen homogeen en ruimde naar noordwest tot noord. Slechts een aantal weinig uitgesproken troggen kwamen er voor, vooral op 16 oktober. Het windveld is in tabel 12 gegeven.



Tabel 12

			N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
15/10 '58	06	300/29	300/29	300/24	315/35	x	290/32	290/22	310/34	
	09	295/30	300/27	300/26	310/30	x	300/32	290/22	320/34	
	12	300/28	300/28	300/28	300/32	x	290/33	290/23	300/33	
	15	280/24	290/26	310/22	300/28	x	290/33	290/22	310/34	
	18	280/27	290/28	290/23	300/25	x	290/34	290/21	300/39	
	21	290/23	290/25	290/24	290/27	x	280/31	290/22	290/38	
16/10 '58	00	280/21	315/26	295/25	290/29	x	270/31	270/22	290/37	
	03	300/18	310/30	310/30	310/28	315/20	280/32	290/23	290/37	
	06	x	310/38	315/32	315/28	315/26	300/38	290/26	330/32	
	09	330/22	315/37	315/33	315/33	325/28	310/40	290/29	320/38	
	12	x	315/37	315/34	315/34	330/28	300/35	290/28	320/33	
	15	340/26	325/33	315/37	340/38	330/20	310/39	320/29	310/42	
	18	350/26	320/33	320/35	330/36	315/25	310/37	320/30	340/34	
	21	350/27	340/33	320/37	340/30	325/22	320/39	320/28	330/34	
17/10 '58	00	340/25	350/32	340/33	360/33	330/24	340/38	340/30	360/32	
	03	350/20	340/26	340/30	350/30	x	340/35	340/27	360/32	

2.1 Het windeffekt

Tabel 13

		0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
15/10 '58	14.30	+5	+3½	+5½	-½	0	-½	-½
16/10 '58	03.00	+4½	+5½	+5	-1	-1	-1	-1
	15.00	+9½	+10	+10	-½	-½	0	-½
17/10 '58	03.30	+7½	+7½	+9	-1½	-1½	-1	-1½
H. v. Holland								
15/10 '58	15.30	+5	+3½	+4½	+½	+1	+½	+½
16/10 '58	04.00	+5½	+6	-½	-½	-½	-½	-½
	16.00	+11½	+10	+10½	+1	+1	+1½	+1
17/10 '58	04.30	+9	+7½	+8½	+½	+½	+1	+½
Den Helder								
15/10 '58	21.00	+6½	+5½	+5½	+1	+1	+1	+1
16/10 '58	09.00	+9	+10	+9½	-½	-½	-½	-2½
	21.30	+11½	+10	+9½	+2	+2	+2	+2



Tabel 13 vervolg

		O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Harlingen	gmt							
15/10 '58	10.30	+7½	+3½	+11	-3½	-3	-3½	-3½
	23.00	+8½	+10	+7½	+1	+1	+1	+1
16/10 '58	11.00	+13	+15	+15½	-2½	-2½	-2½	-4
	23.30	+14	+10	+13	+1	+1	+1½	+1
Delfzijl								
15/10 '58	12.30	+9	+3½	+11	-2	-1½	-2	+2
16/10 '58	01.00	+9	+10	+8	+1	+1	+1	+1
	13.30	+12	+10	+14½	-2½	-2½	-2½	-2½
17/10 '58	01.30	+15	+10	+11½	+3½	+3½	+3	+3½

Uit de opzetgrafieken blijkt dat Delfzijl op 16 oktober rond 07.30z een extra "berg" water vertoonde van ongeveer 3-4 dm. Deze kan worden toegeschreven aan een lokale bui, die op dat ogenblik voorbijtrok. In de namiddag van 16 oktober namen de opzetten in Harlingen en Delfzijl toe tot omstreeks 2 m. De toeneming hing samen met een trog, die de windkrachten deed toenemen. De kromme voor Den Helder is tamelijk regelmatig. Vlissingen vertoonde twee maxima in de opzetten, één om  $\pm 10z$ , de andere om  $\pm 23z$ , beide op 16 oktober. Deze maxima vielen samen met zwakke troggen in het luchtdrukveld.

## 2.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

Bij deze stormvloed, die zich kenmerkte door homogene windvelden op de gehele Noorzee, zijn de verschillen tussen opgetreden en berekende opzetten niet groot. Wel kan worden opgemerkt dat de verschillen in Harlingen en Delfzijl iets groter zijn dan de verschillen in Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder, hetgeen wel zal worden veroorzaakt door de omstandigheid dat Harlingen en Delfzijl "gevoeliger" zijn voor lokale effecten dan de overige stations.

3. DE STORMVLOED VAN 2-3 JANUARI 1959

GWL 2/1 Wz; 3/1 Nz

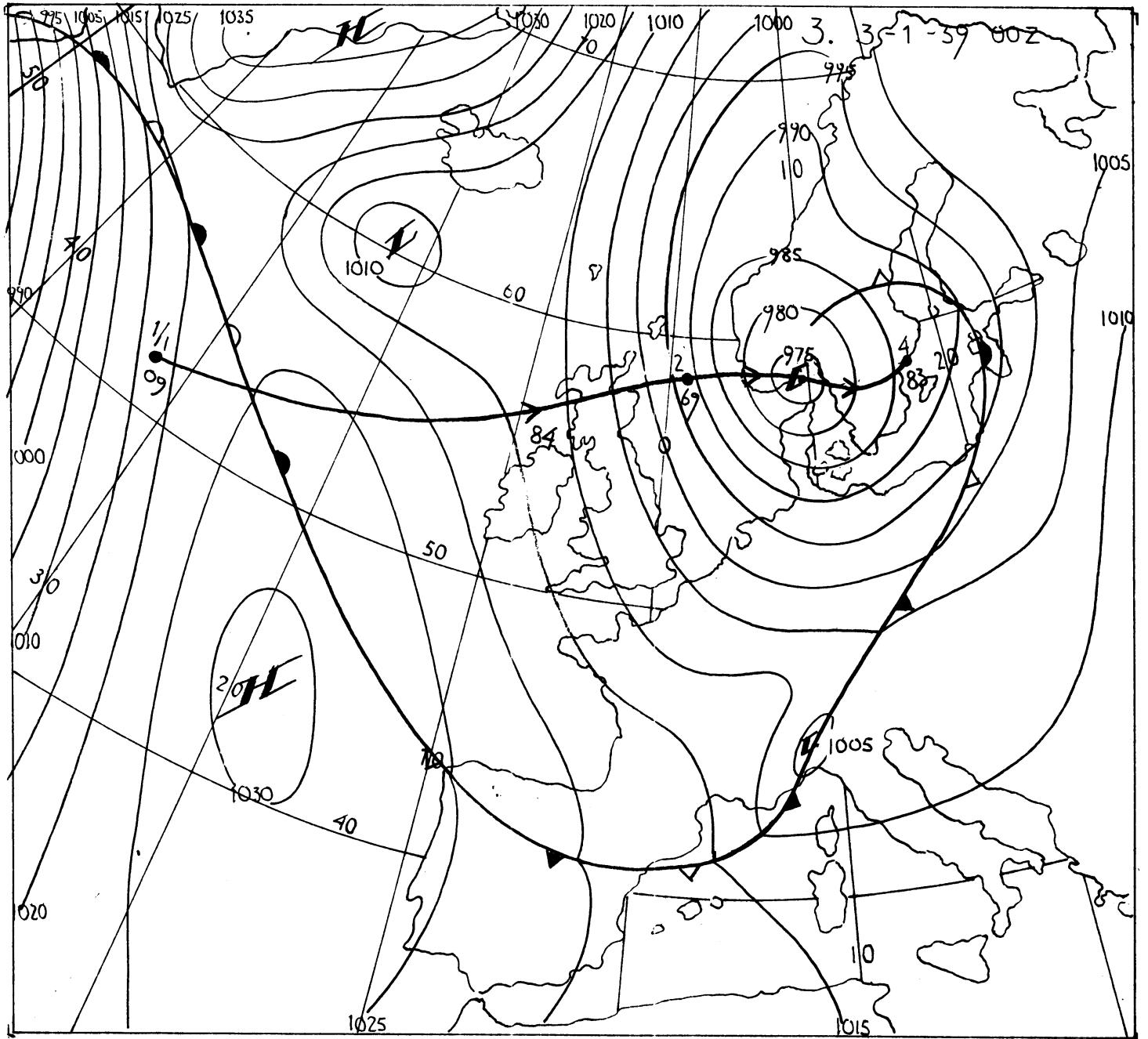
3.1 De weerssituatie

Het belangrijkste luchtdruksysteem bij de stormvloed van begin januari 1959 was een occluderende golf, die in 24 uur tijds van een gebied midden op de oceaan naar de Noordzee trok. De golf was aanwezig tussen een langgerekt lagedrukgebied op het noordelijke deel van de Atlantische Oceaan en een krachtig hogedrukgebied, dat zich uitstreckte van de Azoren naar het Iberisch schiereiland. Op 2 januari was de golf uitgediept tot iets minder dan 970 mb. Ze had toen de rol van het oorspronkelijke lagedrukgebied overgenomen. Restanten van het laatstgenoemde luchtdruksysteem bewogen als secundaire storingen rond het nieuwe hoofdcentrum. Eén van deze storingen trok in de ochtend van 2 januari over Engeland naar de Noordzee en passeerde even na het middaguur de Nederlandse kust. De treksnelheid boven de Noordzee bedroeg ongeveer 25 kts. Een volgende secundaire storing bevond zich op korte afstand. Deze volgde evenwel een zuidelijker koers en trok over Engeland naar het Kanaal. Daardoor beïnvloedde deze het windveld op de Noordzee nauwelijks. In de loop van 3 januari trok de depressie langzaam over Scandinavië naar het oosten en vulde tegelijkertijd op. De noordwesterstorm die tijdelijk met kracht 8-9 bft woedde, nam toen weer in kracht af.

In tabel 14 is het windveld aangegeven.

Tabel 14

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney	
2/9 '59	15	360/40	330/25	300/22	270/25	x	290/23	270/14	220/18
	18	360/44	330/30	310/24	290/28	280/28	290/26	290/18	240/21
	21	360/40	330/36	320/27	310/33	340/18	310/22	320/14	280/12
3/9 '59	00	350/42	330/36	320/22	315/36	340/18	300/26	320/20	300/25
	03	340/40	330/36	330/22	315/42	340/18	320/29	320/20	310/26
	06	340/40	320/26	320/22	315/37	x	290/24	290/18	300/28
	09	335/38	320/26	320/20	320/38	x	330/29	320/18	340/27
	12	330/38	320/28	310/18	320/33	x	310/33	290/18	300/25
	15	330/32	320/25	310/20	310/30	x	300/30	320/22	310/23
18	330/30	315/27	x	310/32	x	310/26	290/22	330/14	



3.1 Het windeffekt

Tabel 15

		0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
2/9 '59	18.30	+9	+10	+7½	+1½	+1	+1½	+1½
3/9 '59	06.30	+8	+7½	+8	0	0	0	0
H. v. Holland								
2/9 '59	19.00	+9	+10	+8	+1	+½	+1	+1
3/9 '59	07.30	+8	+7½	+7	+1	+1	+1	+1
Den Helder								
2/9 '59	23.30	+11	+10	+11	0	0	0	0
3/9 '59	12.00	+8	+10	+6½	+1½	+1½	+1½	+1½
Harlingen								
2/9 '59	14.00	+7½	+10	+9½	-2	-2½	-2	-2
3/9 '59	01.30	+13½	+10	+14	-½	-½	-½	-1½
	14.30	+9½	+10	+10	-1½	-1½	-1½	-1½
Delfzijl								
2/9 '59	16.00	+6	+10	+7½	-1½	-2	-1½	-1½
3/9 '59	04.00	+13½	+10	+16	-2½	-2½	-2½	-2½
	18.00	+8½	+10	+8½	0	0	0	+2

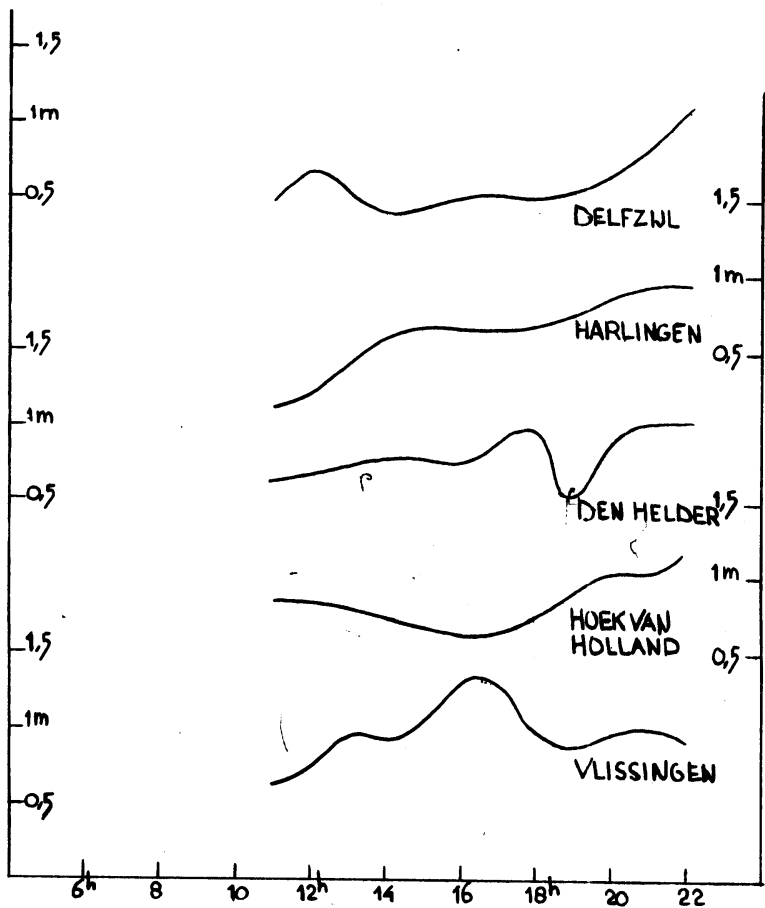
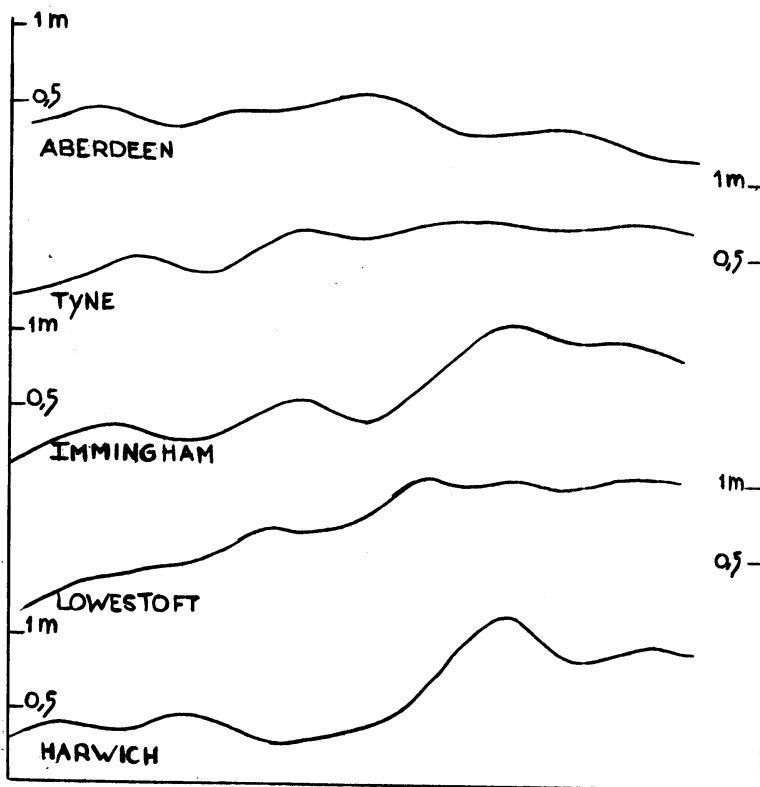
In figuur 3 zijn naast de opwaaiingen op de Nederlandse stations ook de opzetten van een vijftal Engelse stations gegeven. Delfzijl vertoonde om 12z een piek van ongeveer 5 dm, die waarschijnlijk is veroorzaakt door een bui. Het nabijgelegen Duitse lightschip 002 gaf namelijk tussen 12 en 15z onweer.

Vlissingen gaf op 2 januari om ± 16z een extra opzet van 4 dm. Hoek van Holland daarentegen had omstreeks 16z een regelmatig verloop. Zie ook 5.2. De extra verhoging in Vlissingen hangt ongetwijfeld samen met een reeks verhogingen, die als een golf langs de Engelse kust zijn gelopen. Om 06z trad er nl. in Aberdeen een extra verhoging van enkele decimeters op, om 08z in Tyne, om 12z in Immingham, om 15z in Lowestoft en tenslotte om 16z, gelijktijdig dus met de extra verhoging in Vlissingen, een extra opzet in Harwich. De looptijd bedroeg dus ongeveer 10 uur, dit is gelijk aan de looptijd van de getijgolf. De golf hangt samen met een trog van lagedruk. Van belang is dat de extra opzet slechts 1 tot 2 uur aanhield.

Enkele uren later trad er nog een soortgelijk verschijnsel op, zij het ook in een zwakkere vorm.

Omstreeks 19z vertoonde Den Helder een dal van 5 dm. Een eventuele samenhang met een atmosferisch gebeuren kon niet worden aangegeven.

Fig 3



2 Januari 1959

3.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De overeenstemming tussen opgetreden en berekende opzetten ten tijde van hoogwater is bij deze stormvloed zeer bevredigend.

4. DE STORMVLOED VAN 11-13 JANUARI 1959

GWL HNz

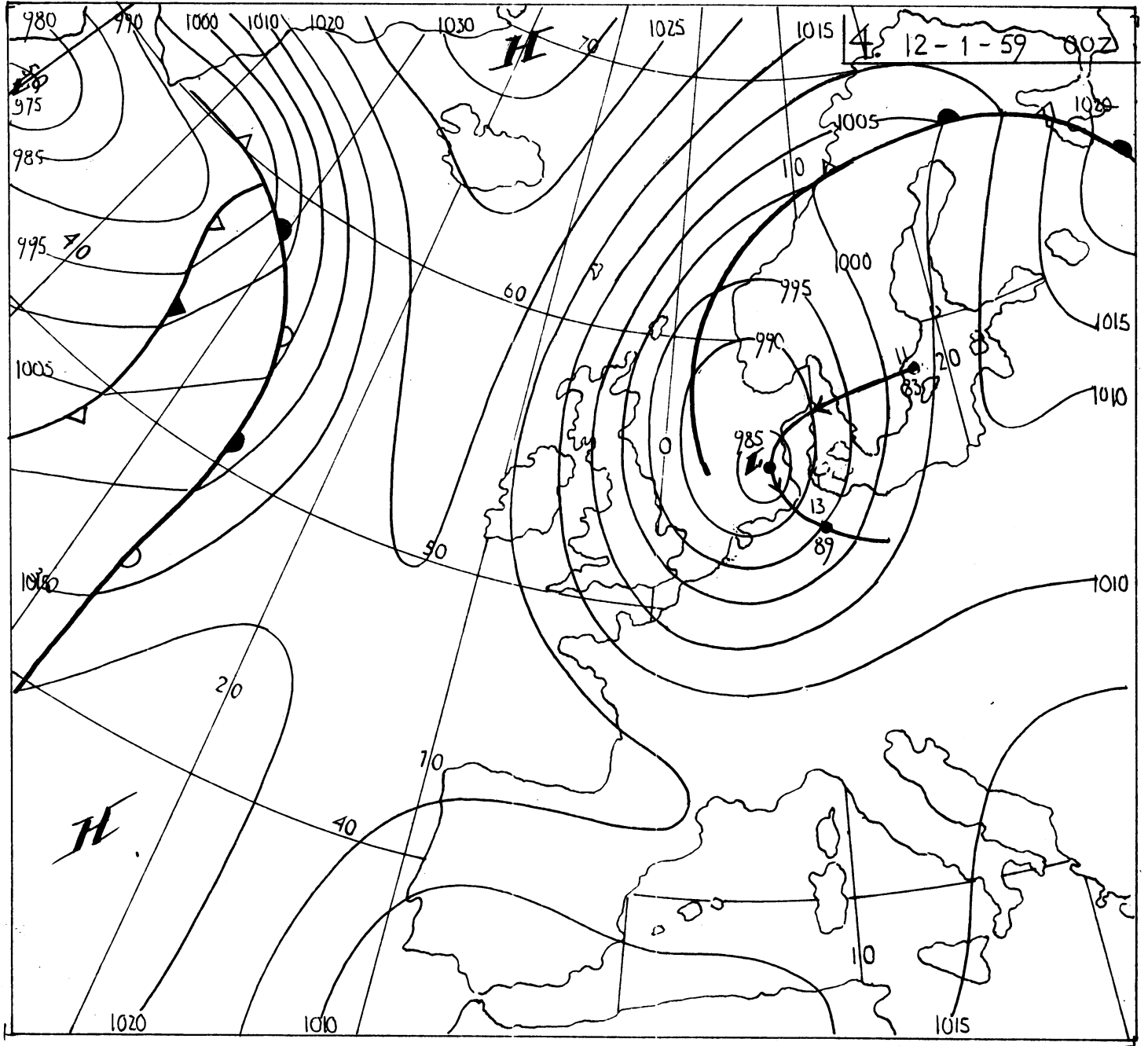
4.0 De weerssituatie

De weerstoestand week geheel af van het bij stormvloeden gebruikelijke patroon. Ditmaal kwam de depressie die de stormvloed veroorzaakte namelijk niet uit het westen maar uit het oosten. Op 11 januari '59 00z lag zij met een centrum van 983 mb boven de Oostzee. De storing bewoog in de loop van 11 januari naar de Duitse Bocht en werd daar enige tijd kwasi-stationair. Tegelijkertijd was er een langgerekt hogedrukgebied aanwezig van Groenland naar de Golf van Biscaje. Een trog van de depressie bevond zich op 11 januari 15z bij de oostkust van Schotland. In de eerste uren van 12 januari passeerde deze trog de Nederlandse kust. De treksnelheid ervan bedroeg iets minder dan 30 kts. De noordwesterstorm had een kracht van 8-9 bft. In de namiddag en avond van 12 januari begon de depressie op te vullen en namen de winden af.

Het windveld is in tabel 16 gegeven.

Tabel 16

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
11/1'59 18	x	320/32	280/30	$\frac{1}{2}$ 225/38 $\frac{1}{2}$ x	x	250/33	250/26	240/29
21	x	330/40	290/33	$\frac{1}{2}$ 225/42 $\frac{1}{2}$ x	x	240/33	250/30	210/17
12/1'59 00	x	320/40	310/30	x	315/24	300/33	290/20	210/15
03	x	325/40	310/35	x	315/20	310/35	x	x
06	050/25	$\frac{2}{3}$ x $\frac{1}{3}$ 300/40	300/36	x	300/20	270/34	290/18	x
09	x	360/22	290/45	x	300/22	290/27	x	x
12	x	360/26	310/38	x	300/22	x	x	330/15
15	x	350/28	330/24	$\frac{1}{2}$ 090/65 $\frac{1}{2}$ x	320/22	300/25	320/16	280/20
18	x	010/23	340/26	$\frac{1}{2}$ 090/25 $\frac{1}{2}$ x	320/20	340/35	340/22	x



4.1 Het windeffekt

Tabel 17

		0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
12/1 '59	02.30	+13	+10	+10	+3	+2 $\frac{1}{2}$	+2 $\frac{1}{2}$	+3
	15.00	+8	+10	+8 $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	-1	-1	- $\frac{1}{2}$
H. van Holland								
12/1 '59	04.00	+14	+10	+10	+4	+3 $\frac{1}{2}$	+3 $\frac{1}{2}$	+4
	16.00	+7 $\frac{1}{2}$	+10	+7 $\frac{1}{2}$	0	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	0
Den Helder								
11/1 '59	20.30	+8 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+1	+ $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	+1
12/1 '59	08.30	+12	+5 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+4 $\frac{1}{2}$	+4	+4	+5 $\frac{1}{2}$
Harlingen								
11/1 '59	23.00	+11	+10	+13	-2	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	-2
12/1 '59	11.00	+11	+10	+7 $\frac{1}{2}$	+3 $\frac{1}{2}$	+3	+3	+3 $\frac{1}{2}$
Delfzijl								
12/1 '59	00.30	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+7	+ $\frac{1}{2}$	0	0	+ $\frac{1}{2}$
	13.00	+7 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+4 $\frac{1}{2}$	+3	+2 $\frac{1}{2}$	+2 $\frac{1}{2}$	+3

Fig. 4 geeft naast de opwaaiingen in de Nederlandse stations ook die van de Engelse stations Aberdeen, Tyne, Immingham, Lowestoft en Harwich.

In het algemeen namen de verhogingen in de eerste uren van 12 januari belangrijk toe. Deze toeneming houdt verband met de trogpassage, die werd gekarakteriseerd door een windruiming naar noordwest.

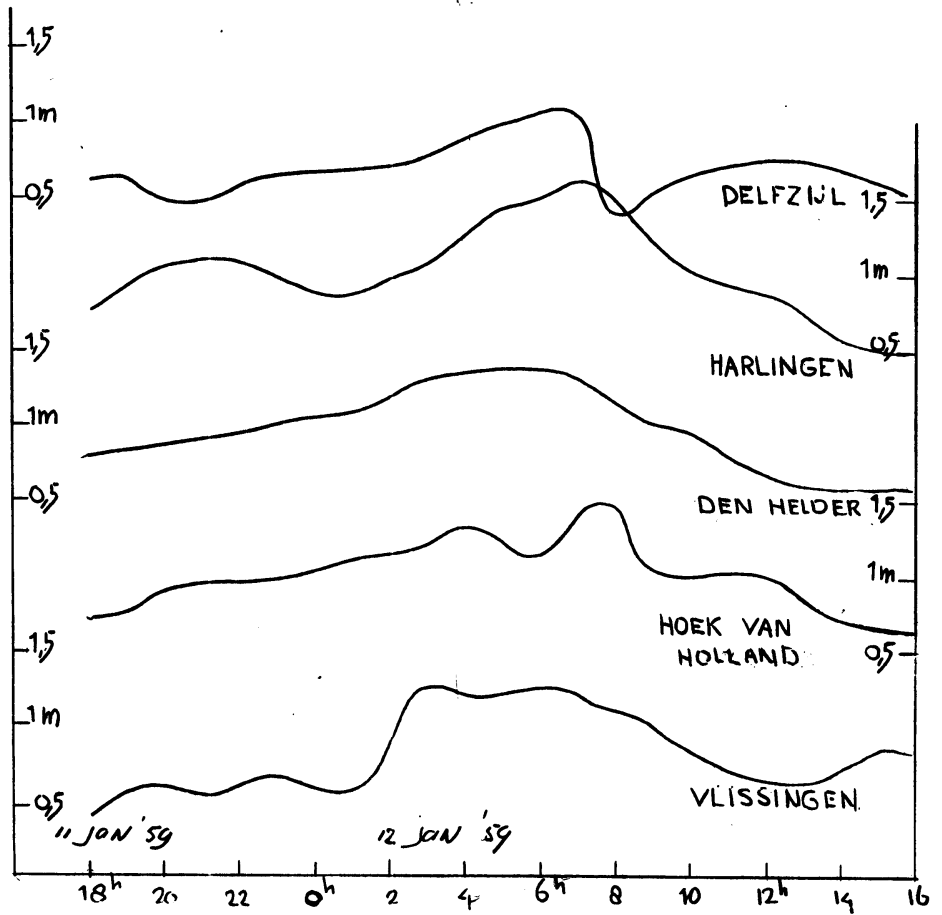
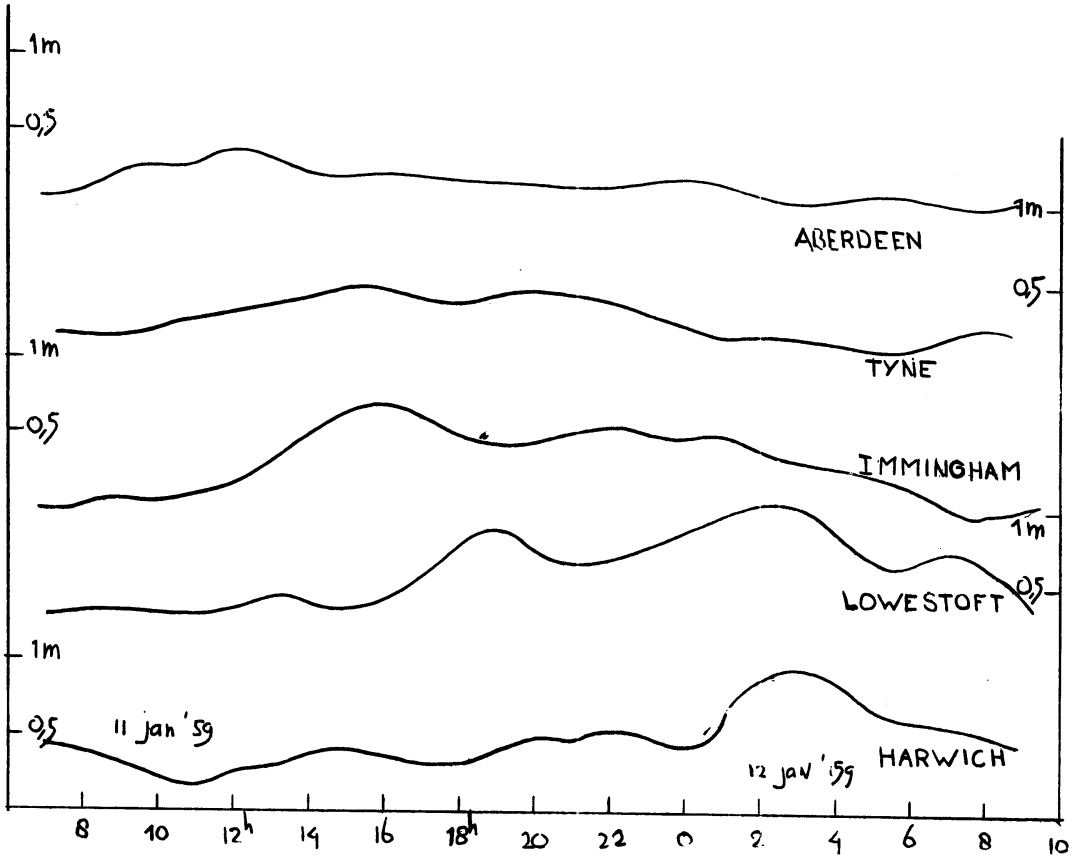
De Engelse waarnemingen demonstreerden een tweetal golven, die over het algemeen ook in de Nederlandse waarnemingen te voorschijn komen. De tijdstippen van de extra verhogingen vallen langs de Engelse kust samen met het voortrekken van de trog. De duur van de extra verhoging is slechts kort en bedraagt 1 à 2 uren.

Delfzijl vertoonde op 11 januari 21z een dal van ongeveer 3 dm. Op dat moment naderde een trog en veroorzaakte ter plaatse gekrompen winden. Enkele uren later trad er in Harlingen eveneens een dal op van ongeveer 3 dm. Dit dal kan ook in verband worden gebracht met de tijdelijk gekrompen winden.

De onregelmatigheid in Delfzijl op 12 januari omstreeks 07z viel juist samen met het tijdstip van laagwater en hangt daarom wellicht samen met een verschuiving van de getijkromme.



FIG 4



#### 4.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De hoogwaters in de nacht en ochtend van 12 januari 1959 in Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder en Harlingen, en in de vroege middag in Delfzijl, gaven alle een te lage berekende waarde van 3 à 4 dm. Dit moet worden toegeschreven aan de langs de Engelse en Nederlandse kust passerende golf, die lopend met de snelheid van de getijgolf - juist op het moment van hoogwater aan de Nederlandse kust aankwam. Ondanks het inhomogene windveld op de Noordzee is er verder een bevredigende overeenstemming tussen de berekende en waargenomen opzetten.

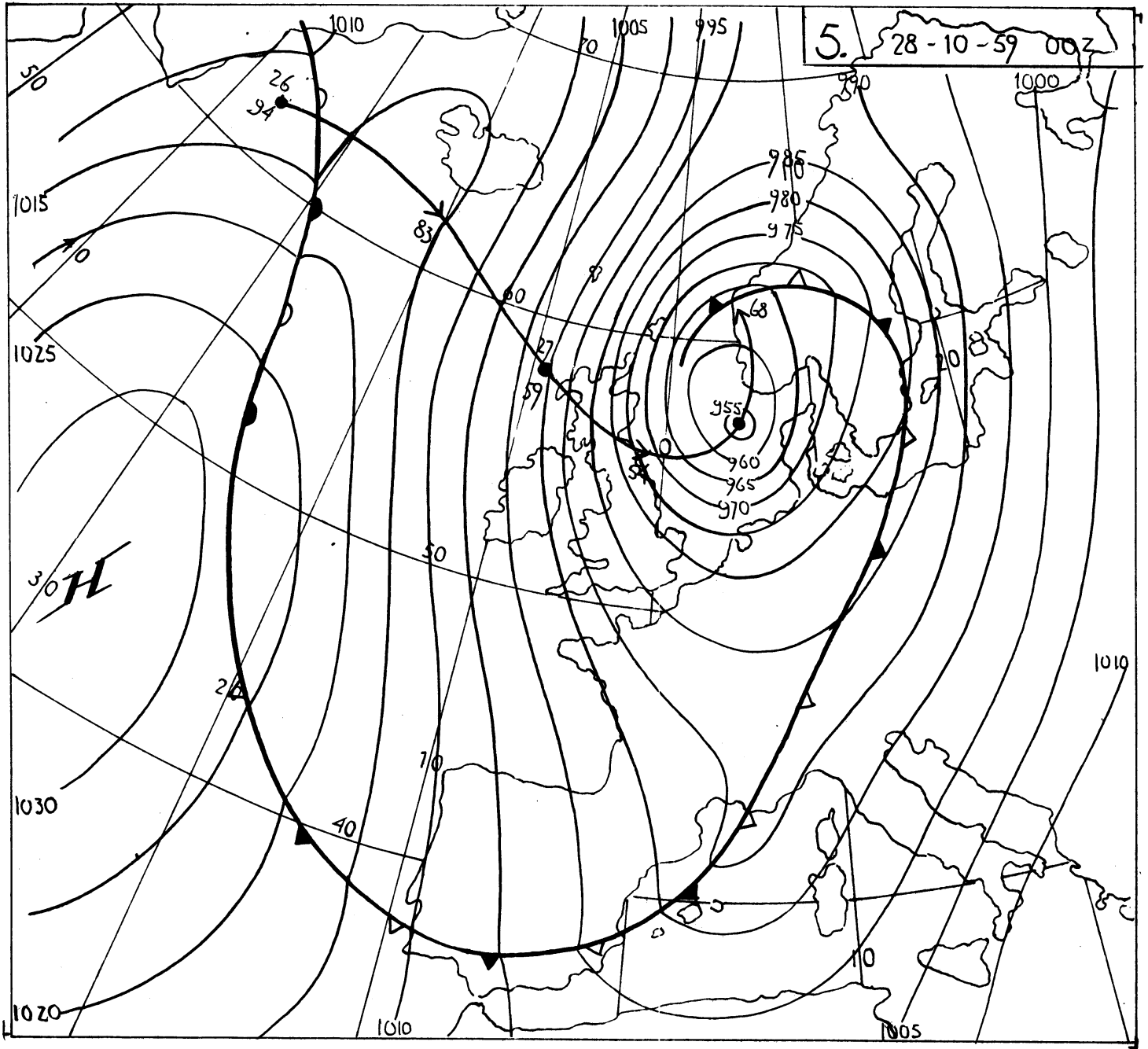
### 5. DE STORMVLOED VAN 27-28 OKTOBER 1959

GWL 27/10 TB; 28/10 TrM

#### 5.0 De weerssituatie

De depressie die aanleiding gaf tot de stormvloed van eind oktober 1959 bevond zich op 26 oktober even ten zuiden van IJsland met een luchtdrukwaarde van 983 mb in het centrum. Met een snelheid van 35 kts trok de depressie van IJsland naar de Noordzee, waarbij een uitdieping optrad tot ongeveer 954 mb. Boven Schotland kwam vervolgens een markante trog tot ontwikkeling, die zich op 27 oktober 12z nabij de Schotse oostkust bevond. De trog trok over de Noordzee en passeerde op 27 oktober  $\pm$  20z de Nederlandse kust. De treksnelheid van de trog bedroeg ongeveer 35 kts. Het koufront van de depressie bevond zich op 27 oktober 06z midden op de Noordzee en trok  $\pm$  12z over Nederland. Voor het front uit stond een zuiderstorm van 9-10 bft. Na de koufrontpassage nam de wind af, maar ruimde slechts weinig. De ruiming naar noordwest geschiedde pas na de trogpassage. Aan de achterzijde van de trog kwamen in de middag van 27 oktober voor de Schotse kust en het aangrenzende Noordzeegebied windsnelheden voor van ongeveer 50 kts. Deze snelheid werd later ook in het vak  $Z_I$  uit de weerkaart opgemeten. Het hoofdcentrum van de depressie trok vertraagd over het noordelijke deel van de Noordzee naar het oosten en begon in de eerste uren van 28 oktober op te vullen.

Het windveld is in tabel 18 gegeven.



Tabel 18

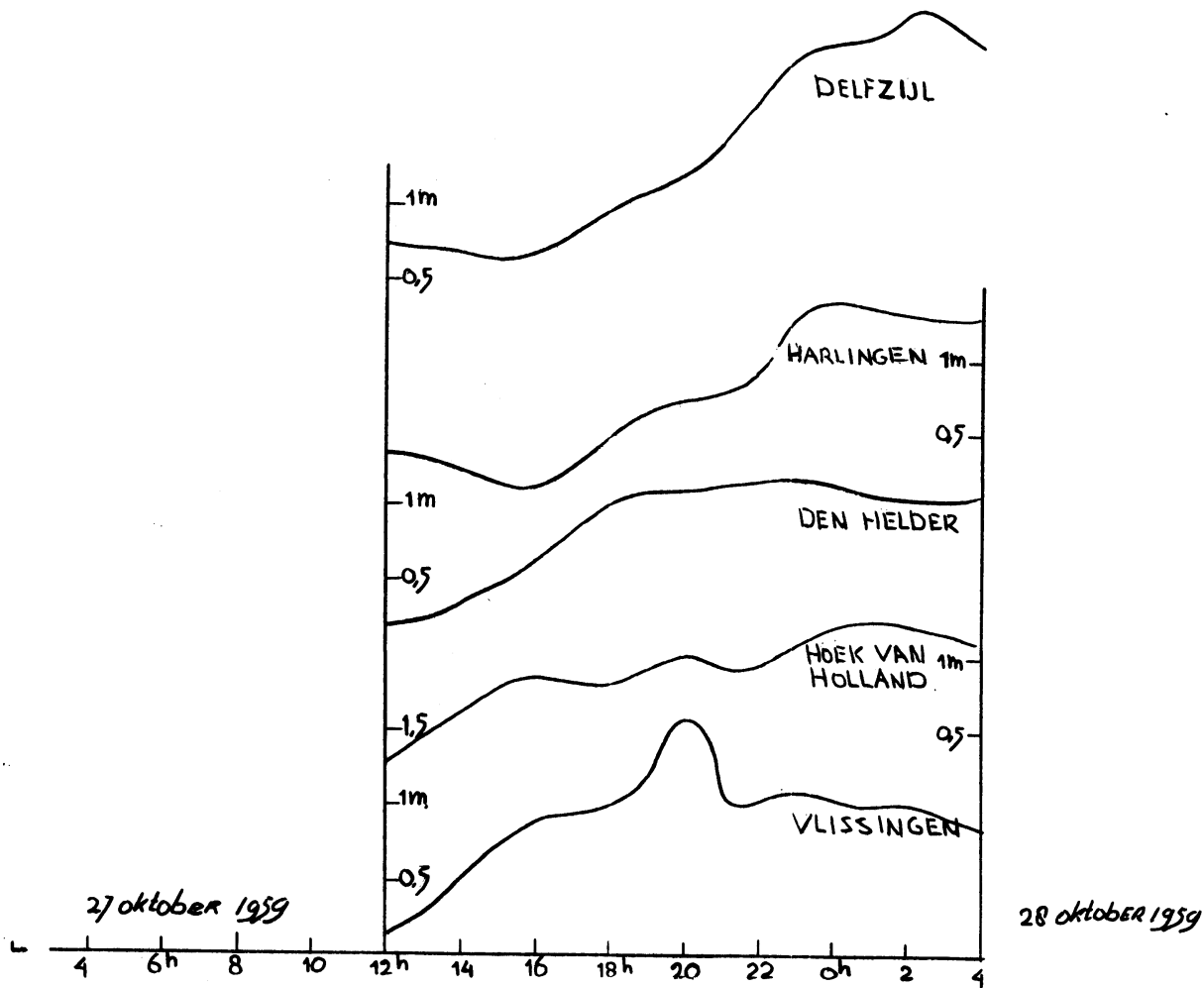
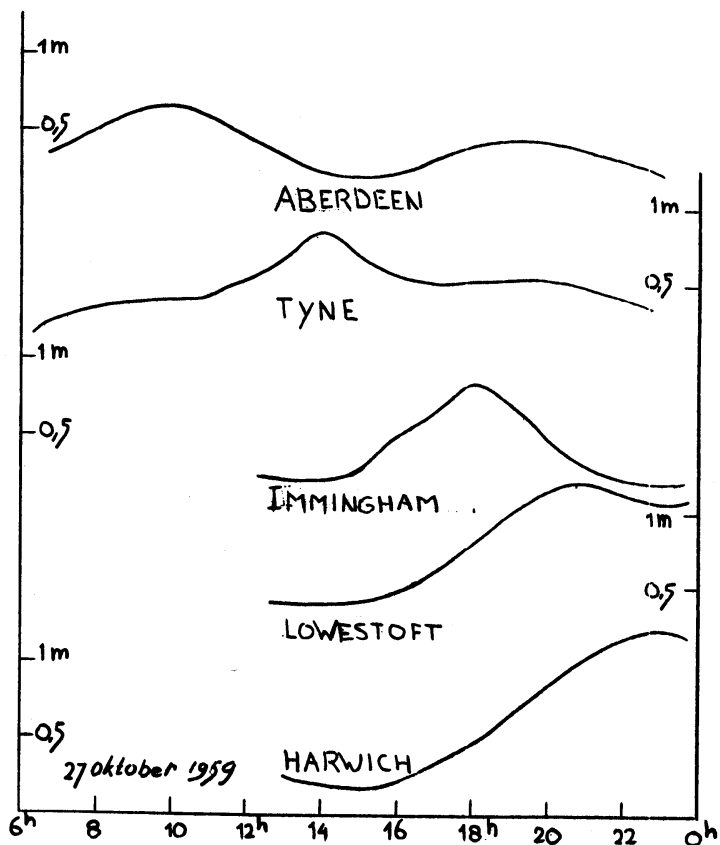
		N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
27/10 '59	18	x	$\frac{1}{2}$ 330/46 $\frac{1}{2}$ 225/36	$\frac{1}{2}$ 310/40 $\frac{1}{2}$ 230/36	215/34	330/28	220/31	200/32	200/25
	21	$\frac{2}{3}$ x 350/45	310/36	290/24	225/38	315/20	270/20	270/19	210/27
28/10 '59	00	$\frac{1}{3}$ 350/55	315/40	310/20	240/38	315/15	290/24	290/16	215/27
	03	$\frac{1}{3}$ x 350/55	300/40	300/20	235/42	310/15	290/24	270/16	220/14
	06	$\frac{1}{2}$ 010/28 $\frac{1}{2}$ 360/52	315/32	290/15	230/27	x	280/19	290/16	220/17
	09	$\frac{1}{2}$ 360/28 $\frac{1}{2}$ 360/45	310/28	290/15	250/26	x	290/09	270/15	220/14
	12	350/40	310/15	310/15	240/30	x	260/17	250/16	220/12
	15	350/40	$\frac{2}{3}$ 340/34 $\frac{1}{3}$ 250/15	320/20	240/20	320/20	220/19	230/17	240/12
	18	360/40	350/36	250/20	225/20	360/25	220/16	230/15	230/11
	21	350/38	355/32	350/32	x	360/25	260/07	250/09	230/10

5.1 Het windeffekt

Tabel 19

		O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
27/10 '59	21.30	+10 $\frac{1}{2}$	+10	+6	+4 $\frac{1}{2}$	+3	+4	+4 $\frac{1}{2}$
28/10 '59	10.00	+6 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+6	+ $\frac{1}{2}$	0	0	+ $\frac{1}{2}$
H. van Holland								
27/10 '59	22.00	+10 $\frac{1}{2}$	+10	+6 $\frac{1}{2}$	+4	+2 $\frac{1}{2}$	+3 $\frac{1}{2}$	+4
28/10 '59	11.00	+6	+7 $\frac{1}{2}$	+5	+1	+ $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	+1
Den Helder								
28/10 '59	02.30	+11 $\frac{1}{2}$	+10	+9 $\frac{1}{2}$	+2	+ $\frac{1}{2}$	+2	+1
	15.30	+7 $\frac{1}{2}$	+5	+6	+1 $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	+2	+1 $\frac{1}{2}$
Harlingen								
28/10 '59	04.30	+12	+10	+10 $\frac{1}{2}$	+1 $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	+1	+ $\frac{1}{2}$
	18.00	+8	+5	+8	0	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	0
Delfzijl								
28/10 '59	07.00	+9	+10	+7	+2	+1	+1 $\frac{1}{2}$	+2
	20.00	+6 $\frac{1}{2}$	+5	+6 $\frac{1}{2}$	0	0	0	0

FIG 5



In fig. 5 zijn de opwaaiingen, gemeten zowel op de Engelse als op de Nederlandse stations, in grafische vorm weergegeven. Uit de grafieken blijkt duidelijk de aanwezigheid van een "berg" water, die in ongeveer 10 uur tijds van Aberdeen naar Vlissingen loopt. Deze extra verhoging kwam daarna ook in Harlingen en Delfzijl en in mindere mate in Hoek van Holland en Den Helder voor. Het meest uitgesproken was de extra verhoging in Vlissingen. Deze bedroeg er maximaal ongeveer 6 dm en de duur ervan bedroeg 2 tot 3 uren. Evenals bij stormvloed 3 valt het samenvallen op van de "berg" water met een trog van lage luchtdruk.

## 5.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

In het algemeen is er een goede overeenstemming tussen de berekende en de opgetreden opzetten. Een uitzondering was evenwel het hoogwater van Vlissingen en Hoek van Holland in de avond van 27 oktober met een te lage berekende waarde van ongeveer 4 dm. Enkele uren voor dit hoogwater lag de kern van de depressie midden op de Noordzee. De berekende opzet is dan gevoelig voor een geringe verplaatsing van de depressiekern naar het westen of het oosten. Het verschil tussen opgetreden en berekende opzet kan in dit geval wellicht worden toegeschreven aan een onvoldoende kennis van het windveld op de Noordzee tengevolge van een te gering aantal waarnemingen.

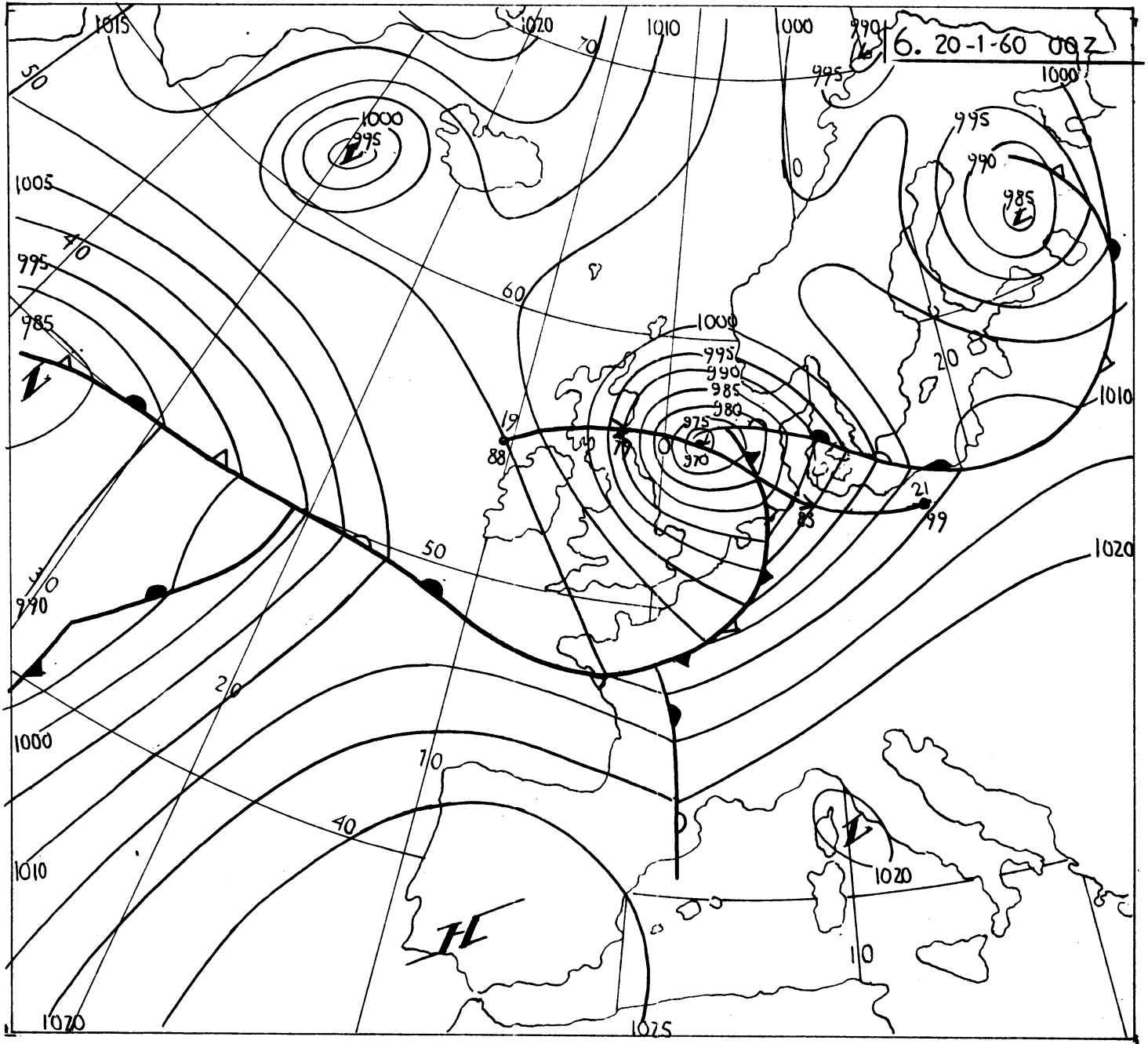
## 6. DE STORMVLOED VAN 20 JANUARI 1960

GWL Wz

### 6.0 De weerssituatie

Op 19 januari bevond er zich in het koufront van een depressie boven Zweden een golfvormige storing. Deze trok juist ten noorden van Ierland via Schotland naar de Noordzee en diepte snel uit tot ongeveer 970 mb. Aanvankelijk was de baan ONO, maar van het midden van de Noordzee af werd de koers ZO, hetgeen samenhang met een trog, die in de avond van 19 januari bij Schotland tot ontwikkeling kwam. Deze trog bewoog snel van Schotland naar Nederland. De treksnelheid ervan bedroeg ongeveer 40 kts, terwijl die van de depressie ongeveer 20 kts was. In de loop van 20 januari trok de stormdepressie snel naar het oosten weg en vulde toen weer op. Tijdens het voorbijtrekken van de trog in de ochtend van 20 januari kwamen in Nederland windsnelheden voor van ongeveer 50 kts. De storm kan worden gekarakteriseerd als één van korte duur, waarbij echter wel grote windsnelheden voorkwamen.

Het windveld is in tabel 20 weergegeven.



Tabel 20

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney	
20/1 '60	03	070/35	$\frac{1}{2}$ 360/50	290/37	220/32	300/32	250/40	250/33	245/25
		075/50	$\frac{1}{2}$ 280/50						
	06	$\frac{1}{2}$ 060/35	350/37	310/42	x	310/35	270/49	270/40	230/27
		060/50							
	09	040/28	350/42	310/42	050/35	310/26	300/53	290/40	280/40
		050/42							
	12	x	$\frac{1}{2}$ 340/32	330/40	360/42	290/22	330/46	320/28	330/34
		040/36	$\frac{1}{2}$ 340/38						
	15	x	$\frac{1}{2}$ x	330/30	360/42	x	340/36	340/34	350/40
	18	x	x	310/20	360/37	x	350/34	340/30	350/39
	21	x	x	x	$\frac{1}{2}$ x	x	360/23	340/22	360/27

6.1 Het windeffekt

Tabel 21

		0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
20/1 '60	17.30	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+5 $\frac{1}{2}$	+4	+4 $\frac{1}{2}$	+4	+4
H. van Holland								
20/1 '60	18.00	+8 $\frac{1}{2}$	+10	+4 $\frac{1}{2}$	+4	+4 $\frac{1}{2}$	+4	+4
Den Helder								
20/1 '60	10.30	+20 $\frac{1}{2}$	+15	+15	+5 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$
Harlingen								
20/1 '69	13.00	+26	+15	+19	+7	+7 $\frac{1}{2}$	+7	+7
Delfzijl								
20/1 '60	15.00	+15	+15	+13	+2	+2 $\frac{1}{2}$	+2	+1

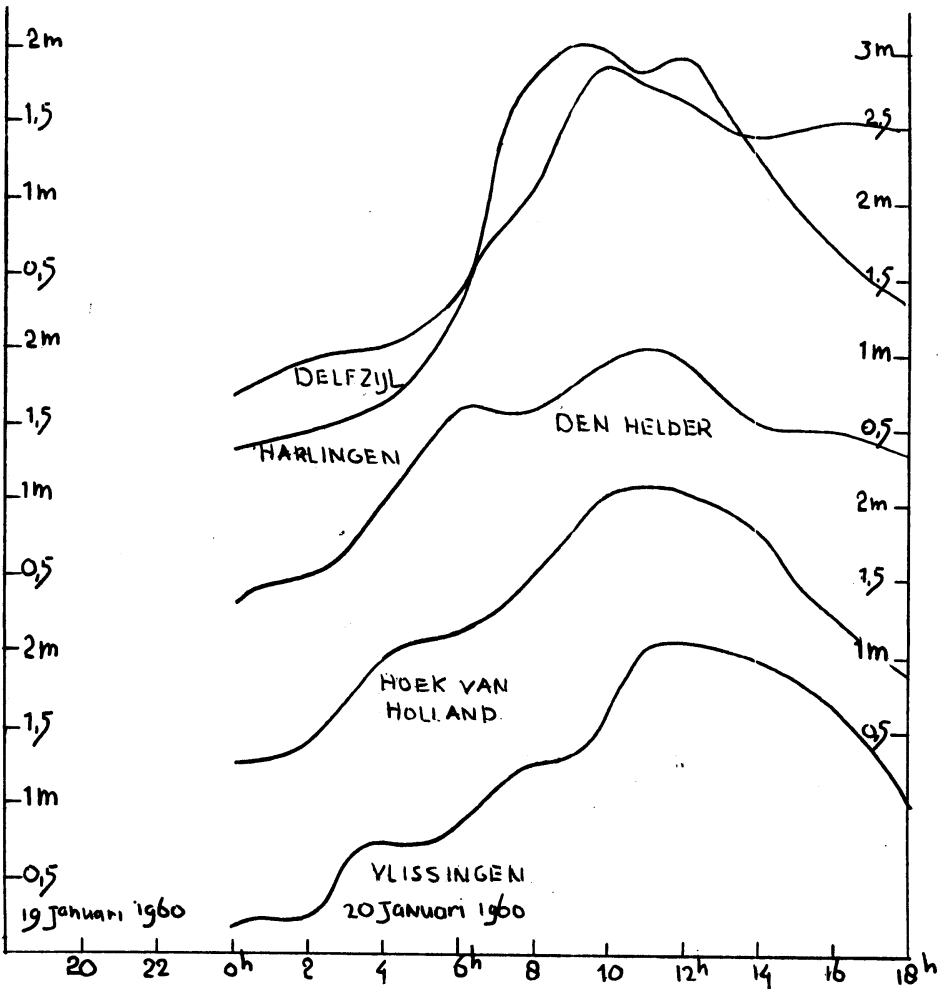
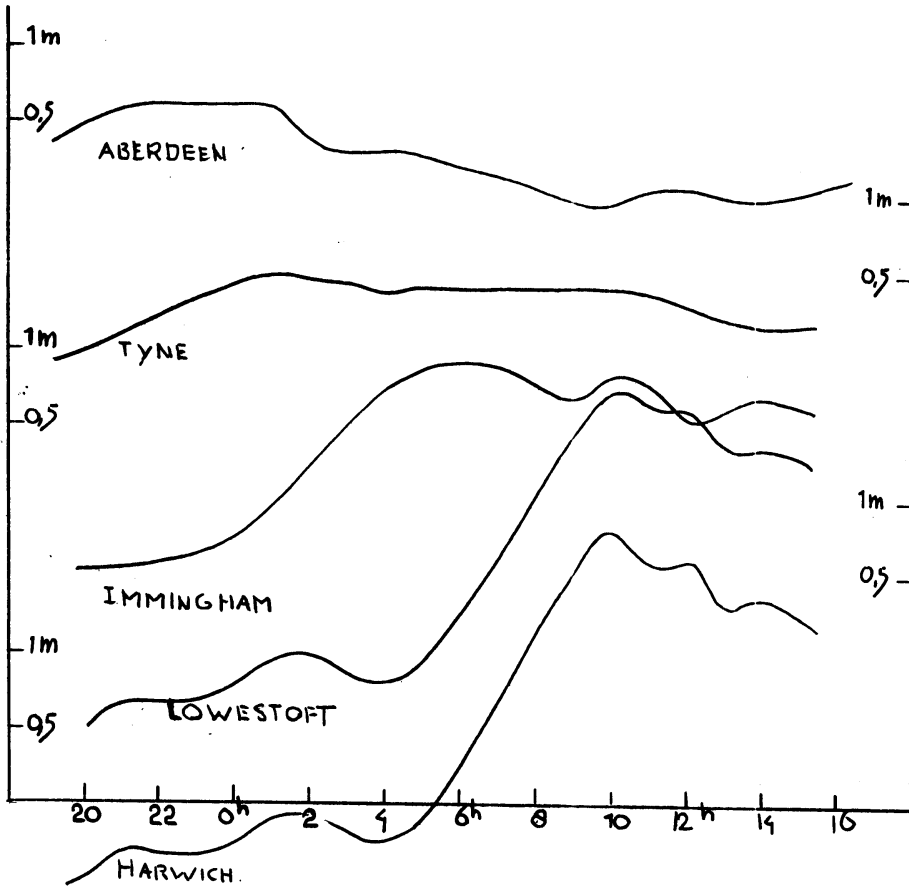
In fig. 6 zijn de grafieken gegeven met het verloop van de opwaaiingen op de vijf Nederlandse en Engelse waarnemingsstations.

In het verloop van de waterstanden valt een extra verhoging op, die zich het eerst in Vlissingen om 03z manifesteerde. Deze extra verhoging nam - lopende langs de Nederlandse kust - toe en bedroeg om 06z in Den Helder  $\pm$  3 dm, om 09z in Harlingen  $\pm$  5 dm en om 10z in Delfzijl eveneens  $\pm$  5 dm. De extra verhoging viel samen met het doorkomen van de hoofdtrog van de depressie.

De Engelse waarnemingen gaven enige aanduidingen van een tweetal golven van enkele decimeters, die aan de Nederlandse kust vrijwel niet te voorschijn kwamen.



FIG 6



## 6.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

Deze stormvloed kenmerkte zich door aanzienlijke verschillen tussen berekende en waargenomen opzetten. Ongetwijfeld speelde het karakter van de stormvloed hierbij een rol. De depressie die de stormvloed veroorzaakte, ontwikkelde zich nl. in korte tijd tot een diepe stormdepressie en trok vervolgens snel en opvullend weer weg. Van een stationaire toestand is daarom geen sprake. Bij een niet-stationaire toestand speelt bij de berekening van de opzetten de time-lag tussen windveld en de door dit windveld veroorzaakte opzetten een veel grotere rol dan bij stationaire gevallen. Bovendien bleek ook nu weer dat het opgetreden windveld, indien het centrum van de depressie midden op de Noordzee ligt, niet geheel nauwkeurig kan worden bepaald. De berekende opzetten zijn daardoor onnauwkeuriger dan bij andere gevallen.

Na 20 januari 12z werd het windveld op de Noordzee snel minder. De opzetten namen minder snel af dan de berekeningen aangaven. Dit verschijnsel is ook bij enkele andere stormvloeden waargenomen.

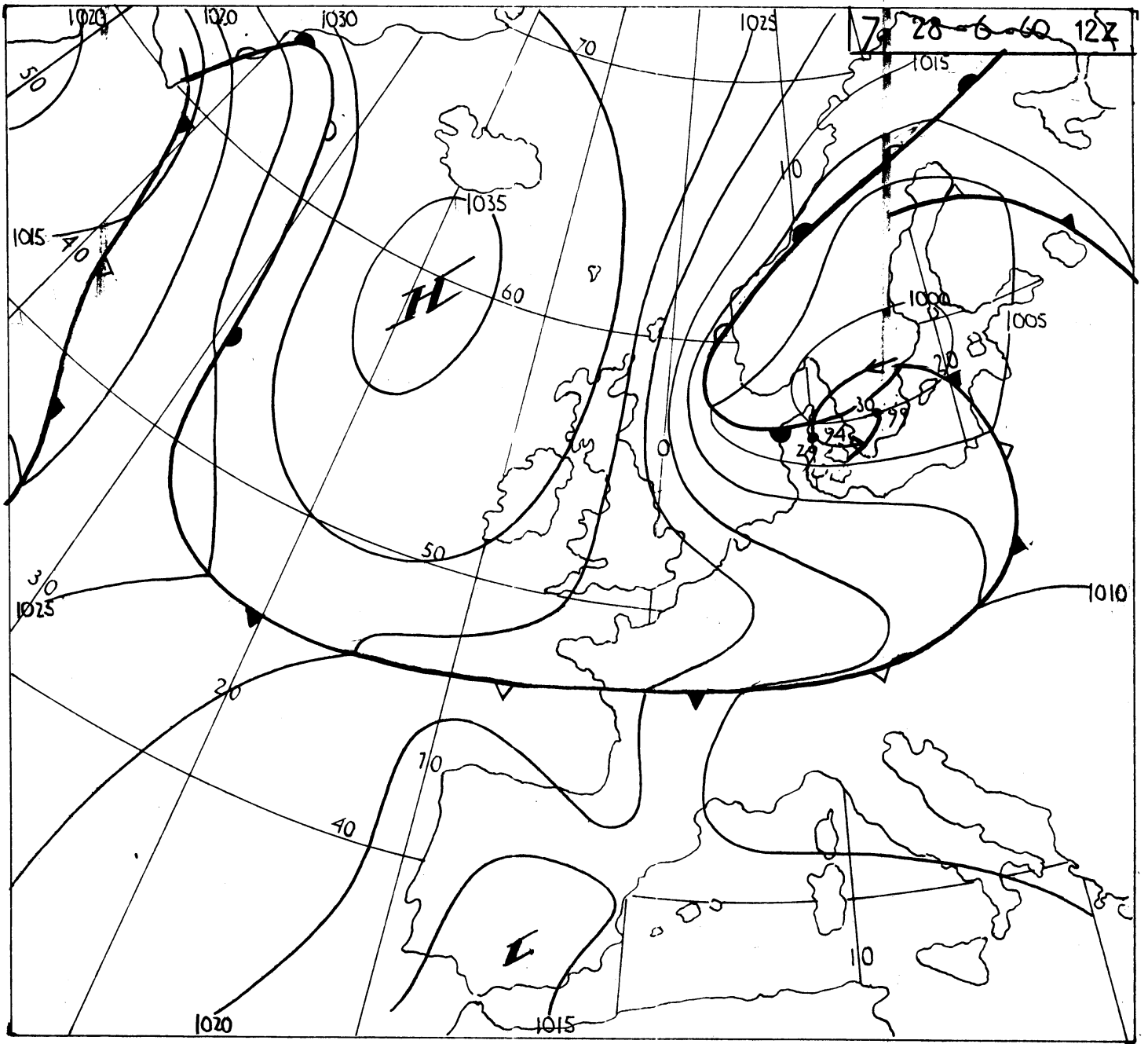
## 7. DE STORMVLOED VAN 29-30 JUNI 1960

GWL Nz

### 7.0 De weerssituatie

Ten westen van Schotland lag een stationair hogedrukgebied van ongeveer 1038 mb. Boven het zuiden van Scandinavië en Denemarken daalde de luchtdruk geleidelijk. Deze dalingen van de luchtdruk hingen samen met een lagedrukgebied in Centraal-Europa en werden verder versterkt door een van IJsland komende trog in de hogere luchtlagen. Op 28 juni ontstond er een aparte kern van lage luchtdruk boven Zuid-Zweden. De verplaatsing ervan was gering. De uitdieping van de depressie ging regelmatig door. Daardoor stak een noordwesterstorm op van kracht 8-9 bft. Dit veld handhaafde zich op 29 juni op de Noordzee en nam op 30 juni geleidelijk weer in kracht af, deels door het opvullen van de depressie, deels door het wegtrekken ervan.

Het windveld is in tabel 22 gegeven.



Tabel 22

		N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	K	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
29/6 '60	00	010/38	350/40	330/30	$\frac{1}{2}$ 320/36	x	330/34	320/27	300/30
	03	010/42	340/40	330/30	$\frac{1}{2}$ 320/30	x	330/33	320/26	300/30
	06	010/42	330/40	320/27	$\frac{1}{2}$ 340/28 $\frac{1}{2}$ 330/35	x	320/33	320/26	310/33
	09	360/40	340/37	330/28	330/32	x	310/33	320/22	310/29
	12	010/44	330/37	330/30	320/30	x	330/33	320/22	300/30
	15	010/40	340/33	330/30	335/30	x	320/33	340/22	300/25
	18	010/35	340/33	330/30	340/30	x	330/32	320/25	310/30
	21	010/38	340/31	330/28	340/33	x	340/30	340/24	310/32
30/6 '60	00	010/30	340/28	340/26	340/26	x	330/31	340/24	300/30
	03	010/30	340/30	330/26	330/30	x	350/31	340/22	300/26

7.1 Het windeffekt

Tabel 23

		O	V	B	O-B	O-B <sub>P</sub>	O-B <sub>S</sub>	O-B <sub>O</sub>
Vlissingen	gmt							
29/6 '60	04.00	+6	+7 $\frac{1}{2}$	+12	-6	-6	-5 $\frac{1}{2}$	-6
	16.30	+6	+7 $\frac{1}{2}$	+10 $\frac{1}{2}$	-4 $\frac{1}{2}$	-4	-4 $\frac{1}{2}$	-4 $\frac{1}{2}$
H. v. Holland								
29/6 '60	05.00	+8 $\frac{1}{2}$	+10	+12 $\frac{1}{2}$	-4	-4	-3 $\frac{1}{2}$	-4
	17.30	+7 $\frac{1}{2}$	+10	+10 $\frac{1}{2}$	-3	-2 $\frac{1}{2}$	-3	-3
Den Helder	09.30	+7	+10	+12	-5	-5	-4 $\frac{1}{2}$	-5
	22.00	+6 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+9	-2 $\frac{1}{2}$	-2	-2	-2 $\frac{1}{2}$
Harlingen								
29/6 '60	00.00	+11	+10	+15 $\frac{1}{2}$	-4 $\frac{1}{2}$	-4	-4	-4 $\frac{1}{2}$
	12.00	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+15	-4 $\frac{1}{2}$	-5	-5	-5 $\frac{1}{2}$
30/6 '60	00.30	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+10	-2 $\frac{1}{2}$	-2	-1 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$
Delfzijl								
29/6 '60	02.00	+15	+7 $\frac{1}{2}$	+14 $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	+1	+1 $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$
	14.00	+11 $\frac{1}{2}$	+10	+13 $\frac{1}{2}$	-2	-1 $\frac{1}{2}$	-1	-2
30/6 '60	02.30	+10	+7 $\frac{1}{2}$	+8 $\frac{1}{2}$	+1 $\frac{1}{2}$	+2	+2 $\frac{1}{2}$	+2 $\frac{1}{2}$

Het verloop van de opzetten op de vijf waarnemingsstations is in fig. 7 weergegeven.

Den Helder, Hoek van Holland en Vlissingen vertoonden na  $\pm$  04z een afneming in de verhogingen. Vooral in Vlissingen is deze afneming bijzonder duidelijk en bedroeg ongeveer 5 dm. Een meteorologische oorzaak kan hiervoor niet worden gevonden. Het windveld dat voor zover het uit de waarnemingen bekend is, onderging geen aanwijsbare verandering. De vorm van de opwaaiingskromme zou verklaard kunnen worden door middel van een verschuiving van de getijkromme. Evenwel steunen de tijden van het opgetreden en voorspelde hoogwater, die vrijwel niet verschillen, deze onderstelling niet. Dit laatste is wel het geval bij de berg in Harlingen omstreeks 11z. Het werkelijke hoogwater valt nl. ongeveer  $1\frac{1}{2}$  uur vroeger dan de getijtafel aangeeft. Deze "berg" berust daarom waarschijnlijk althans voor een deel op een schijneffekt.

## 7.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

Uit tabel 23 blijkt duidelijk dat de berekende opzetten voor alle stations, met uitzondering van Delfzijl, te hoog zijn. Als mogelijke verklaring zou gedacht kunnen worden aan de relatief lage zeewatertemperatuur. Deze veronderstelling vindt echter geen steun bij de waarnemingen die aangeven dat het verschil in temperatuur tussen de lucht en het zeewater 2 graden bedraagt. Ook de overeenkomst tussen de windkrachten opgemeten uit de weerkaart en de waargenomen windkrachten wettigen deze onderstelling niet. Wel moet worden opgemerkt dat de isobaren vooral aan de kust van Holland en Zeeland steeds iets verder van elkaar liggen dan bijvoorbeeld in het voor de opwaaiing belangrijke vak  $Z_1$ . Dit verschijnsel, dat de berekende verhogingen te hoog zijn indien de wind op de plaats waar de opwaaiing wordt bepaald, zwakker is dan in meer verwijderde gebieden, kon ook bij de stormvloed 1, 6, 8, 9 en 10 worden vastgesteld.

FIG 7

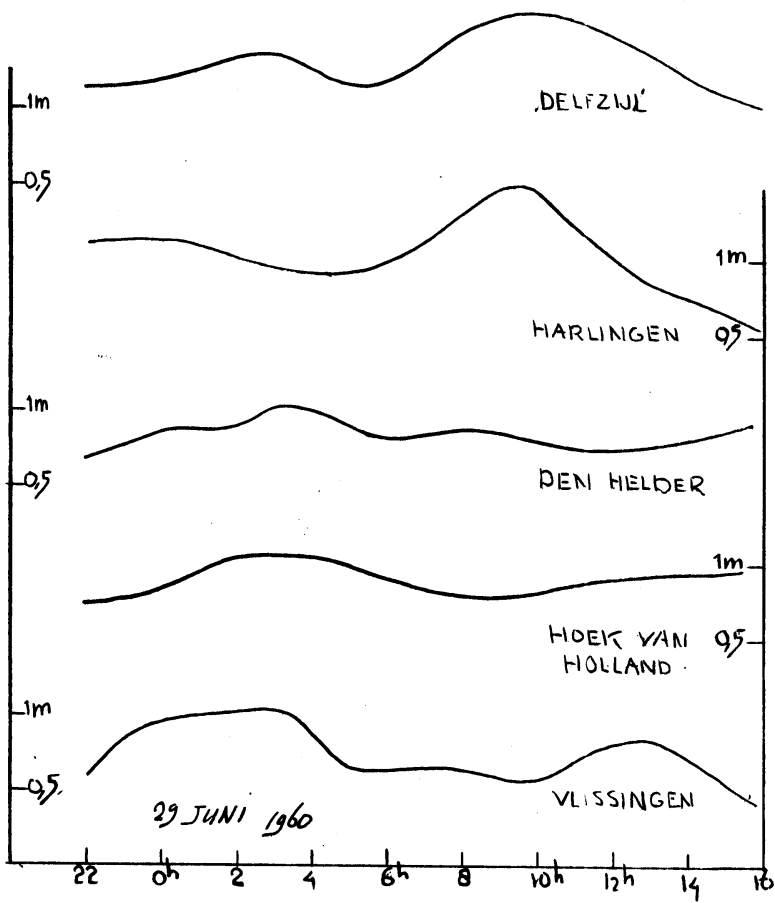
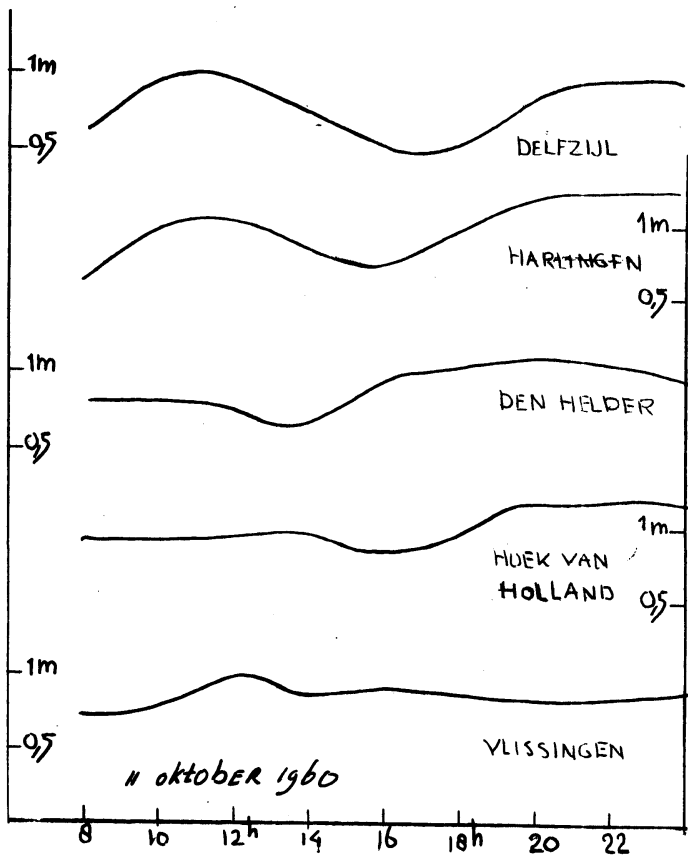


FIG 8



8. DE STORMVLOED VAN 11-12 OKTOBER 1960

GWL TM

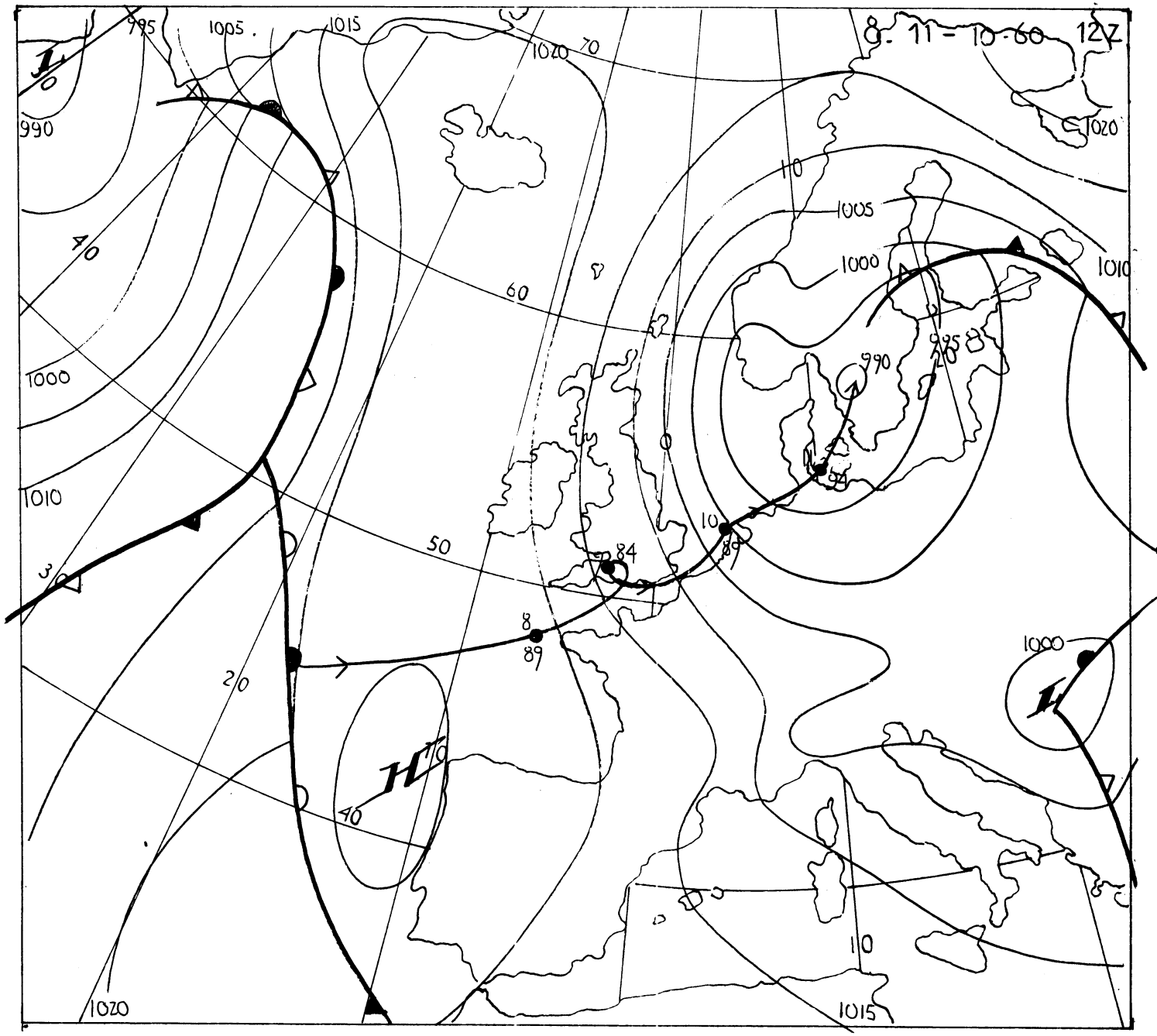
8.0 De weerssituatie

Op 7 oktober '60 trok een depressie afkomstig uit het gebied ten noorden van de Azoren in de richting van het Kanaal. Boven Engeland voerde het centrum van de depressie een lusvormige beweging uit, alvorens op 9 en 10 oktober naar het noordoosten te bewegen. Op 10 oktober trok het centrum dicht langs Den Helder. Op 11 oktober vertoonde de depressie een dubbelstructuur. Nabij Kopenhagen lag toen het centrum van de genoemde depressie, terwijl nabij de Duitse Bocht een secundair lagedrukgebied achterbleef, dat in hoofdzaak aanleiding gaf tot het ontstaan van een NW-N storm van kracht 8-9 bft op het westelijke deel van de Noordzee. Op 13 oktober vulde het lagedrukgebied snel op. Duidelijke troggen vertoonde het lagedrukgebied, ook tijdens zijn dieptepunt, niet.

Het windveld is in tabel 24 aangegeven.

Tabel 24

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	K	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney		
11/10'60	06	010/38	340/36	330/32	x	340/18	320/17	320/12	260/16	
	09	010/38	350/32	330/32	x	340/18	320/29	320/15	290/21	
	12	010/40	350/36	330/36	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 350/20 x	340/18	320/31	320/21	210/20	
	15	010/43	340/38	330/30	x	340/18	330/32	320/21	250/11	
	18	360/43	345/38	320/32	x	340/15	320/36	300/28	260/10	
	21	010/40	340/36	330/33	x	x	360/20	340/17	250/07	
12/10'60	00	010/43	340/38	330/28	x	x	350/36	340/23	x	
	03	010/38	350/35	330/32	x	x	340/36	340/26	x	
	06	010/40	360/38	330/30	x	x	340/33	340/23	140/05	
	09	010/36	350/36	330/26	$\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$ 340/35 x	x	340/33	340/22	160/04	
	12	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 010/35	x	330/32	330/32	$\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$ 350/32 x	x	340/33	320/21	200/06





8.1 Het windeffekt

Tabel 25

		O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>	
<b>Vlissingen</b>									
	gmt								
11/10 '60	17.00	+8	+10	+11 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$	
12/10 '60	05.30	+8	+7 $\frac{1}{2}$	+10 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	
	17.00	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+9 $\frac{1}{2}$	-2	-2	-2	-2	
<b>H. van Holland</b>									
11/10 '60	18.00	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+12	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	-2 $\frac{1}{2}$	
12/10 '60	06.30	+9 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+11	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	
	18.30	+8 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+8 $\frac{1}{2}$	0	0	0	0	
<b>Den Helder</b>									
11/10 '60	10.30	+8 $\frac{1}{2}$	+3 $\frac{1}{2}$	+8 $\frac{1}{2}$	0	0	0	0	
	22.00	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+10	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	
12/10 '60	11.00	+8	+7 $\frac{1}{2}$	+10	-2	-2	-2	-2	
<b>Harlingen</b>									
11/10 '60	13.00	+10	+3 $\frac{1}{2}$	+11 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	
12/10 '60	00.30	+10	+10	+13	-3	-3 $\frac{1}{2}$	-3	-3	
	13.30	+9 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+12 $\frac{1}{2}$	-3	-3	-3	-3	
<b>Delfzijl</b>									
11/10 '60	15.00	+6	0	+7	-1	-1	-1	-1	
12/10 '60	03.00	+5 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+7	-2	-2	-2	-2	
	15.30	+5 $\frac{1}{2}$	+3 $\frac{1}{2}$	+6	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	

De opwaaiingskrommen voor Harlingen en Delfzijl hadden een golfvormig karakter met twee maxima op 11 oktober resp. 11z en 21z en een minimum omstreeks 16z. Een duidelijke meteorologische oorzaak kan niet worden aangegeven. De andere stations gaven een betrekkelijk regelmatig verloop, hetgeen meer in overeenstemming is met het kwasi-stationaire windveld.

8.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten.

Grote verschillen tussen opgetreden en berekende standen kwamen niet voor. Over het algemeen waren de berekende waarden iets hoger dan de waargenomen waarden. Vermoedelijk houdt dit verband met de wat geringere windkrachten bij de Nederlandse kust in vergelijking met de wind elders op de Noordzee.

9. DE STORMVLOED VAN 20-21 MAART 1961

GWL Nz

9.0 De weerssituatie

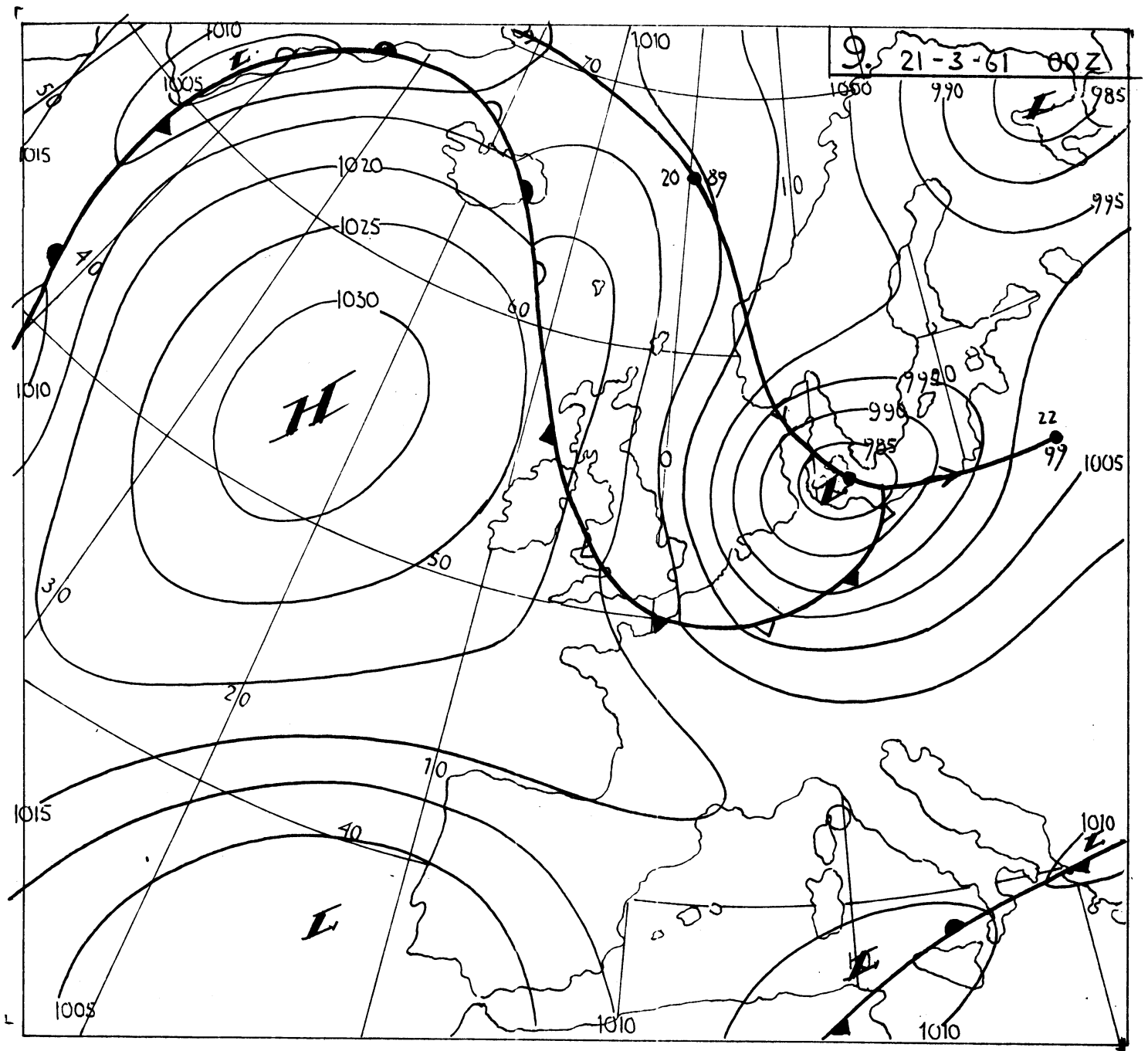
Halverwege tussen IJsland en de Azoren bevond zich een kwasi-stationair hogedrukgebied van ongeveer 1036 mb. Aan de flank hiervan trok op 19 en 20 maart een in diepte toenemende depressie van Groenland in zuidoostelijke richting naar de zuidpunt van Noorwegen en vervolgens in een langzamer tempo naar het zuidelijke deel van de Oostzee. Daar aangekomen vulde de depressie weer op. In de loop van 20 maart veroorzaakte de depressie op de Noordzee een NW-storm van kracht 8-9 bft.

Het frontensysteem van de depressie bestond uit een occluderend warmtefront en koufront. Het bereikte op 20 maart 06z het noordelijke deel van de Noordzee en om 18z de Nederlandse kust. Op 20 maart 12z passeerde een weinig uitgesproken trog de Schotse kust en even na middernacht trok deze trog de Nederlandse kust voorbij. De treksnelheid van deze trog was ongeveer 35 kts.

Het bij deze stormvloed behorende windveld is in tabel 26 weergegeven.

Tabel 26

		N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
20/3 '61	18	360/48	340/43	320/28	320/38	300/20	330/34	290/23	300/34
	21	010/36	340/37	315/28	330/38	300/20	320/37	320/27	290/42
21/3 '61	00	015/38	350/38	330/34	340/38	x	330/35	340/32	320/38
	03	010/32	355/36	340/36	010/30	x	350/39	340/29	350/38
	06	010/26	350/30	340/28	010/28	x	360/30	360/26	360/27
	09	360/20	360/26	350/26	010/25	x	350/32	360/26	350/27
	12	360/18	360/22	350/20	010/22	x	020/26	020/20	360/28
	15	x	010/22	360/20	010/20	x	360/33	320/18	360/27
	18	x	340/15	360/15	350/15	x	360/21	320/16	360/23



9.1 Het windeffekt

Tabel 27

		O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
21/3 '61	04.00	+15	+10	+12	+3	+3	+5½	+3
H. van Holland								
21/3 '61	05.00	+15	+10	+11	+4	+4	+6	+4
Den Helder								
20/3 '61	21.30	+10½	+3½	+15	-4½	-4½	-3	-5½
21/3 '61	09.30	+9½	+7½	+6	+3½	+3½	+4½	+3½
Harlingen								
21/3 '61	00.00	+18	+15	+17	+1	+1	+2½	+1
	12.30	+10½	+5½	+5	+5½	+6	+4½	+6½
Delfzijl								
21/3 '61	02.00	+20½	+15	+18½	+2	+2	+4½	+2
	14.30	+10½	+3½	+5	+5½	+6	+6½	+5½

Uit de metingen van de waterstanden in Aberdeen blijkt dat daar op 20 maart omstreeks 13z een zwak maximum in de opwaaiingen voorkwam. Ongeveer 4 uur later vertoonde Tyne een meer uitgesproken maximum. Enkele uren daarna gaven zowel Immingham als Lowestoft een tweetal maxima. In de avond van 20 maart vertoonden Vlissingen en Hoek van Holland hetzelfde beeld. De tijdsafstand tussen deze twee maxima liep uiteen van 2 tot 4 uren. Ook in dit geval valt de samenhang van de golf met een trog van lagedruk op.

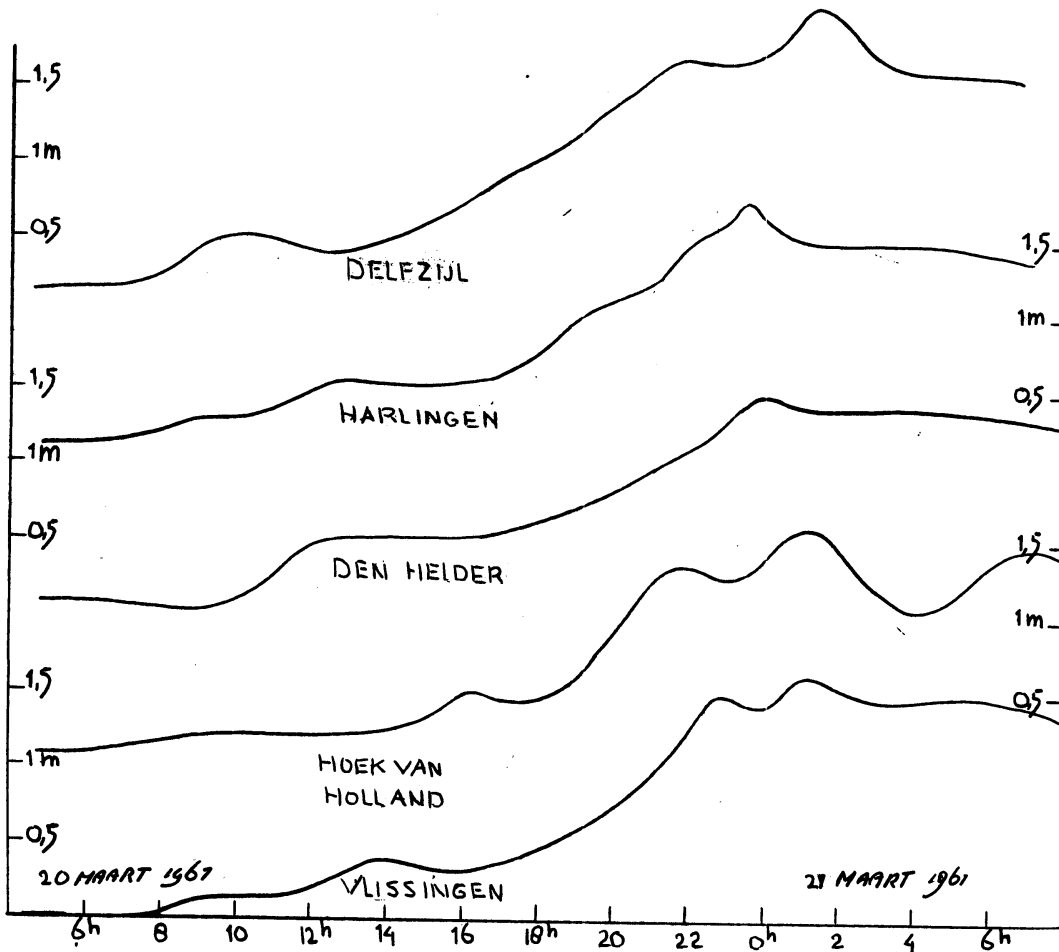
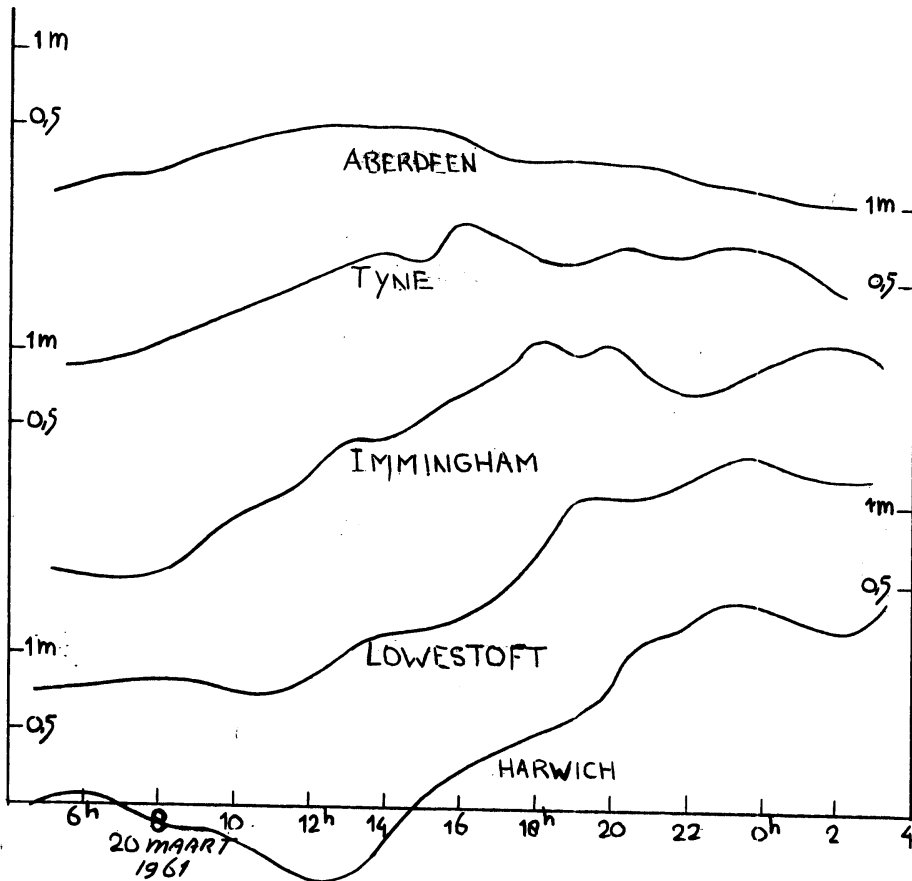
Harlingen en Delfzijl gaven rond middernacht eveneens een maximum. Zowel in Harlingen als in Delfzijl trad dit maximum op ongeveer een half uur voor het hoogwater. Een mogelijke verklaring ervan zou gevonden kunnen worden in een verschuiving van de getijkromme.

9.2 Het verschil tussen opgetreden en berekende waterstanden

Het avondhoogwater van 20 maart in Den Helder gaf een te hoge berekening. Dit hangt waarschijnlijk samen met het feit dat het sterke NW-windveld nog niet geheel tot de Nederlandse kust was doorgedrongen.

De nachthoogwaters van 21 maart in Vlissingen en Hoek van Holland alsmede de daaropvolgende hoogwaters in Den Helder, Harlingen en Delfzijl gaven te lage berekeningen. Een verklaring hiervoor kan moeilijk worden gegeven.

Fig 9



10. DE STORMVLOED VAN 4-5 JULI 1961

GWL NWz

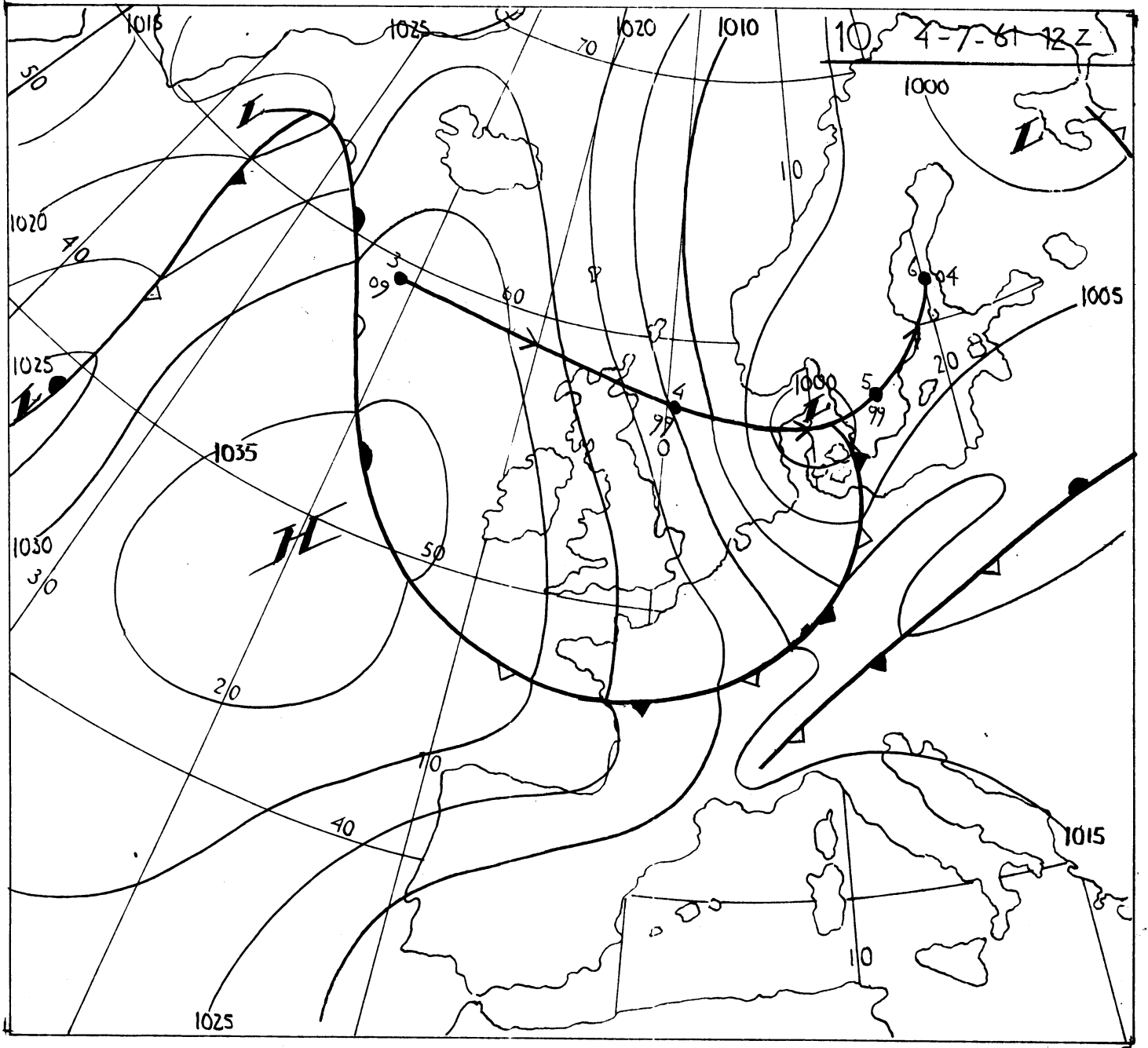
10.0 De weerssituatie

Een kwasi-stationair hogedrukgebied lag ongeveer 500 km ten zuidwesten van Ierland met een luchtdrukwaarde van 1037 mb in het centrum. Op 3 juli splitste zich van een depressie ten oosten van New Foundland een deel af, dat met een ooszuidoostelijke koers naar het noordelijke deel van de Noordzee trok. Daarbij vond een uitdieping van ruim 10 mb plaats, waardoor een stormveld ontstond, dat op 4 juli boven de Noordzee terecht kwam. Op 4 juli rond het middaguur was het centrum van de depressie boven Denemarken aangekomen met een luchtdrukwaarde van 997 mb. Daarna bewoog de depressie naar het noordoosten en vulde op. Vooral op 4 en 5 juli veroorzaakte de depressie op de Noordzee een noordwesterstorm, eerst van kracht 8-9 bft, daarna van 7-8 bft. Het koufront van de depressie trok op 4 juli in een snel tempo de Noordzee over. Op 4 juli 03z bevond zich voor de Schotse kust een trog, die omstreeks 12z de Nederlandse kust passeerde. De treksnelheid bedroeg ongeveer 25 kts. De depressie zelf bewoog met een snelheid van ongeveer 27 kts, terwijl het koufront met ongeveer 30 kts over de Noordzee trok.

Het windveld is in tabel 28 gegeven.

Tabel 28

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney	
4/7 '61	06	$\frac{1}{2}$ 270/33 $\frac{3}{4}$ 350/40	290/25	$\frac{1}{2}$ x $\frac{3}{4}$ 260/32	330/20	290/31	270/25	280/34	
	09	360/35	350/45	$\frac{1}{2}$ x $\frac{3}{4}$ 270/28	330/20	280/29	270/23	270/30	
	12	350/32	345/40	$\frac{3}{4}$ 345/35 $\frac{1}{2}$ 270/28	x	340/40	340/26	270/30	
	15	350/30	340/30	330/28	335/38	x	350/37	340/32	340/44
	18	350/30	330/30	320/28	320/33	x	340/34	320/26	330/42
5/7 '61	21	345/30	330/30	320/24	325/28	x	330/33	320/22	320/34
	00	345/30	320/30	320/24	310/28	x	320/29	320/20	320/34
	03	345/25	315/30	320/20	310/26	x	330/31	320/20	320/33
	06	350/27	320/28	320/20	330/30	x	300/30	290/22	310/33
	09	355/28	300/26	320/20	315/28	x	310/29	310/22	310/31
	12	350/27	335/23	320/20	330/26	x	310/31	320/22	310/29
	15	350/25	335/20	320/18	320/28	x	340/30	320/21	320/30
	18	$\frac{1}{2}$ 340/30 $\frac{3}{4}$ 350/18	340/15	330/18	330/32	x	340/31	320/20	320/30



10.1 Het windeffekt

Tabel 29

	0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen gmt							
4/7 '61 17.30	+8	+10	+8	0	+ $\frac{1}{2}$	0	0
5/7 '61 06.30	+2 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	-3	-2 $\frac{1}{2}$	-3	-3
H.van Holland							
4/7 '61 19.00	+8 $\frac{1}{2}$	+10	+7 $\frac{1}{2}$	+1	+1 $\frac{1}{2}$	+1	+1
5/7 '61 07.00	+2 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+6	-3 $\frac{1}{2}$	-3	-3 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$
Den Helder							
4/7 '61 11.00	+8	+5 $\frac{1}{2}$	+13	-5	-4 $\frac{1}{2}$	-4 $\frac{1}{2}$	-6
23.00	+6 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+8	-1 $\frac{1}{2}$	-1	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$
5/7 '61 11.30	+3 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	-2	-1 $\frac{1}{2}$	-2	-2
Harlingen							
4/7 '61 13.30	+12 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+16	-3 $\frac{1}{2}$	-3	-3 $\frac{1}{2}$	-4 $\frac{1}{2}$
5/7 '61 01.30							
14.30	+7	+5 $\frac{1}{2}$	+7	0	- $\frac{1}{2}$	0	0
Delfzijl							
4/7 '61 15.30	+12	+10	+17	-5	-4 $\frac{1}{2}$	-5	-7 $\frac{1}{2}$
4/7 '61 04.30	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+9 $\frac{1}{2}$	0	- $\frac{1}{2}$	0	0
16.30	+8 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	+8 $\frac{1}{2}$	0	- $\frac{1}{2}$	0	0

Na het doorkomen van de trog op 4 juli 12z nam in alle waarnemingsstations de opwaaiing aanzienlijk toe. Rond het middaguur vertoonden Vlissingen en Hoek van Holland een extra verhoging van omstreeks 3 dm, die gedurende ongeveer één uur aanhield. Kennelijk was dit de weerspiegeling van de trogpassage, die toen plaatsvond.

10.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De hoogwaters rond het middaguur en in de middag van 4 juli gaven voor Den Helder, Harlingen en Delfzijl een berekende opzet, die belangrijk hoger was dan de opgetreden opzet. Dit gebeurde tijdens een periode dat de berekende opzetten sterk toenamen. Van een stationaire toestand was dan ook geen sprake.

Het ochtendhoogwater op 5 juli in Vlissingen en Hoek van Holland gaf een berekende opzet die ongeveer 3 dm hoger uitviel dan de opgetreden opzet. Dit was het geval bij een sterke afneming van de wind ter plaatse.



FIG 10

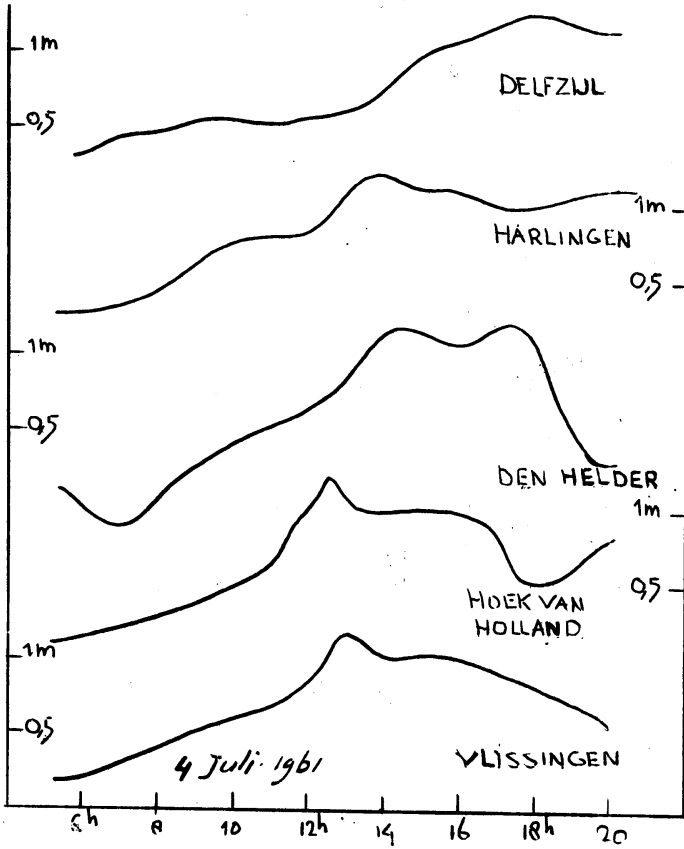
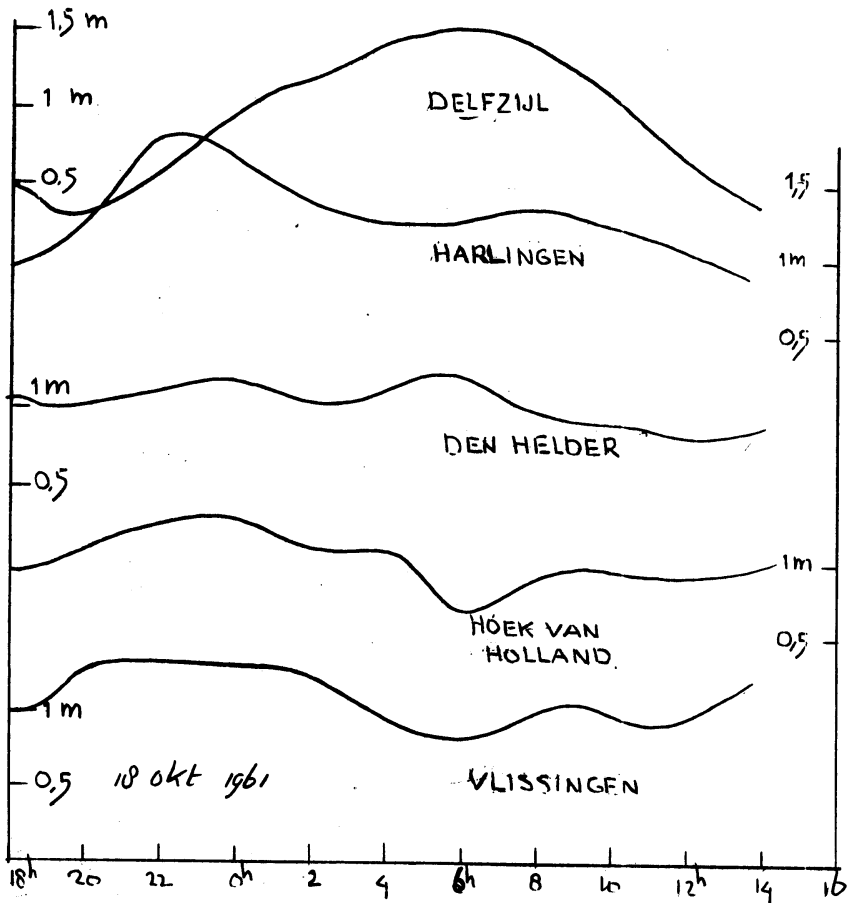


FIG 11



11. DE STORMVLOED VAN 17-18 OKTOBER 1961

GWL TrM

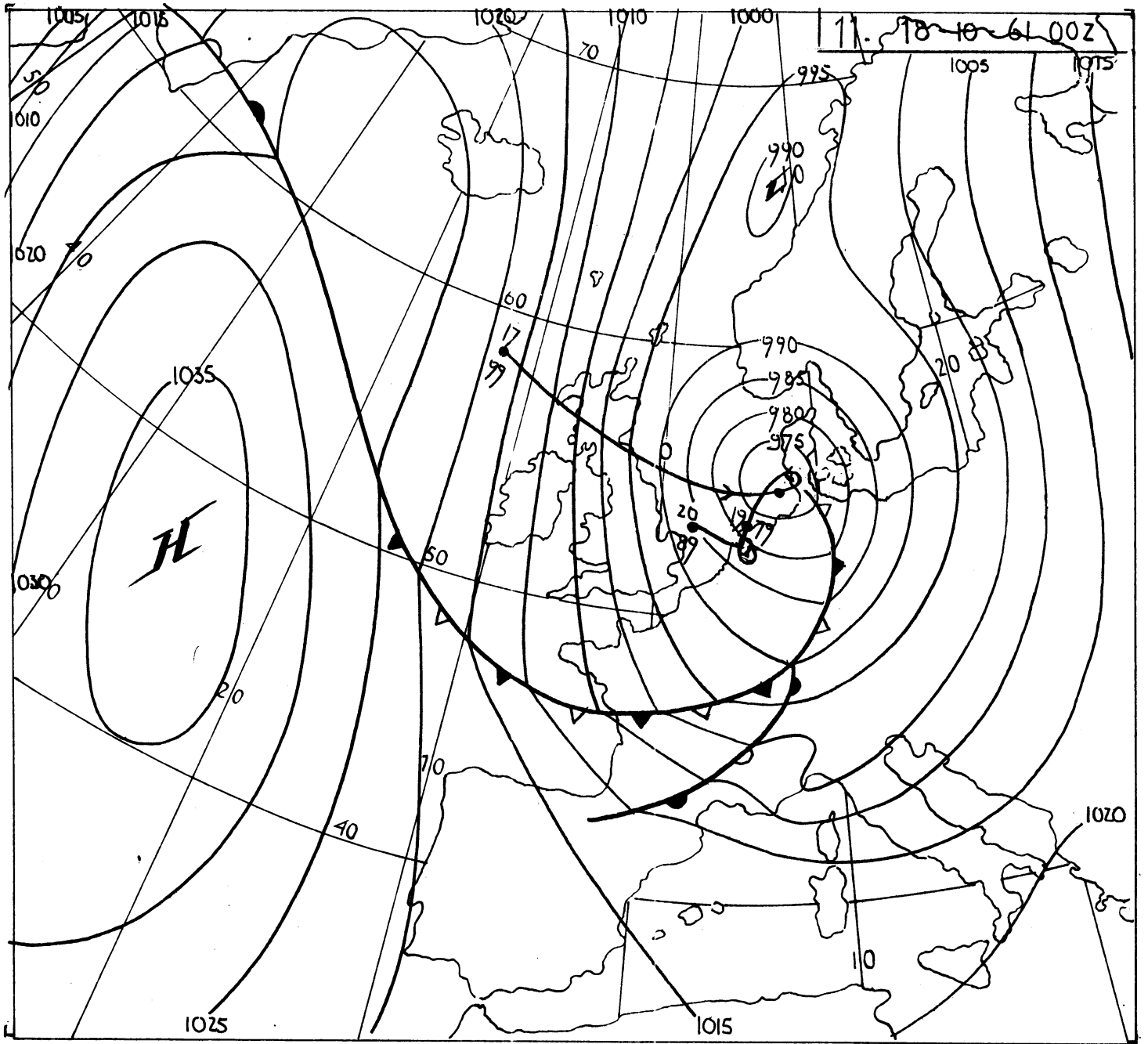
11.0 De weerssituatie

Een kwasi-stationair hogedrukgebied van ongeveer 1037 mb lag ongeveer 500 km ten noorden van de Azoren. De depressie, die op 17 en 18 oktober de stormvloed veroorzaakte, bewoog op 16 en 17 oktober snel over de oceaan in oostzuidoostelijke richting en kwam vervolgens op 17 oktober rond het middaguur in de Duitse Bocht aan. Daar onderging de depressie, die inmiddels tot 973 mb was uitgediept, een aanzienlijke vertraging en bewoog vervolgens langzaam naar het zuiden. Aan de achterzijde van de depressie ontstond in de avond van 17 oktober op de Noordzee een noorderstorm van 8-9 bft, die pas in de avond van 18 oktober in kracht afnam. Op 18 oktober ongeveer 05z trok een trog de Nederlandse kust voorbij. De treksnelheid van deze trog kon niet worden bepaald, omdat de trog voordien aanwezig geweest moet zijn in een waarnemingsloos gebied van de Noordzee.

Het windveld is in tabel 30 weergegeven.

Tabel 30

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlieland	Norderney	
17/10'61	15	x	x 350/37	310/35	x 225/30	315/25	260/24	210/20	200/20
	18	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ x 350/25	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 010/32 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 340/35	330/34	x	335/22	320/44	270/12	170/16
	21	020/24	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 360/26 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 340/37	330/38	x	330/22	330/42	335/32	180/17
18/10'61	00	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 030/25 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 010/38	345/30	325/37	x 350/36	x	330/39	335/30	200/16
	03	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 045/25 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 020/29	360/32	330/32	x	350/20	330/32	335/27	290/15
	06	035/35	360/35	315/30	x 030/28 350/28	340/26	330/32	335/26	330/17
	09	030/38	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 010/40 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 350/34	330/32	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 030/30 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 010/20	340/24	340/31	335/28	360/16
	12	030/38	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 020/42 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 355/38	340/32	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 045/38 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 350/20	350/22	360/26	335/21	310/15
	15	030/38	010/34	350/36	040/33	350/25	010/28	360/21	320/14
	18	035/40	010/40	350/38	060/36 010/35	350/30	360/32	360/24	300/08
	21	030/43	025/42	360/34	x 050/34	350/28	360/34	360/26	140/14



11.1 Het windeffekt

Tabel 31

		O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
17/10 '61	18.30	+10½	+7½	+8	+2½	+1	+2½	+2½
18/10 '61	07.00	+7½	+10	+9½	-2	-3	-2½	-2
	20.00	+8	+10	+13	-5	-6	-3	-5
H. van Holland								
17/10 '61	19.00	+11	+7½	+8½	+2½	+1	+2½	+2½
18/10 '61	08.00	+8½	+10	+10	0	-1	-½	0
	20.30	+6½	+10	+13	-6½	-7½	-5½	-6½
Den Helder								
17/10 '61	23.30	+12	+7½	+7	+5	+4	+5½	+4
18/10 '61	11.30	+8½	+10	+9½	-1	-2	0	0
Harlingen								
18/10 '61	02.00	+14½	+10	+11½	+3	+2	+3	+3
	14.30	+8	+10	+11½	-3½	-4½	-2½	-3½
Delfzijl								
18/10 '61	04.00	+15½	+10	+7	+8½	+7½	+8½	+7½
	17.00	+5½	+10	+5½	0	-1	+½	0

De opwaaiingen in de Nederlandse stations gedurende het hoogtepunt van de stormvloed zijn in fig. 11 gegeven. In de avond van 17 oktober vertoonde Harlingen een "berg", die moet worden toegeschreven aan lokale opwaaiing in de Waddenzee. De opwaaiingen in Delfzijl kunnen in verband worden gebracht met een trogpassage. Den Helder, Hoek van Holland en Vlissingen gaven enkele schommelingen in de opwaaiingen, die moeilijk verklaard kunnen worden met behulp van een atmosferisch gebeuren.

11.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De avondhoogwaters van 18 oktober van Den Helder, Harlingen en vooral Delfzijl gaven hogere opzetten dan de berekening aangaf. Vermoedelijk moet dit worden toegeschreven aan het feit dat de uitgestrektheid van het noordwester stormveld in de Duitse Bocht niet precies kon worden vastgesteld, terwijl in Delfzijl een extra effect van de trogpassage eveneens een rol speelde.

In de avond van 18 oktober vielen de berekeningen daarentegen te hoog uit. Dit vond plaats bij afnemende noordelijke wind.

12. DE STORMVLOED VAN 3-4 NOVEMBER 1961

GWL, TrM

12.0 De weerssituatie

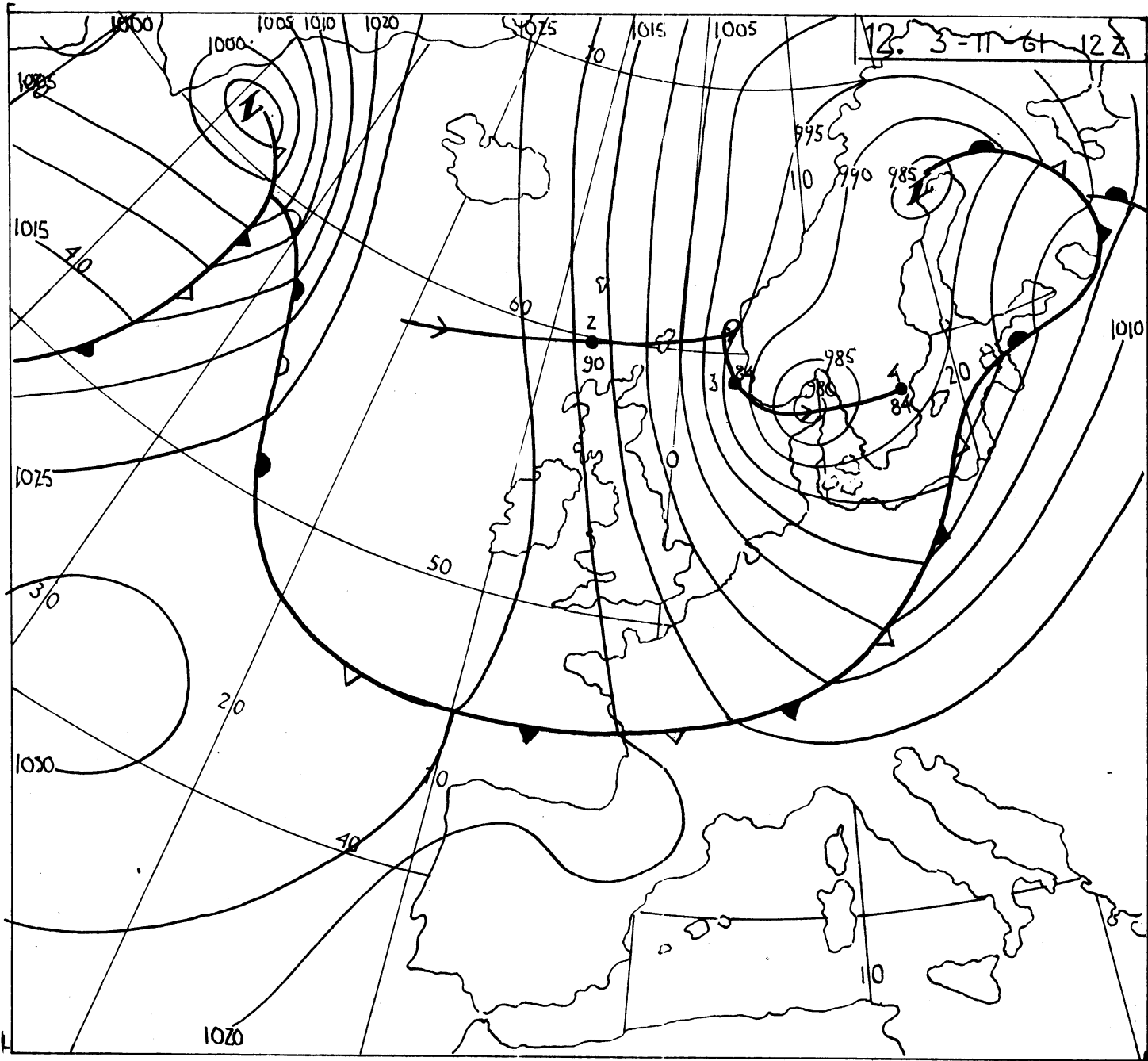
Op 1 november bevond er zich op ongeveer 500 km ten zuiden van IJsland een depressie, die met een snelheid van 25 kts naar het oosten trok. Op 2 november 12z was de depressie voor de Noorse kust aangekomen en bewoog toen sterk vertraagd. Daarna trok de depressie naar het zuiden en vervolgens in zuidoostelijke richting naar het Skagerrak en het zuiden van Zweden. Belangrijke uitdieping vond niet plaats en de noordwester tot noorderstorm van kracht 8-9 bft, die zich aan de achterzijde van de depressie over de Noordzee uitbreidde, ontstond dan ook voor een belangrijk deel door krachtige luchtdrukstijgingen nabij Ierland. In de loop van 4 november verwijderde de depressie zich weer in noordoostelijke richting en vulde op. De winden op de Noordzee namen toen weer af.

Op 2 november bevond er zich voor de Schotse kust een trog, die vervolgens over de Noordzee omzwaaide en omstreeks middernacht de Nederlandse kust voorbijtrok. De treksnelheid was ongeveer 30 kts.

Het bij deze stormvloed behorende windveld is in tabel 32 weergegeven.

Tabel 32

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlieland	Norderney
3/11'61 00	360/48	310/28	280/28	260/32	290/20	270/28	270/22	260/22
03	010/42	330/34	310/25	$\frac{1}{2}$ 315/40 $\frac{1}{2}$ 260/32	290/20	320/29	310/24	310/26
06	355/40	330/30	320/30	$\frac{1}{2}$ 320/31 $\frac{1}{2}$ 320/40	x	310/25	310/20	330/29
09	$\frac{3}{4}$ 345/46 $\frac{1}{4}$ 345/36	330/37	330/24	320/40	x	350/31	310/22	320/33
12	$\frac{1}{3}$ 360/38 $\frac{2}{3}$ 360/32	335/30	320/26	305/38	x	320/30	320/25	310/32
15	360/38	340/37	330/30	315/30	x	320/27	310/20	290/30
18	355/38	330/30	315/28	315/30	x	330/33	320/22	290/33
21	360/36	335/30	315/28	330/26	x	330/30	320/22	320/20
4/11'61 00	360/32	345/30	330/18	340/28	x	340/32	340/22	320/20
03	350/32	350/30	340/28	340/32	x	350/31	340/20	330/20
06	350/28	345/35	340/30	340/31	x	350/30	350/27	330/22



12.1 Het windeffekt

Tabel 33

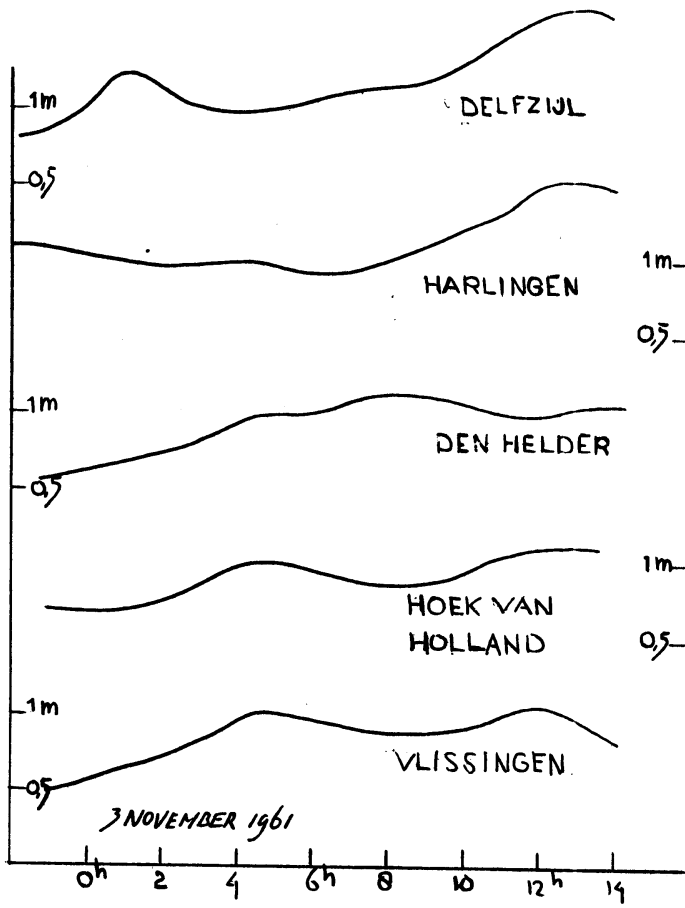
		0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen gmt								
3/11 '61	09.30	+9	+10	+10	-1	-1	-1 $\frac{1}{2}$	-1
	22.00	+7	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{2}$
4/11 '61	10.30	+6	+5 $\frac{1}{2}$	+9	-3	-2 $\frac{1}{2}$	-3	-3
H. van Holland								
3/11 '61	10.30	+12	+10	+10	+2	+2	+1 $\frac{1}{2}$	+2
	23.00	+10 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+3	+3	+3	+3
4/11 '61	11.30	+8	+5 $\frac{1}{2}$	+8	0	- $\frac{1}{2}$	0	0
Den Helder								
3/11 '61	14.30	+11	+10	+11	0	0	-1	0
4/11 '61	03.00	+6	+10	+7 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$
Harlingen								
3/11 '61	04.00	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+11 $\frac{1}{2}$	-2	-2	-2	-2
	17.00	+13	+10	+14 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-3	-1 $\frac{1}{2}$
4/11 '61	05.30	+7 $\frac{1}{2}$	+10	+10 $\frac{1}{2}$	-3	-2 $\frac{1}{2}$	-3	-3
Delfzijl								
3/11 '61	06.30	+12 $\frac{1}{2}$	+10	+15 $\frac{1}{2}$	-3	-3	-3	-5
	19.30	+13 $\frac{1}{2}$	+10	+11 $\frac{1}{2}$	+2	+2	+1	+2
4/11 '61	08.00	+9 $\frac{1}{2}$	+10	+11	-1 $\frac{1}{2}$	-1	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$

De opwaaiingskrommen hadden in het algemeen een regelmatig verloop, dat overeenstemde met de veranderingen in het windveld. In de eerste uren van 3 november vertoonde Delfzijl een "berg" water van ongeveer 5 dm. Deze was aanwezig ten tijde van laagwater en zou daarom wel eens kunnen samenhangen met een verschuiving van de getijkromme.

12.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De berekende en de opgetreden opzetten tijdens hoogwater stonden redelijk overeen.

FIG 12





13. DE STORMVLOED VAN 5-6 DECEMBER 1961

GWL 5/12: SWz; 6/12: NWz

13.0 De weerssituatie

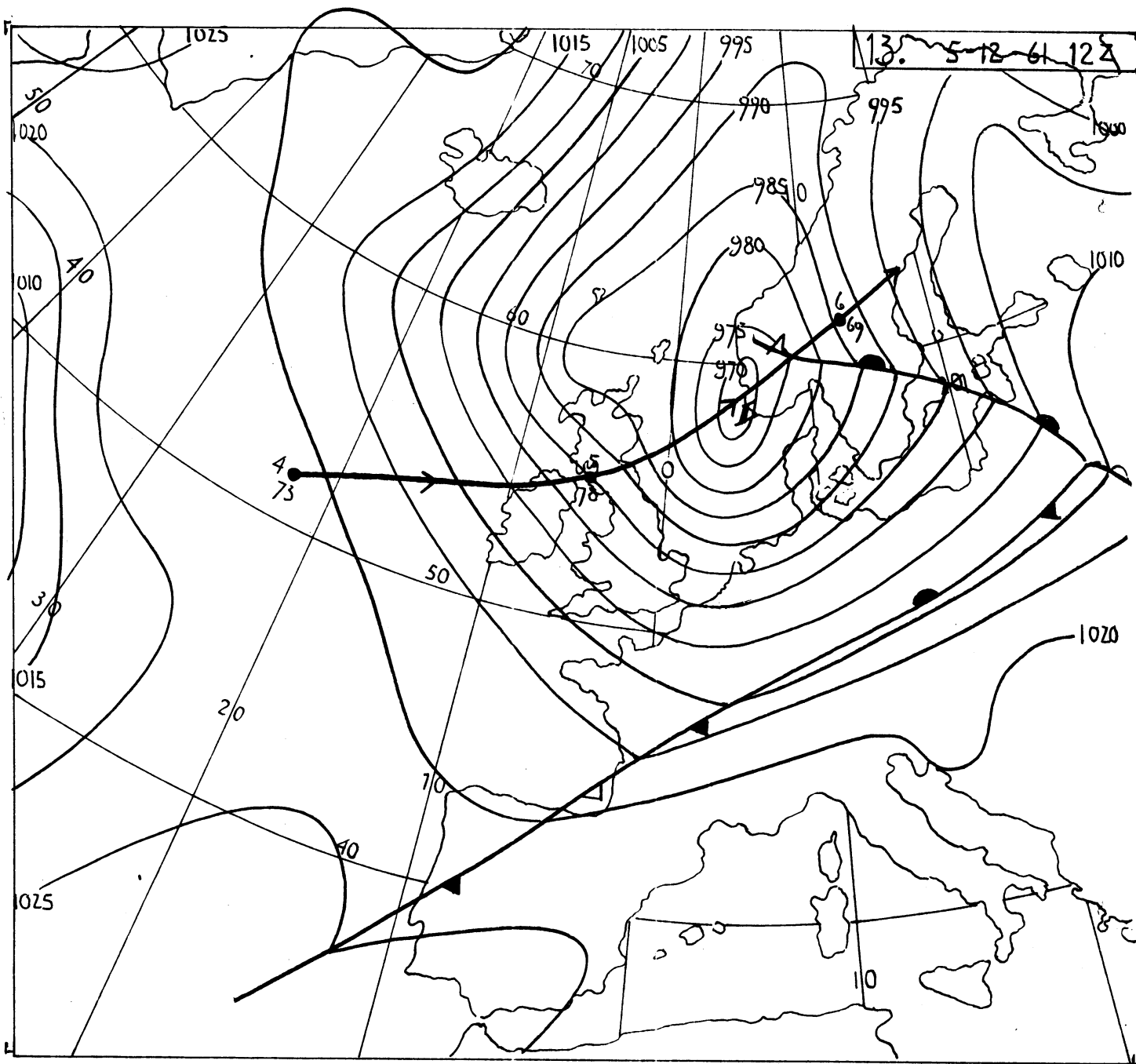
Op 4 december trok een depressie van ongeveer 970 mb diepte met een snelheid van 27 kts van de oceaan naar Schotland en vervolgens op 5 december met ongeveer dezelfde snelheid naar de omgeving van Oslo. De noordwesterstorm aan de achterkant van deze depressie bereikte op de Noordzee tijdelijk een kracht van 9-10 bft.

De depressie vertoonde twee troggen. De ene lag op 5 december 06z boven Engeland en passeerde om 12z de Nederlandse kust. Deze trog bewoog snel met ongeveer 35 kts. De andere trog bevond zich op 5 december 18z boven Schotland. Deze trok eveneens over de Noordzee maar werd daarbij geleidelijk minder uitgesproken. Samenhangend met het wegtrekken en het opvullen van de depressie namen de winden op de Noordzee in de loop van 6 december in kracht af.

In tabel 34 is het windveld gegeven.

Tabel 34

		N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
5/12'61	12	$\frac{1}{2}$ x $\frac{2}{3}$ 010/40	310/36	$\frac{1}{2}$ 240/35 $\frac{2}{3}$ 305/35	240/42	310/35	240/28	230/32	230/34
	15	350/42	300/45	290/40	280/33	x	280/41	270/29	270/35
	18	$\frac{1}{2}$ 340/28 $\frac{1}{2}$ 340/40	290/48	280/35	290/47	x	280/39	270/34	270/45
	21	350/35	280/48	280/38	280/42	x	270/35	270/31	270/43
6/12'61	00	350/32	290/43	280/32	270/48	x	270/35	270/31	260/40
	03	340/40	315/40	280/34	$\frac{1}{2}$ 320/32 $\frac{1}{2}$ 270/36	x	270/34	270/32	260/40
	06	340/32	310/38	290/28	300/43	x	300/30	290/25	300/42
	09	335/28	295/35	290/24	290/33	x	290/27	290/22	300/32
	12	340/28	310/30	x	290/26	x	290/23	310/12	290/20



13.1 Het windeffekt

Tabel 35

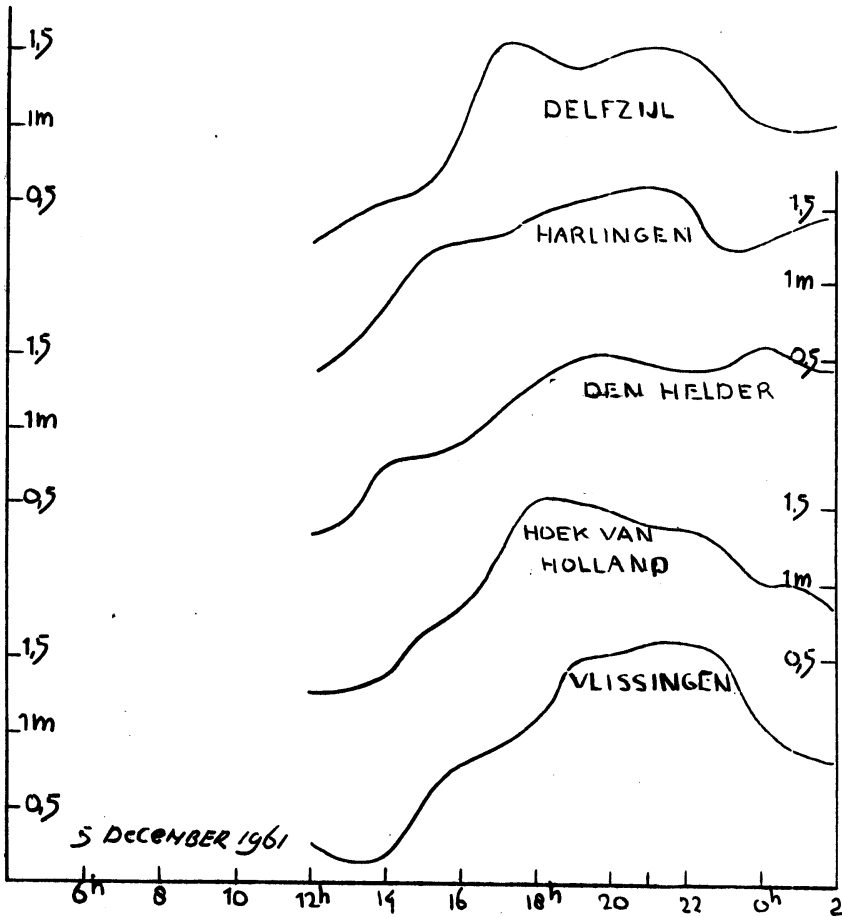
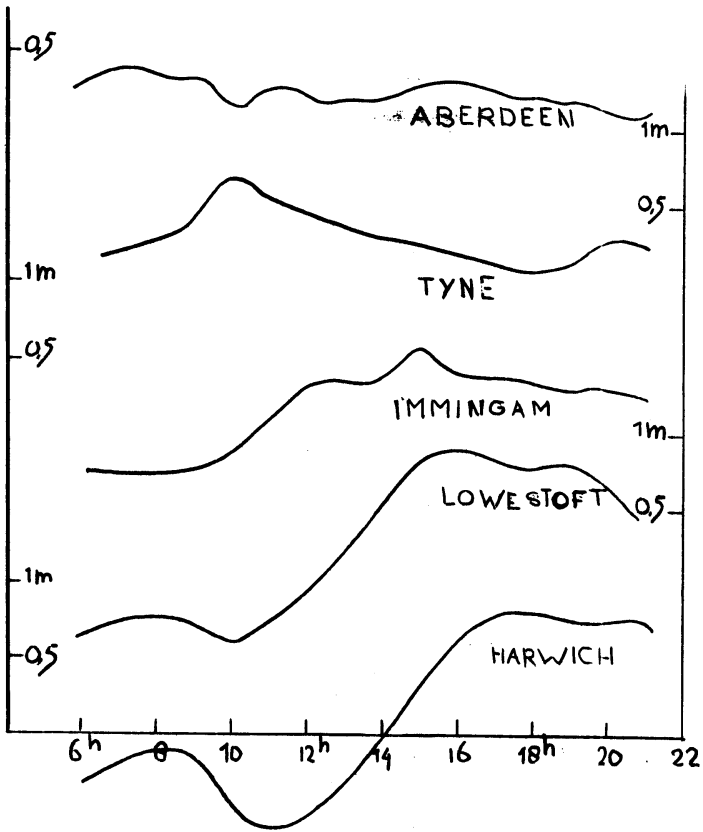
	0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen gmt							
5/12 '61 23.30	+9	+10	+11	-2	-2	-2½	-2
6/12 '61 12.00	+7½	+7½	+7	+½	+1	0	+½
H. van Holland							
6/12 '61 00.30	+8	+10	+10½	-2½	-2½	-3	-2½
13.00	+5	+7½	+6½	-1½	-1	-2	-1½
Den Helder							
5/12 '61 17.00	+13½	+5	+15½	-2	-2	-3½	-4
6/12 '61 05.00	+12½	+10	+14½	-2	-2	-2½	-2
Harlingen							
5/12 '61 19.00	+16	+5½	+19½	-3½	-3½	-6	-5½
6/12 '61 07.00	+16	+10	+16	0	+½	+1½	0
Delfzijl							
5/12 '61 21.30	+15	+10	+19	-4	-4	-6½	-7½
6/12 '61 09.30	+15	+10	+14½	+½	+1	-1	+2½

Na het voorbijtrekken van de trog namen de opwaaiingen in de loop van 5 december langs de gehele Nederlandse kust geleidelijk toe en bereikten in de avond van 5 december een hoogtepunt. Delfzijl vertoonde om  $\pm 17z$  een "berg" water van ongeveer een halve meter. De "berg" hangt ongetwijfeld samen met het lokale windveld, dat op dat ogenblik een maximum vertoonde.

13.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

In de avond van 5 december waren de berekende opwaaiingen hoger dan de opgetreden. De wind was toen aan de Nederlandse kust nog westelijk. Ook bij andere stormvloeden is waargenomen dat de berekende opzetten te hoog zijn, indien de isobaarrichting aan de Nederlandse kust ongeveer  $270^\circ$  is. Overigens was er een goede overeenstemming tussen opgetreden en berekende opzetten.

FIG 13



14. DE STORMVLOED VAN 22-23 JANUARI 1962

GWL Wz

14.0 De weerssituatie

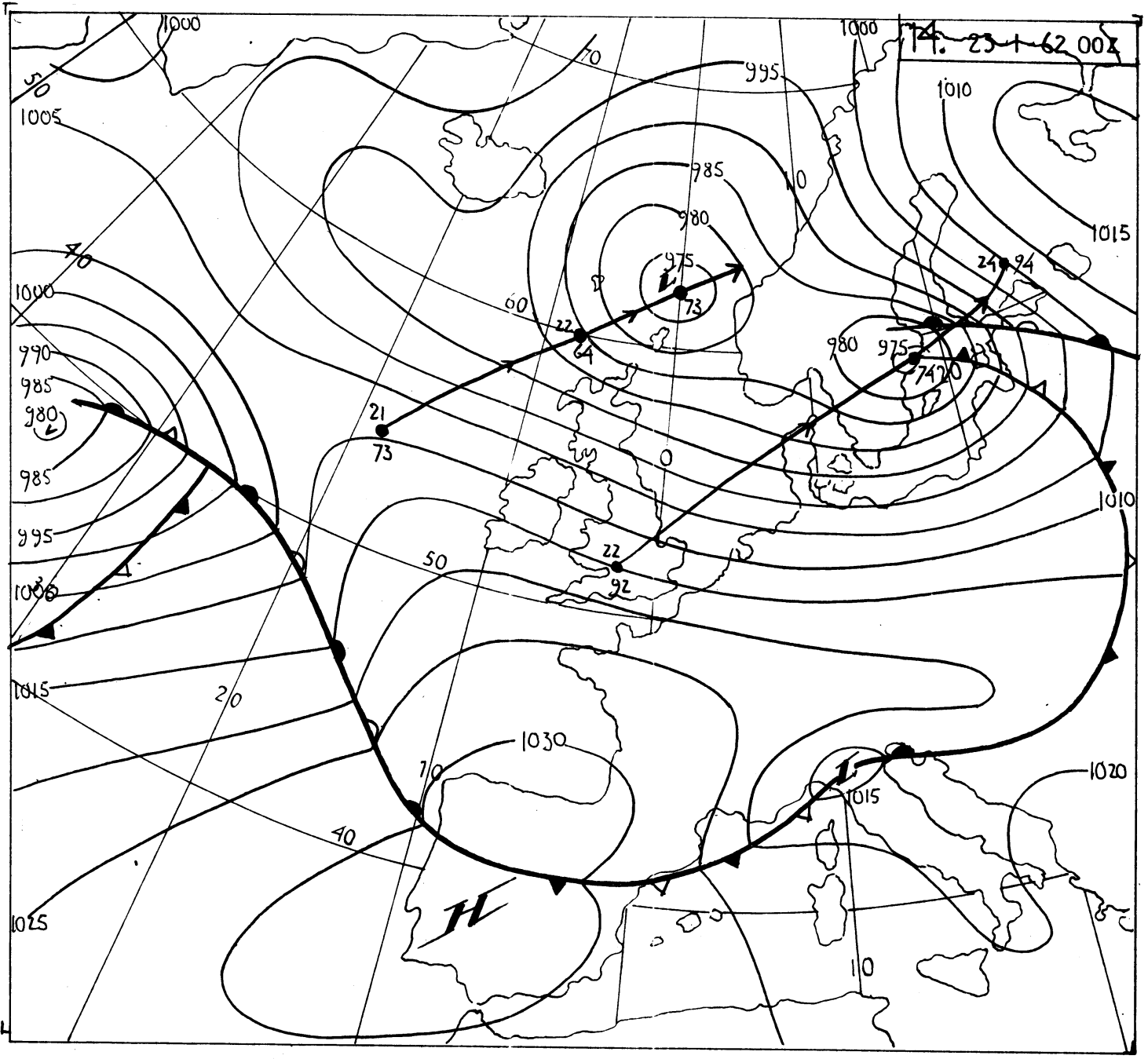
Op 21 januari bewoog een uitdiepende oceaandepressie in noordoostelijke richting naar Schotland. De treksnelheid was aanvankelijk 30 kts maar deze nam in de namiddag van 21 januari af tot 15 kts. Op 22 januari trok de depressie verder naar het noordoosten en vulde toen langzaam weer op.

De depressie ging vergezeld van een tweede, op 22 januari 00z boven Zuid-Engeland gelegen storing, die met een snelheid van ongeveer 40 kts uitdiepend over het zuidelijke deel van de Noordzee naar Zweden trok. Deze storing bereikte om ongeveer 07z de Nederlandse kust. Aan de achterzijde ervan stak op het zuidelijke deel van de Noordzee een westelijke wind op van kracht 8-9 bft. Op 23 januari trok een zwakke trog eveneens met een snelheid van ongeveer 40 kts de Noordzee over en passeerde omstreeks 06z de Nederlandse kust.

In tabel 38 is het windveld vermeld.

Tabel 38

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
22/1'62 06	200/36	$\frac{2}{3}$ x 280/28	270/36	x	280/40	230/27	230/28	200/20
09	240/30	280/40	280/38	$\frac{1}{2}$ x 270/30	280/30	280/34	250/27	210/26
12	200/36	270/38	275/35	280/45	280/30	270/32	270/32	260/36
15	$\frac{1}{2}$ x 200/36 270/32	280/40	280/30	280/40	280/26	260/32	270/28	250/39
18	270/38	280/40	280/30	270/42	270/26	270/32	270/28	250/37
21	270/34	270/38	275/28	270/40	275/26	270/31	270/26	260/35
23/1'62 00	270/28	280/35	280/28	260/36	280/20	270/31	270/25	260/34
03	270/28	290/30	280/36	250/35	x	260/31	270/27	260/34
06	290/32	290/40	280/32	270/38	280/22	270/32	270/28	240/28
09	290/32	290/35	280/32	280/32	x	280/30	270/28	250/28
12	290/30	290/28	280/24	280/30	x	290/27	270/22	260/26



14.1 Het windeffekt

Tabel 39

	0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen gmt							
22/1 '62 14.30	+5½	+10	+8½	-3	-3	-3	-3
23/1 '62 02.30	+7	+7½	+5½	+1½	+1½	+1½	+1½
H. van Holland							
22/1 '62 15.00	+7	+10	+8½	-1½	-1½	-1½	-1½
23/1 '62 03.30	+7½	+7½	+5½	+2	+2	+2	+2
Den Helder							
22/1 '62 20.00	+9½	+10	+8½	+1	+1	+1	+1
23/1 '62 08.30	+10	+10	+10½	-½	0	-½	-1½
Harlingen							
22/1 '62 10.30	+8½	0	+13	-4½	-5	-4½	-4½
22.00	+11	+15	+10½	+½	+½	+½	+½
23/1 '62 11.00	+11	+15	+11	0	+½	0	0
Delfzijl							
22/1 '62 12.00	+7½	+7½	+9	-1½	-1½	-1½	-1½
23/1 '62 00.30	+12½	+10	+9	+3½	+3½	+3½	+3½
13.00	+10½	+10	+8	+2½	+3	+2½	+2½

Na het passeren van de tweede storing namen in de ochtend van 22 januari de opwaaiingen over het algemeen toe. Daarbij gaven Vlissingen en Hoek van Holland om ongeveer 08z een extra verhoging van 3-4 dm, terwijl enkele uren later Den Helder en Harlingen iets dergelijks te zien gaven, zij het in mindere mate. Deze verhoging viel samen met het doorkomen van de as van de met 40 kts bewegende randstoring. Het is daarom niet uigesloten dat zich een geval van resonantie heeft voorgedaan. Immers, het statische effect van een trog van lagedruk geeft aanleiding tot een "bergje" water, waarvan de voortplantingssnelheid mag worden gelijkgesteld aan de loopsnelheid van lange golven in ondiep water. Deze loopsnelheid is gelijk aan  $\sqrt{gD}$  en bedraagt voor het zuidelijke deel van de Noordzee ongeveer 40 kts. Indien nu een trog van lagedruk met deze kritische snelheid beweegt, treedt er resonantie op.

Omstreeks 13z gaf Vlissingen een tweede bijzonder uitgesproken maximum, dat niet in verband kon worden gebracht met een atmosferisch verschijnsel. De top van de berg viel juist voor het tijdstip van het astronomische hoogwater. De mogelijkheid bestaat derhalve dat de onregelmatigheid in de opwaaiing een schijneffekt is, veroorzaakt door enige verschuiving van de getijkromme.

Fig 14

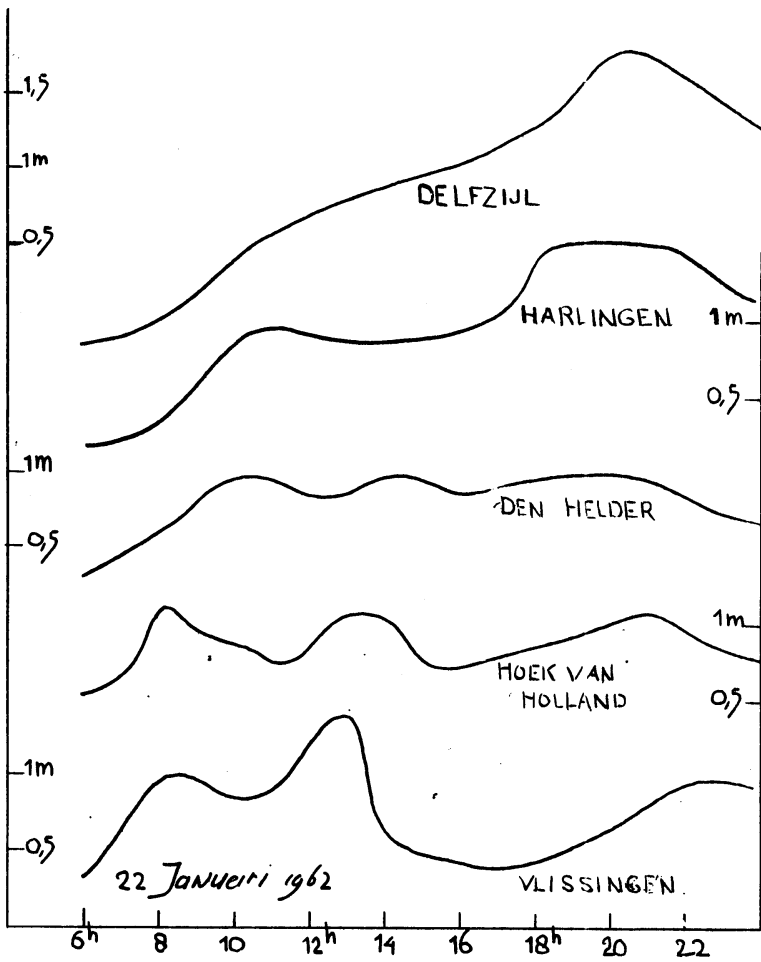
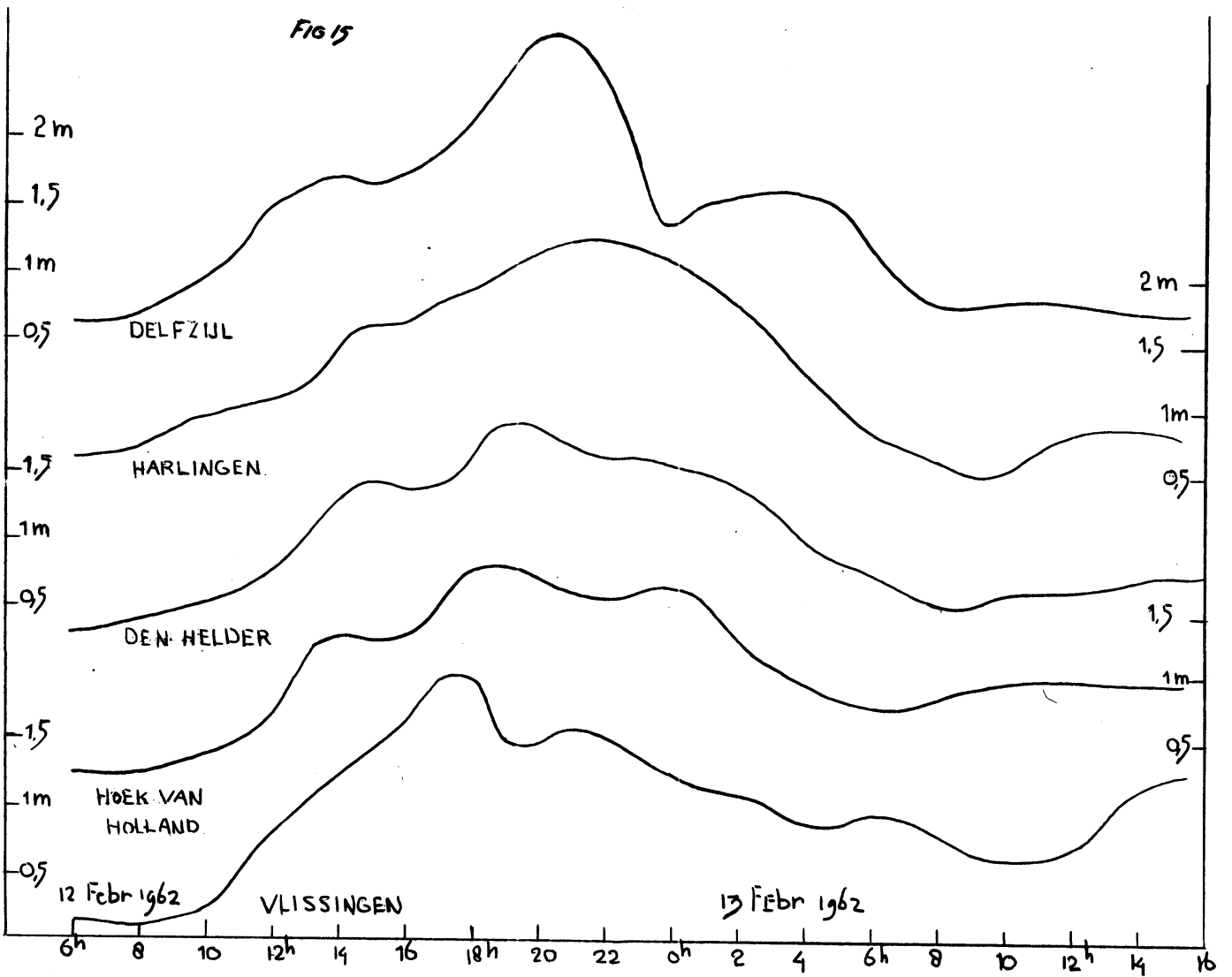


Fig 15





14.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De berekende waarden waren op 22 januari over het algemeen aan de hoge kant. De richting van de isobaren was toen ongeveer  $270^{\circ}$ . Zie ook stormvloed 13. Opgemerkt moet echter worden dat er 's avonds wel een goede overeenstemming tussen opgetreden en berekende opzetten was, hoewel het windveld zich praktisch niet wijzigde.

15. DE STORMVLOED VAN 12-14 FEBRUARI 1962

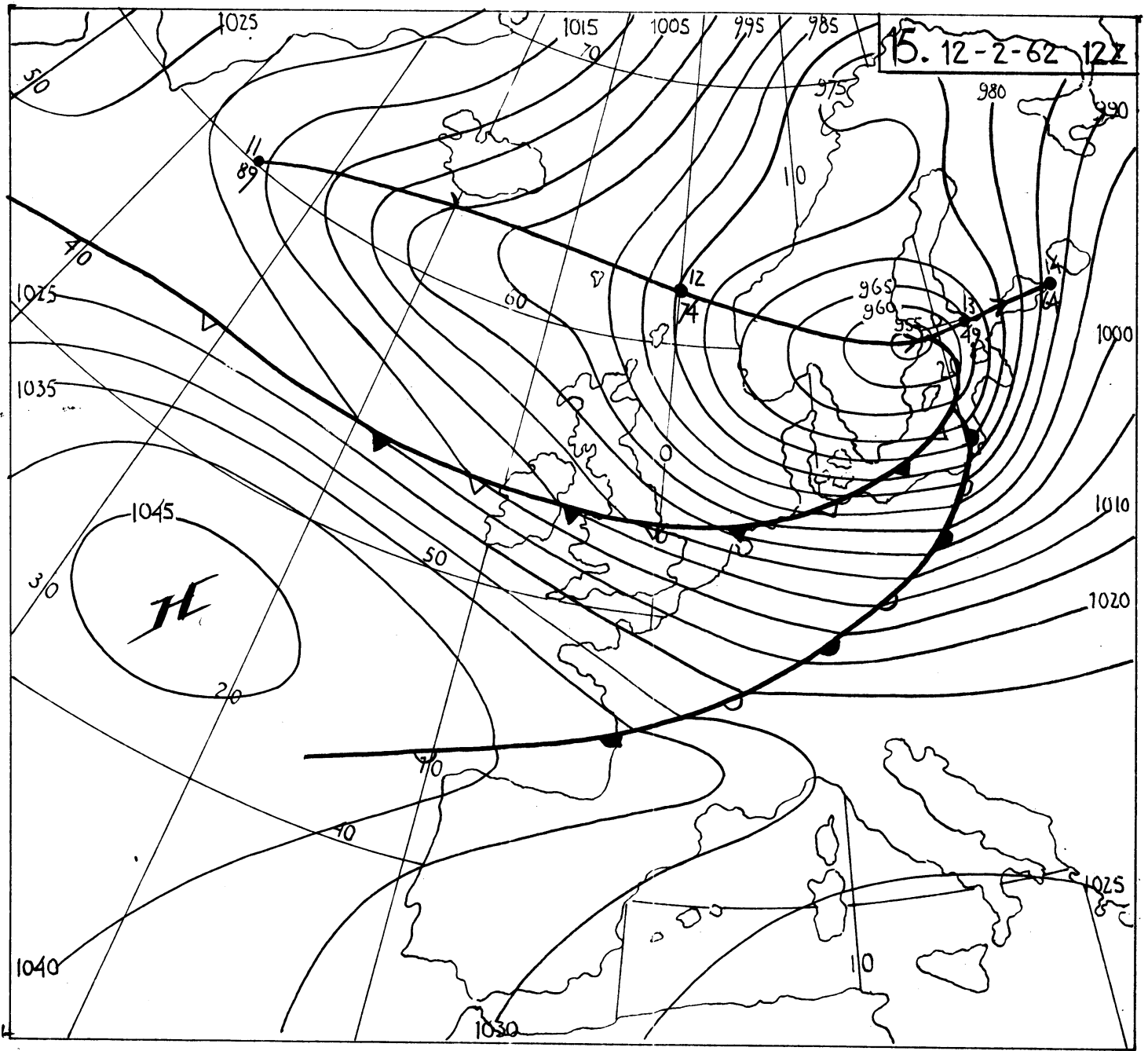
GWL NWz

15.0 De weerssituatie

Een kwasi-stationair hogedrukgebied bevond zich tijdens deze stormvloed enkele honderden kilometers ten noorden van de Azoren. De luchtdruk in het centrum bedroeg veelal meer dan 1045 mb. Ten noorden van het hogedrukgebied was een bijzonder krachtige westelijke stroming aanwezig, die over de gehele breedte van de oceaan doorstond. Op 10 februari 12z bewoog een uitdiepende depressie bij New Foundland snel naar IJsland en vervolgens naar het zuiden van Zweden. In de omgeving van Stockholm bereikte de depressie zijn grootste diepte, ongeveer 945 mb. De treksnelheid van de depressie was omstreeks 45 kts.

In de warme sector waaide een zuiderstorm van kracht 9-10 bft. De koufrontpassage op 12 februari bracht op de Noordzee een windruiming naar west windkracht 9. Het koufront bewoog met een snelheid van ongeveer 30 kts over de Noordzee. Op 12 februari 12z passeerde het koufront de Waddenkust. Om 09z lag er bij de noordoostkust van Schotland een actieve trog. In deze trog wakkerde de storm aan tot kracht 10-11 bft. De trog passeerde omstreeks 18z de Nederlandse kust. De treksnelheid bedroeg ongeveer 45 kts. Na de trogpassage ruimde de wind naar NW en waaide tijdelijk met kracht 9-10. In de avond van 12 februari nam de wind op de Noordzee in kracht af, tengevolge van het wegtrekken en opvullen van de depressie. In de loop van 13 februari ruimde de wind nog wat verder naar het noorden en wakkerde tijdelijk weer aan. Deze toeneming hing samen met een trog die op 13 februari 00z ter hoogte van Schotland lag. Ongeveer 10 uur later passeerde deze trog de Nederlandse kust. In de middag van 13 februari waaide er een noordnoordwesterstorm van kracht 9. Deze noordnoordwesterstorm nam in de loop van 14 februari heel langzaam af.

Het windveld is in tabel 40 gegeven.



Tabel 40

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
12/2'62 06	300/38	280/50	280/48	275/48	290/35	240/35	240/38	240/38
09	285/45	$\frac{1}{2}$ 280/50 $\frac{1}{2}$ 310/30		$\frac{1}{2}$ 280/50 $\frac{1}{2}$ 310/35	290/40	250/36	240/37	240/43
12	$\frac{1}{2}$ 020/48 $\frac{1}{2}$ 290/55	295/44	285/46	290/45	285/44	260/33	270/36	250/47
15	355/38	300/44	290/40	290/40	290/44	280/29	270/32	270/44
18	350/40	310/45	310/38	310/42	290/34	300/36	300/32	270/45
21	340/25	310/30	290/38	330/37	290/35	300/30	300/24	320/36
13/2'62 00	350/25	300/30	300/24	310/30	300/30	290/27	300/18	x
03	360/35	300/24	310/22	310/28	305/30	300/28	320/15	x
06	010/30	310/25	315/30	315/15	330/24	350/15	330/09	290/17
09	360/40	340/35	330/40	310/20	340/32	320/09	280/09	280/20
12	360/42	345/38	$\frac{1}{2}$ 335/45 $\frac{1}{2}$ 335/25	340/25	340/28	360/30	340/17	330/10
15	355/40	340/36	350/36	340/30	350/20	360/34	350/26	320/25
18	360/40	340/36	345/32	330/34	345/20	360/32	350/23	310/29
21	360/36	340/38	340/35	335/32	345/15	350/35	350/31	310/29
14/2'62 00	360/37	345/38	340/36	350/32	340/20	340/35	340/28	330/30
03	360/38	340/40	340/40	340/32	350/20	350/34	350/27	330/30
06	360/35	360/38	340/32	350/30	350/17	340/33	340/26	330/31

15.1 Het windeffekt

Tabel 41

		O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen	gmt							
12/2 '62	19.00	+15	+15	+18	-3	-3	-1	-3
13/2 '62	07.30	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+6 $\frac{1}{2}$	+1	+ $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	+1
	20.30	+7 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+11 $\frac{1}{2}$	-4	-4	-5	-4
H. van Holland								
12/2 '62	20.00	+16 $\frac{1}{2}$	+15	+18	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	+ $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$
13/2 '62	08.30	+8	+7 $\frac{1}{2}$	+6 $\frac{1}{2}$	+1 $\frac{1}{2}$	+1	+1	+1 $\frac{1}{2}$
	21.30	+8 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+11 $\frac{1}{2}$	-3	-3	-4	-3
Den Helder								
12/2 '62	11.30	+10 $\frac{1}{2}$	+10	+14 $\frac{1}{2}$	-4	-4	-2	-5
13/2 '62	00.30	+15 $\frac{1}{2}$	+15	+10	+5 $\frac{1}{2}$	+5	+6	+5 $\frac{1}{2}$
	12.30	+6	+5 $\frac{1}{2}$	+10	-4	-4 $\frac{1}{2}$	-3	-4
14/2 '62	01.30	+8	+10	+11 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{2}$	-3	-3 $\frac{1}{2}$

vervolg tabel 41

Harlingen	gmt	O	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
12/2 '62	14.00	+16	+15	+20	-4	-4	-2	-4
13/2 '62	03.00	+17	+15	+10	+7	+6 $\frac{1}{2}$	+7 $\frac{1}{2}$	+7
	15.00	+8	+10	+12	-4	-4 $\frac{1}{2}$	-3	-4
14/2 '62	04.00	+11 $\frac{1}{2}$	+10	+14 $\frac{1}{2}$	-3	-3	-2 $\frac{1}{2}$	-3
Delfzijl								
12/2 '62	16.30	+19	+15	+24	-5	-5	-2	-5
13/2 '62	05.00	+16	+10	+10	+6	+5 $\frac{1}{2}$	+6 $\frac{1}{2}$	+6
	18.00	+10	+7 $\frac{1}{2}$	+13	-3	-3	-1 $\frac{1}{2}$	-3
14/2 '62	06.30	+11 $\frac{1}{2}$	+10	+13	-1 $\frac{1}{2}$	-1 $\frac{1}{2}$	-1	-1 $\frac{1}{2}$

In de loop van 12 februari namen de opzetten geleidelijk toe, vooral na de koufrontpassage omstreeks 12z; die bovendien tot enige extra verhoging aanleiding gaf. In de avond van 12 februari gaven vooral de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder en Delfzijl van 17-20z een extra opzet. Deze moet worden gezien in samenhang met de trogpassage, die op dat moment plaatsvond. Op 13 februari 00z gaf Delfzijl een "dal" van enkele decimeters. Andere stations hadden een regelmatig verloop. Het "dal" zal daarom wel moeten worden toegeschreven aan een schijneffect of aan een zeer lokaal effect.

### 15.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

De middaghoogwaters van 12 februari gaven te hoge berekeningen van ongeveer 4 dm. Dit gebeurde tijdens een periode van toenemende opzetten. Daarentegen waren de berekeningen tijdens het nachthoogwater van 13 februari, bij afnemende opzetten, te laag en wel ongeveer 5 dm. Beide gevallen wekken de indruk dat het water een traagheid bezit, die door een wat grotere time-lag beter in rekening gebracht zou kunnen worden.

De avondhoogwaters van 13 februari en de nacht- en ochtendhoogwaters van 14 februari vielen systematisch enkele decimeters lager uit dan de berekeningen.

16. DE STORMVLOED VAN 16-17 FEBRUARI 1962

GWL NWz

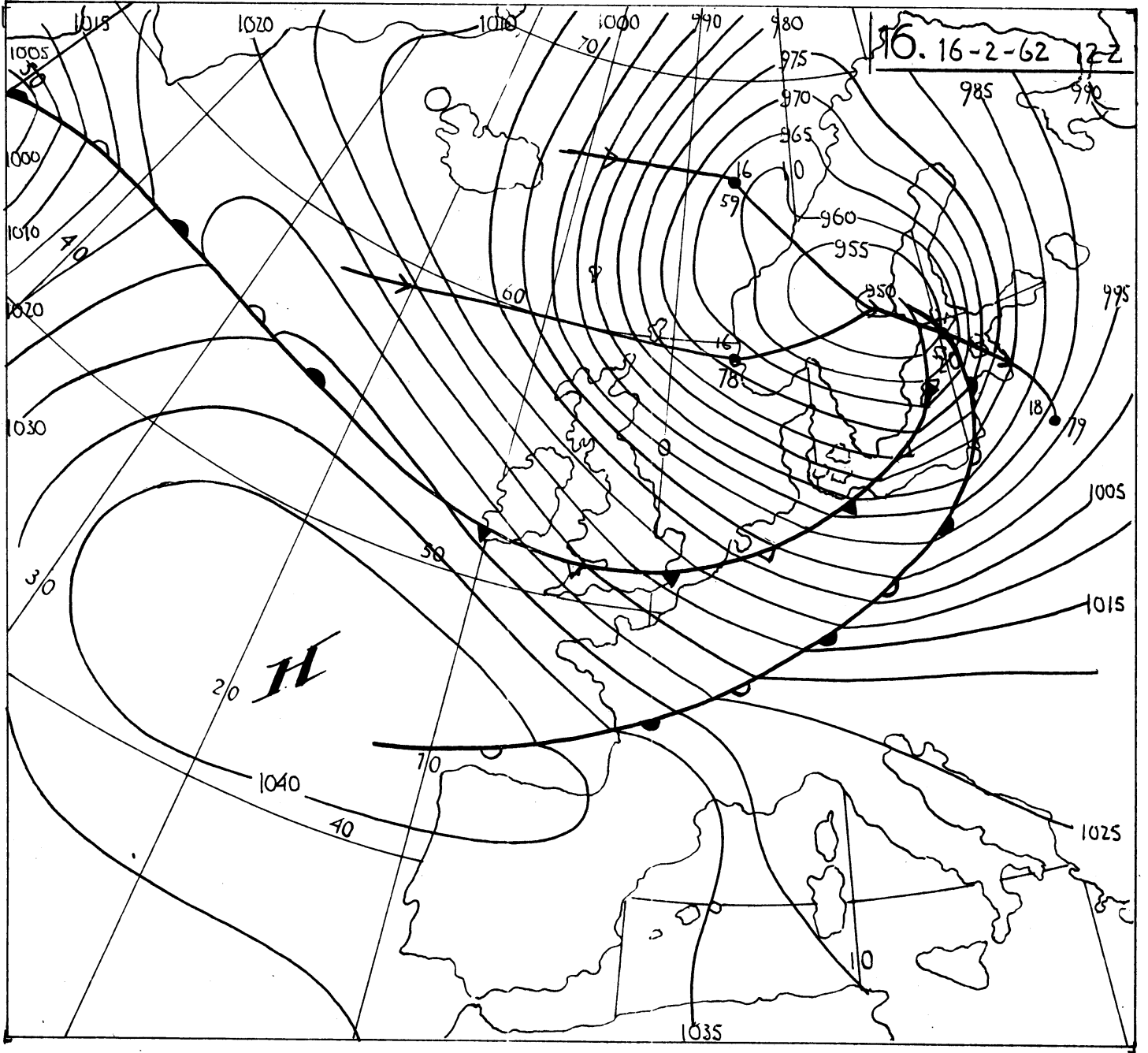
16.0 De weerssituatie

De algemene luchtdrukverdeling verschilde maar weinig van die van stormvloed 15. Ook nu was er weer een kwasi-stationair hogedrukgebied met het centrum enkele honderden kilometers ten noorden van de Azoren. De luchtdruk in het centrum bedroeg iets meer dan 1040 mb. In de hogere luchtlagen was tussen 55° en 65° NB een bijzonder krachtige westelijke stroming aanwezig. Hierin bewoog een depressie mee, die op 16 februari 00z voor de kust van Noorwegen aankwam, ter hoogte van 66° NB, terwijl een aktieve tweede storing op dat moment de zuidpunt van Scandinavië had bereikt. Deze laatste nam de hoofdrol over en diepte uiteindelijk uit tot iets beneden 950 mb, welke waarde voorkwam in de omgeving van Stockholm. Aan de achterzijde van de depressie ontwikkelde zich boven de Noordzee een stormveld van omstreeks windkracht 10. Het zwaarste deel van de storm was op de Duitse Noordzeekust gericht. Het koufront van de depressie lag op 16 februari 00z op het noordelijke deel van de Noordzee. Het bewoog snel naar het zuidoosten en passeerde tussen 09 en 12z de Nederlandse kust. Het bracht een ruiming van de wind van west naar noordwest. Om 09z bevond zich op de Noordzee ter hoogte van het Skagerrak een trog, die vervolgens om ongeveer 18z de Waddenkust en de Duitse Noordzeekust bereikte. De treksnelheid van de trog was ongeveer 27 kts.

In tabel 42 is het windveld weergegeven.

Tabel 42

	N	Z <sub>I</sub>	Z <sub>II</sub>	Z <sub>III</sub>	Kanaal	Den Helder	Vlie-land	Norder-ney
16/2'62 00	260/45	280/40	285/38	280/40	290/25	260/25	280/24	250/30
03	280/42	280/45	285/38	275/45	295/35	260/32	280/29	250/35
06	290/45	$\frac{1}{2}$ 275/50 $\frac{1}{2}$ 290/40	280/44	$\frac{1}{2}$ 275/52 $\frac{1}{2}$ 290/42	285/34	260/31	270/32	250/41
09	295/50	295/43	285/45	290/45	285/37	260/34	280/33	240/43
12	310/51	300/49	305/32	295/48	290/37	290/34	250/33	260/45
15	325/48	305/48	305/38	300/51	295/40	290/40	250/33	260/48
18	330/52	310/47	310/40	310/54	315/27	300/35	270/31	280/52
21	340/51	320/46	315/39	320/53	325/24	310/37	260/32	290/52
17/2'62 00	340/49	325/40	315/35	320/50	325/24	310/24	290/32	300/48
03	340/45	330/38	320/35	330/51	335/25	320/34	300/26	310/46
06	340/42	330/35	320/32	330/50	325/20	310/36	290/24	310/43
09	350/37	330/33	320/31	330/48	330/20	330/34	280/27	290/43
12	350/34	330/30	330/27	340/43	330/20	340/31	260/29	300/42



16.1 Het windeffekt

Tabel 43

	0	V	B	O-B	O-B <sub>p</sub>	O-B <sub>s</sub>	O-B <sub>o</sub>
Vlissingen gmt							
16/2 '62 11.30	+7	+10	+17	-10	-10	-9	-10
17/2 '62 00.00	+14	+20	+17	-3	-2½	-1½	-3
12.00	+6		+9	-3	-2	-1½	-3
H. van Holland							
16/2 '62 12.00	+15	+10	+17	-2	-2	-1	-2
17/2 '62 01.00	+20	+20	+16	+4	+4	+4½	+4
13.00	+8½		+9	-½	+½	+½	-½
Den Helder							
16/2 '62 04.00	+8½		+11	-2½	-2½	-1½	-2½
16.30	+20	+15	+19½	+½	+½	+1	+½
17/2 '62 05.00	+20	+15	+15½	+4½	+5	+4½	+4½
Harlingen							
16/2 '62 07.00	+11½		+16½	-5	-5	-3½	-5
19.00	+25½	+25	+24	+1½	+1½	+2	+½
17/2 '62 08.00	+17	+20	+19	-2	-1½	-½	-2
Delfzijl							
16/2 '62 09.00	+21		+22	-1	-1	+½	-1
21.30	+34	+25	+30	+4	+4	+5	+2
17/2 '62 10.00	+23½	+20	+23	+½	0	+1½	+3½

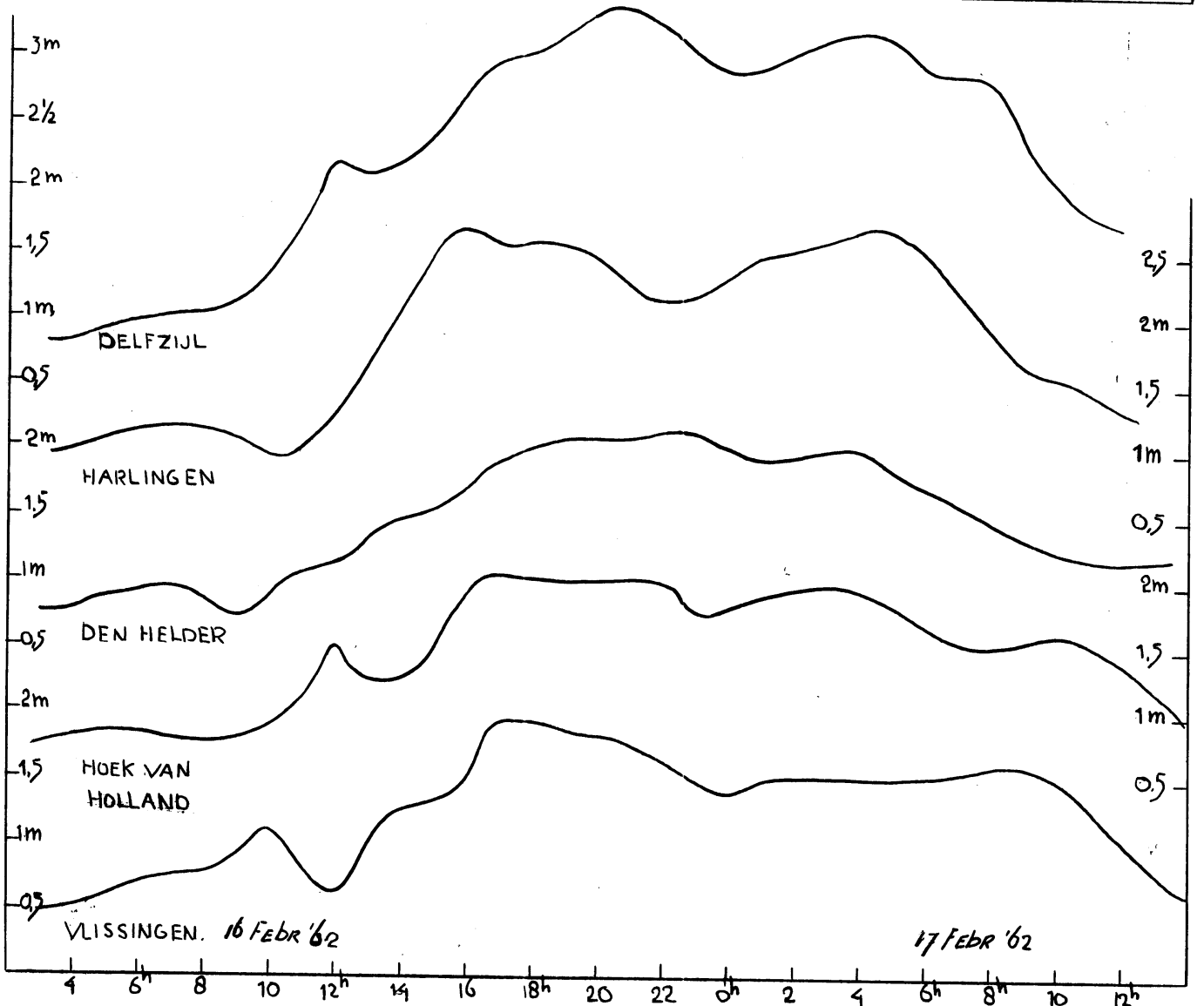
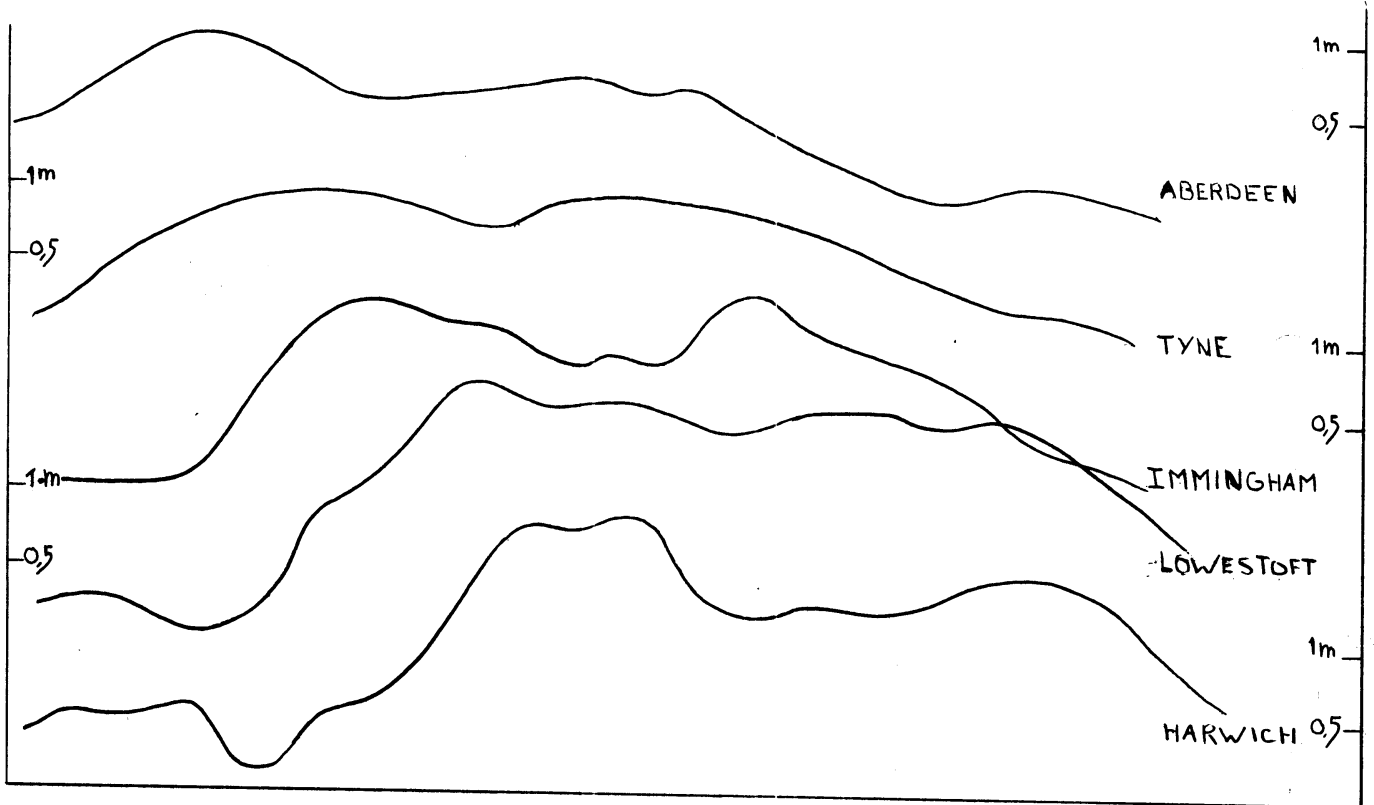
De opwaaiingskrommen van Delfzijl en vooral van Vlissingen en Hoek van Holland vertoonden op 16 februari omstreeks 12z een grote onregelmatigheid. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat deze onregelmatigheid samenhangt met de koufrontpassage.

De waarnemingen van de waterstanden langs de Engelse kust wezen op de aanwezigheid van een golf, die in ongeveer 10 uur tijds van Aberdeen naar Vlissingen liep. De golf bleek vervolgens ook uit de waarnemingen van de overige Nederlandse stations. De duur van het effect was ongeveer 2 uur. In Delfzijl liep de verhoging in de avond van 16 februari uiteindelijk op tot ongeveer 34 dm. Dit gebeurde na het voorbijtrekken van een trog van lagedruk.

16.2 Vergelijking tussen opgetreden en berekende opzetten

Deze stormvloed gaf soms aanzienlijke verschillen tussen opgetreden en berekende opzetten. In het bijzonder was dit het geval bij het ochtendhoogwater van Vlissingen op 16 februari. Op dat ogenblik vertoonde de opwaaiingskromme

Fig 16





van Vlissingen evenwel een belangrijke onregelmatigheid, die vermoedelijk samenhangt met het voorbijtrekken van het koufront.

Bij het avondhoogwater in Delfzijl bleek de opgetreden opzet 4 dm hoger te zijn dan de berekende opzet. De standaarddeviatie van de beschouwde verschillen bedraagt evenwel ongeveer 3dm, zodat het waargenomen verschil niet tot de uitzonderingen behoort.

De opzet bij het ochtendhoogwater van 17 februari in Den Helder was  $4\frac{1}{2}$  dm hoger dan de berekende waarde. Hierbij kan echter worden opgemerkt dat in de drie uren volgende op het tijdstip van hoogwater de opzet ongeveer 5 dm minder wordt.

-o-o-o-