



DI: 824052-1

ONDERZOEK naar de toestanden  
in en nabij de mond van de  
Rotterdamsche Waterweg te  
Hoek van Holland.

deel I .

M 35  
Delft, febr. 1933

Waterbouwkundig  
Laboratorium

ONDERZOEK NAAR DE TOESTANDEN IN EN NABIJ DE MOND

VAN DE ROTTERDAMSCHT WATERWEG TE

HOEK VAN HOLLAND.

Modelmeting nr. 35.

rijkswaterstaat  
directie zuid - holland  
afd. bibliotheek  
postbus 556  
3000 AN rotterdam

Opgenomen in Bibliotheek  
Onder Nr. C 2500-M 35

deel 1

## I N H O U D.

### I. Inleiding. (figuren 1 - 4).

1. Situatie.....	1.
2. Mogelijkheden tot verbetering.....	2.
3. Opdracht.....	4.
4. Overzicht van de bereikte resultaten.....	6.

### II. Gegevens uit de werkelijkheid. (figuren 5 - 10).

5. Peilingen.....	9.
6. Peilschaalwaarnemingen.....	10.
7. Stroomen in zee.....	11.
8. Het vloeddebiet van de Waterweg.....	12.
9. Stroomen in de omgeving van de mond.....	14.
10. Transport van het bodemmateriaal.....	14.

### III. Het model. (figuren 11 - 20).

11. Begrenzing.....	20.
12. Schalen.....	20.
13. Beschrijving van het model.....	23.

### IV. Meetwijzen en nauwkeurigheid. (figuren 21 - 28).

14. Waterhoeveelheden en waterstanden.....	27.
15. Snelheden en stroombanen.....	28.
16. Vervorming van de bodem.....	30.
17. Beweging van bims.....	33.
18. Toevoeren van bims.....	36.
19. Indeling van een bimsmeting.....	39.
20. Verschillen tusschen model en werkelijkheid.....	40.

### V. Overzicht van de verrichte metingen. (figuur 29).

21. Indeling van de metingen in perioden.....	41.
22. Onderzochte toestanden.....	42.

### VI. De bestaende toestand. (figuren 30 - 41).

23. Aanspssing aan de zeestroomen.....	45.
24. Stroomen bij de mond.....	46.
25. Vergelijking met de modelproeven van 1907.....	47.
26. Zandbeweging.....	52.

27. Conclusies.....	57.
28. De toestand tijdens kentering in de Waterweg.....	60.
29. Peilschaalwaarnemingen.....	61.
<u>VII. De invloed van verschillende veranderingen. (figuren 42 - 47)</u>	
30. Toestand 1: put bij de leidam opgevuld.....	65.
31. Toestand 2: Waterweg vernauwd.....	67.
32. Toestand D: noorderhoofd verlengd.....	68.
33. Toestand 16: naar het noordoosten gekeerde mond....	69.
<u>VIII. Verlengen van de leidam. (figuren 48 - 69).</u>	
34. Toestanden A en C: westwaartsche verplaatsing van het eindpunt.....	71.
35. Verlengen van de leidam, ongeveer evenwijdig aan de kust (toestanden B, E en W).....	72.
36. Schuin zeewaarts uitbouwen van de omgebogen dam (vervolg van W).....	75.
37. Toestand 4; leidam 2000 m verlengd.....	78.
38. Toestand 14: bezonken dam verhoogd en van een krul voorzien.....	86.
39. Toestand 9: verlengde dam met ligplaats voor een neer.....	89.
<u>IX. Stroomleiders. (figuren 70 - 102).</u>	
40. Eerste proeven met een stroomleider (toestanden 3 en 5).....	90.
41. Toestand 8: kortere stroomleider.....	95.
42. Toestand 13: definitieve vorm van de stroomleider.	98.
43. Toestand 7: Twee stroomleiders.....	102.
44. Toestanden 10 en 11: groote gebogen dammen.....	103.
45. Toestand 12: stroomleider op groote afstand.....	107.
46. Toestand 15 = toestand 12, doch met landwaartsche krul.....	112.
<u>X. Aanhangsel. (figuren 103, 104).</u>	
47. De toestand vóór het maken van de leidam.....	117.
48. Slotbeschouwingen.....	119.

## FIGUREN.

1. Situatie.
2. Gebruikte benamingen.
3. Aanvankelijk te onderzoeken toestanden.
4. Belangrijkste vormen van de mond.
5. Peilkaart van Mei 1930.
6. Waterstanden op 28 Augustus 1930.
7. Banen van oppervlaktedrijvers, 1915 - 1917.
8. Banen van stokdrijvers, 1915 - 1917.
9. Drijvingen, 1930.
10. Schema van de zandbeweging bij Hoek van Holland.
11. Situatie van het model.
12. De raaien tusschen de hoofden.
13. Maasvlakte in aanbouw.
14. Model, gezien van de inloop.
15. Uitloop.
16. Uitloop van de Waterweg.
17. Golfopwekker.
18. Toevoeren van bims.
19. Waarnemen van stroomlijnen.
20. Fotografeeren van stroombanen.
21. Gefotografeerde oppervlaktedrijvers.
22. Gefotografeerde drijvende kaarsjes.
23. Bodemstroomrichtingen, aangegeven door strepen, uitgaande van kristallen  $KMnO_4$ , toestand 0.
24. Overzicht van een model met golven en binstoevoer, toestand 15.
25. Mukollen.
26. Een gemakold model.
27. Dieptelijnen in de mond, toestand 0 A (detail van fig. 37).
28. Beweging van bimskorrels bij de aanstroomzijde van een dam.
29. Overzicht van de onderzochte toestanden.
30. Oppervlaktestroomen in het model volgens de bestaande toestand.
31. Stroomen op halve diepte in het model volgens de bestaande toestand.
32. Oppervlaktestroomen bij de mond, bestaande toestand.
33. Stroom op halve diepte bij de mond, bestaande toestand.

34. Bodemstroomlijnen, bestaande toestand.
35. Overzicht van het model in de bestaande toestand.
36. Bestaande toestand (0). Mukolplaat van de uitgangsligging (U).
37. Bestaande toestand (0). Mukolplaat na 5 uur stroomen (A).
38. Bestaande toestand (0). Mukolplaat na 5 + 7 uur stroomen en aanvoer van 10 liter bims (B).
39. Bestaande toestand (0). Mukolplaat na 5 + 12 uur stroomen en aanvoer van 20 liter bims.
40. Schema voor de beweging van bimskorrels.
41. Bestaande toestand, bimstransport-diagram.
42. Toestand 1, oppervlaktestroom.
43. Toestand 1, bodemstroomlijnen.
44. Toestand 2, oppervlaktestroom.
45. Toestand 2, bodemstroomlijnen.
46. Toestand D, stroomlijnen.
47. Toestand 16, stroomlijnen.
48. Toestand A, stroomlijnen.
49. Toestanden W I - V, stroomlijnen.
50. Toestanden W VI - XI, XVII, stroomlijnen.
51. Toestanden W XII - XVI, stroomlijnen.
52. Toestanden W XVIII - XXI, stroomlijnen.
53. Toestanden W XXII - XXV, stroomlijnen.
54. Toestanden W XXVI - XXIX, stroomlijnen.
55. Toestanden W XXX - XXXIII, stroomlijnen.
56. Toestanden W XXXIV - XXXVIII, stroomlijnen.
57. Voorloopige toestand 4, oppervlaktestroom.
58. Voorloopige toestand 4, bodemstroomlijnen.
59. Toestand 4, oppervlaktestroom.
60. Toestand 4, mukolplaat van de uitgangsligging (U).
61. Toestand 4, Mukolplaat na 5 uur stroomen zonder golven of bimsaanvoer (A).
62. Toestand 4, Mukolplaat na 5 + 7 uur stroomen en aanvoer van 18 liter bims (B).
63. Toestand 4. Mukolplaat na 5 + 14 uur stroomen en aanvoer van 30 liter bims (C).
64. Toestand 4, bimstransportdiagram.
65. Toestand 14, oppervlaktestroom.
66. Toestand 14. Mukolplaat van de uitgangsligging (U).
67. Toestand 14. Mukolplaat na 3 uur stroomen met golven, geen bimsaanvoer.

68. Toestand 14, Mukolplaat na 5 + 7 uur stroomen en aanvoer van 7 liter bims (C).
69. Toestand 9, stroomlijnen.
70. Toestand 3, oppervlaktestroom.
71. Toestand 3, bodemstroomlijnen.
72. Toestand 5. Mukolplaat na stroomen met golven en bimsaanvoer (B).
73. Toestand 8, oppervlaktestroom.
74. Toestand 8, bodemstroomlijnen.
75. Toestand 8, Mukolplaat na stroomen met golven en bimsaanvoer (b).
76. Toestand 8. Mukolplaat na stroomen met afgesloten Waterweg.
77. Bestaande toestand. Voorloopige mukolplaat na stroomen met golven en bimsaanvoer. (b).
78. Toestand 13, oppervlaktestroom.
79. Toestand 13, Mukolplaat van de uitgangsligging (U).
80. Toestand 13. Mukolplaat na 2 + 3 uur stroomen, geen bimsaanvoer (B).
81. Toestand 13. Mukolplaat na 3 + 7 uur stroomen en aanvoer van 10 liter bims (C).
82. Toestand 13. Mukolplaat na 3 + 14 uur stroomen en aanvoer van 26 liter bims (D).
83. Toestand 13. Bimstransport-diagram.
84. Toestand 7, oppervlaktestroom.
85. Toestand 7. Mukolplaat na stroomen met golven (b).
86. Toestand 11, oppervlaktestroom.
87. Toestand 11. Mukolplaat na 6 uur stroomen zonder golven of bimsaanvoer (A).
88. Toestand 11. Mukolplaat na 6 + 8 uur stroomen en aanvoer van 19 liter bims (B).
89. Toestand 11. Mukolplaat na 6 + 14 uur stroomen en aanvoer van 28 liter bims (C).
90. Toestand 11, bimstransport-diagram.
91. Toestand 12, oppervlaktestroom.
93. Toestand 12. Mukolplaat na 6 uur stroomen zonder golven of bimsaanvoer (A).
92. Toestand 12. Mukolplaat van de uitgangsligging (U).
94. Toestand 12. Mukolplaat 6 + 7 uur stroomen en aanvoer van 9 liter bims.





bel 1.

PEILSCHAALWAARNEMINGEN

in NOORDZEE en DOORGRAVING nabij HOEK VAN HOLLAND op 28 Augustus 1930.

NUMMERS DER PEILSCHALEN.

YD	NUMMERS DER PEILSCHALEN.								
.m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
uur	-23	-27	-27					-24	-27
5	-22	-23	-26					-21	-26
10	-20	-19	-23					-20	-25
15	-19	-17	-18				-30	-17	-21
20	-17	-14	-14	-14	-22		-25	-15	-17
25	-13	-10	-9	-12	-14		-21	-12	-13
30	-9	-8	-5	-8	-10		-17	-8	-10
35	-4	2	4	4	-5	-5	-12	-3	-8
40	11	11	13	5	1	5	-7	3	-8
45	17	18	20	5	8	10	-3	3	-2
50	24	27	28	6	15	15	3	10	4
55	32	35	37	8	22	22	5	17	10
uur	40	45	46	9	29	30	4	26	23
5	47	51	54	10	37	38	3	35	29
10	53	59	63	13	44	47	3	43	36
15	60	69	71	14	50	55	4	51	43
20	67	74	78	13	57	64	4	59	50
25	73	80	84	14	65	71	4	67	58
30	80	85	90	15	70	76	4	73	64
35	86	91	96	16	75	82	4	79	69
40	92	96	99	15	80	86	3	84	74
45	96	97	100	13	84	89	4	88	80
50	100	98	101	11	87	92	8	91	84
55	102	100	104	12	90	95	9	94	87
uur	103	101	106	13	91	97	7	96	88
5	103	103	105	10	93	98	6	97	89
10	103	104	105	9	95	98	5	97	89
15	103	104	105	9	96	99	5	98	90
20	103	103	104	8	96	100	5	98	90
25	102	101	103	8	96	100	5	98	90
30	100	99	102	7	99	100	5	98	89
35	99	97	101	7	99	100	5	98	89
40	98	96	100	7	99	100	5	98	89
45	97	94	97	7	98	99	5	97	88
50	95	93	95	7	98	98	5	97	88
55	93	92	94	7	97	97	5	96	87
uur	91	90	91	7	95	96	5	94	86
5	89	86	89	7	89	90	5	91	85
10	87	83	86	7	87	93	5	88	84
15	83	79	84	7	84	90	5	85	84
20	79	76	81	7	82	86	5	82	82
25	77	73	78	7	81	82	5	80	81
30	74	70	75	7	80	82	5	80	81
35	70	68	72	7	77	79	5	78	79
40	68	66	69	7	74	75	5	77	78
45	66	63	64	7	71	71	5	74	75
50	62	60	60	7	68	68	5	72	73
55	57	56	56	7	65	65	5	69	71
uur	51	51	53	7	63	64	5	67	68
5	49	46	49	7	61	61	5	64	65
10	46	43	46	7	60	57	5	61	63
15	43	40	43	7	57	53	5	59	61
20	39	37	39	7	56	53	5	57	57
25	34	33	35	7	53	50	5	54	53
30	30	28	33	7	50	46	5	51	50
				7	48	43	5	48	46
				7	45	40	5	45	42
				7	42	38	5	41	42
				7	41	37	5	43	39
				7	38	33	5	43	36
				7	33	29	5	39	31
				7	33	30	5	35	31

4.00  
4.05  
etc

tabel 2.

Drijvingen in zee, buiten de mond.

Datum enz.	Drijver	H.W. te H.v.H. cm + N.A.P.	Windrichting	Windkracht kg/m <sup>2</sup>	Windinvloed	Maansouderdom dagen	Tij	Snelheid cm/sec.					
								11-12	11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12-1	1-2		
	13	S10	93	W N	3	-	14	spring					
	14	S10	105	W	3	-	15	spring					
	21	S10	71	NNW	2	iets tegen	22	dood	54	61	65	60	
	22	S10	95	ONO	4	tegen	23	dood	40	42	42	40	
	11	S10	59	ZZO	8	-	13	gem.					
	11	01,3	59	ZZO	8	-	13	gem.					
	20	S 7	77	ZW ZW	7,5	hard mee	22	dood	72	85	83	58	
	21	S12	80	WZW	7	hard	23	dood	79	82	89	82	
	23	S12	93	WZW W	8	mee mee	25	gem.	70	74	72	61	
	28	S12	94	W ZW	1	nihil	2	spring	75	90	92	88	
Gem: Doodtij								dood	56	64	68	63	
Gem: springtij								spring	75	90	92	88	
Gemiddeld								gem:	66	77	80	76	
Extra, wind mee voor de richteaks van de waterreus (getallen) gemiddeld									7 kg/m <sup>2</sup>	16	16	12	4
Extra, wind tegen H.W. te Hoek van Holland:									4 kg/m <sup>2</sup>	16	22	26	23

Gemiddelde snelheid bij tij van gemiddelde sterkte zonder wind op het oogenblik van H.W. te Hoek van Holland: 78 cm/sec.

+) S = Stokdrijver

0 = Oppervlakedrijver

diepgang in meters.

Drijvingen vóór het Brielsche zeevat.

		Drijver x)	H.W. te H.V.H. cm + H.A.L.	Windrichting				Getij	Snelheid cm/sec.			
									11-12	11½-12½	12-1	1-2
Mei	26	01	103	WZW	1/2	-	27	gem:			46	60
'	27	x 01,3	96	W	1	-	28	gem:		35		
'	28	01,3	110	WZW	5	mee	0	spring		40		
Juni	6	01,3	88	OZO	2	mee	8	dood	27	30	32	40
'	17	01,3	60	0	2	-	19	gem:	36	49	57	50

Idem na correctie voor getijsterkte en windinvloed

Mei	26										48	63
'	27									33		
'	28									33	40	
Juni	6								30	33	36	44
'	17								36	49	57	50

In gebied vlak voor de Brielsche Maas

(niet-onderstreepte getallen) gem:

33 33 38

Aan te nemen bij H.W. te Hoek van Holland: x x

v = 34

In gebied in het verlengde van de leidam

(onderstreepte getallen) gem:

49 50 52

Aan te nemen bij H.W. te Hoek van Holland: x x

v = 50

26

x) Oppervlakedrijvers met diepgang van 1, resp. 1,3 m.

TABEL 4.

Overzicht van de verrichte proeven.

Groep	Toestand	Gladde bodem							Gedeeltelijk ruwe bodem										
		Periode I			Periode II				Periode III			Periode IV							
		Waarn: van stroomen	Stroom-foto's		Stroom-foto's		Peilschaalwaarn:	Jac: stroommetingen	Q <sub>gw</sub> vergroot	Stroomf: oppervl:	Bins a	Bins b	Q <sub>gw</sub> = 0	Waarn: van stroomen	Stroomf: oppervlak	Bimsproeven			
Oppervlak	Gemiddeld	Bodem	Oppervlak	Gemiddeld	Bodem								U	A	B	C	D		
	0	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X					
Diversen	1																		
	2																		
	D	X																	
Verlengen leidam	16												X						
	A	X																	
	B	X																	
	C	X																	
	E	X																	
	W	X	X	X	X														
	4					X	X	X						X	X	5	7/18	14/30	
14													X	X	3/10	10/7			
Stroomleiders	9				X														
	3				X	X	X												
	5(6)				X	X	X	X	X	X	X								
	8				X		X					X	X	X	X				
	13												X	X	3	3/0	7/10	14/26	
	7				X						X	X							
	1011											X	X	6	0/18	14/24	21/		
	12											X	X	6	7/9	14/28	21/		
15							X						5	5/8.					
-1												X		X					

## I. Inleiding.

### 1. Situatie.

Hoewel de mond van de waterweg van Rotterdam naar de zee aan tamelijk hoge eischen voldoet, is een ideale toestand nog niet bereikt. Een doorgaande diepte van 10 meter onder laagwater<sup>1)</sup> kan worden onderhouden, doch daarvoor is geregeld en uitgebreid baggerwerk nodig. Voorts ligt de geul niet in het midden van de mond, maar dringt zeer sterk tegen het noorderhoofd<sup>2)</sup> aan (horizontale arceering in figuur 1). Aan de zuidzijde van de geul bevindt zich het gebied, waar wordt gebaggerd (gezogen); dit gebied is in figuur 1 met een dubbele arceering aangegeven. Wanneer des winters eenige tijd niet wordt gezogen, werkt de bult ten zuiden van de diepe geul in noordelijke richting uit. Dit geschiedt het sterkst op eenige afstand buiten de koppen van de hoofden, waar de 10-meter-lijn soms tot voorbij de lichtenlijn kan worden teruggedrongen.

In de mond nadert de diepte het noorderhoofd zoo dicht, dat het nodig is gebleken op de plaats van de sterkste aanval, vlak bij de kop, een drietal lage kribben te maken. De kruin van deze kribben ligt op 9 tot 11 m onder L.W.

De totale breedte van de mond, die door het aanleggen van de lage dam reeds van 900 tot 700 m werd verminderd, wordt ten gevolge van deze situatie slechts voor een klein gedeelte gebruikt. Tusschen de lage kribben aan de noordzijde en de bank aan de zuidkant heeft de vaargeul een breedte van ternauwernood 200 m.

Bij deze *ongewenschte* ligging van de vaargeul komt nog het bezwaar, dat gedurende de hoogwaterperiode, wanneer de diepste schepen binnenkomen, de stroomverdeling ongunstig is. Omstreeks twee uur voor het tijdstip van hoogwater te Hoek van Holland begint een tijdperk, waarin de zeestroom ongeveer in noordoostelijke richting trekt (vloedstroom) en in de Wa-

1). Laagwater te Hoek van Holland kan worden gesteld op  $\frac{1}{5}$  cm

- N.A.P.

2). Voor het aanduiden van de verschillende objecten worden de namen gebruikt, die in figuur 2 zijn aangegeven.

terweg het zeewater naar binnen stroomt. Gedurende deze periode, die duurt tot ongeveer twee uur na hoogwater Hoek van Holland, komt in de omgeving van de mond uitsluitend zout water voor: de verschijnselen worden dus niet beïnvloed door verschillen in soortelijk gewicht. Het kenmerkende van de toestand is de moeilijkheid voor het zeewater om de bocht te maken, die noodig is om de Waterweg in te trekken. Dit geschiedt zeer gebrekkig; het uit het Zuidwesten komende water passeert de mond bijna geheel en blijft zich in het algemeen bewegen evenwijdig aan de lijn, die de koppen van de hoofden verbindt. Eerst wanneer het noorderhoofd dicht is genaderd, buigt de stroom met een scherpe bocht om, waarbij om de kop van het hoofd groote snelheden optreden. Dit geldt voor de stroom nabij de oppervlakte; langs de bodem volgt het zeewater een geheel andere baan; het stroomt meer geleidelijk naar binnen.

Voor diepgaande schepen levert de situatie moeilijkheden op. Reeds meer dan 3 km uit de kust moet de doorgaande goul worden opgezocht. Deze goul bevindt zich daar op vrij groote afstand ten noorden van de lichtenlijn, zoodat op de  $1\frac{1}{2}$  km, die een schip hier nog van de koppen van de hoofden scheidt, deze lijn geleidelijk moet worden genaderd. Dit inloopen van de lichtenlijn komt in de praktijk veelal neer op het kruisen ervan, waardoor men de betrekkelijk ondiepe bult bezuiden de vaargeul dicht aan stuurboord krijgt. Het schip zal dus snel moeten opdraaien om niet vast te loopen. Dadelijk daarna komt het in de dwarsstroom in de lijn van de koppen en wordt daardoor vrij sterk naar het noorderhoofd gezet. Bovendien wordt het schip moeilijker bestuurbaar, doordat de stroomen langs de bodem een geheel andere richting hebben dan die bij het oppervlak.

De moeilijkheden zijn dus tweëerlei: in de eerste plaats het kort na elkaar gevaar loopen van vast te loopen, op de bult aan de zuidzijde<sup>en</sup> op het hoofd aan de noordzijde en voorts de onregelmatige en onberekenbare strooming.

## 2. Mogelijkheden tot verbetering.

Reeds lang is getracht verbetering in deze toestand te brengen. In 1907 is bij een hiertoe opgezette studie gebruik

gemaakt van modelmetingen, die te 's-Gravenhage onder leiding van den hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat ir. C.A. Jolles werden uitgevoerd door den adjunct-ingenieur van de Rijkswaterstaat Lambrechtsen. Het is bewonderenswaardig, wat met deze proeven is bereikt. Ondanks de primitieve hulpmiddelen en het gemis aan ervaring (de eerste waterbouwkundig laboratoria bestonden toen nog slechts kort) is men er in geslaagd de bestaande waterbeweging bevredigend weer te geven en eenig inzicht te verkrijgen in de oorzaken van de verschijnselen.

In het verslag van de proeven wordt de meening uitgesproken, dat een verlenging van het zuiderhoofd in zuidwestelijke richting ter lengte van omstreeks 700 m een verbetering van de stroomen, en daardoor ook van de diepten, tengevolge zou hebben. Tot het uitvoeren van deze leidam is inderdaad besloten. Echter heeft alleen het aan het zuiderhoofd aansluitende deel van 300 meter de oorspronkelijk ontworpen kruinhoogte boven hoogwater verkregen; van het overige stuk is alleen de onderbouw gemaakt in de vorm van een bezonken dam, waarvan de kruin op 15,0 m - N.A.P. ligt.

Ofschoon niet de geheele beoogde verbetering is verkregen, heeft het bouwen van de leidam vermoedelijk wel een gunstige invloed op de toestand gehad. Het gebied van de sterkste verzanding is niet meer zoo sterk als vroeger bij de koppen van de hoofden geconcentreerd, terwijl de stroombanen wellicht iets meer vloeiend zijn geworden. Bij het vergelijken van de tegenwoordige toestand met die van 1907 dient rekening te worden gehouden met de grootere diepte, die thans in de vaargeul aanwezig is en met de grootere waterhoeveelheden, die elk tijde Waterweg instroomen. Een juiste beoordeeling van het resultaat van het bouwen van de leidam wordt daardoor zeer bezwaarlijk, zoo al niet onmogelijk.

Bij de vroegere toestand moest het dicht langs de kust stroomende water, dat voor de hoofden zeewaarts uitwijkt na zeer korte afstand de Waterweg intreden. Door het maken van de leidam werd de ruimte, die voor deze richtingsverandering beschikbaar is, in belangrijke mate vergroot en men kan aannemen, dat deze vergroting niet vreemd aan een eventueele verbetering van de stroomen is. Men zou dus mogen verwachten, dat een verdere vergroting van de afstand tusschen de plaats, waar het water zeewaarts wordt uitgeworpen en die, waar het landwaarts

moet stroomen van gunstige invloed zal zijn.

Overeenkomstig deze gedachtengang is bij latere schetsontwerpen voor verbetering van de mond uitgegaan van de een of andere verlenging van de leidam. Hoe deze verlenging zou moeten worden verkregen is zonder modelonderzoek niet uit te maken.

### 3. Opdracht.

In het voorjaar van 1930 is door de Rijkswaterstaat gevraagd, of met behulp van modelonderzoek kon worden uitgemaakt, welke resultaten door een verlenging van de leidam zouden worden verkregen.

Deze vraag was niet gemakkelijk te beantwoorden. Het stond vast, dat hier geen sprake kon zijn van een proef, waarvan de uitkomsten met vrij groote zekerheid op de werkelijkheid mogen worden overgebracht. Een volledige nabootsing van de werkelijkheid is niet mogelijk, alleen reeds om de zeer groote afmetingen van het na te bootsen gebied, waardoor een uiterst kleine modelschaal noodzakelijk is. Toch werd dezerzijds gemeend, dat de moeite en kosten, die met het modelonderzoek gepaard gaan zouden worden gerechtvaardigd door het grootere inzicht, dat in de verschijnselen wordt verkregen. Het zou immers mogelijk zijn in het laboratorium meer uitgebreide en de werkelijkheid beter benaderende proeven te doen, dan die in 1907 waren verricht. Waar deze laatste reeds hun nut hadden afgeworpen, kon het niet twijfelachtig zijn, dat ook ditmaal van modelproeven met voordeel gebruik zou kunnen worden gemaakt.

Een opdracht in deze geest werd aanvaard. Het doel van de proeven was dus niet de juiste oplossing te vinden, doch meer om door een aanschouwelijke voorstelling van de verschijnselen een steun te geven bij de redeneeringen, die tot het project zouden moeten voeren.

Er werd van afgezien een volledig getij voor te stellen. Dit zou trouwens met de in het laboratorium beschikbare hulpmiddelen niet mogelijk zijn geweest, daar de menging van soortelijk licht rivierwater met soortelijk zwaar zeewater, die in alle fasen van het getij behalve de hoogwater-periode een belangrijke rol speelt, niet is te verwezenlijken. De in het



model voorgestelde toestand is dus als het ware een momentopname van de omstreeks hoogwater voorkomende toestand, die zoo lang wordt gehandhaafd, als voor de metingen noodig is,

Door deze wijze van doen is er van afgezien de verschijnselen gedurende andere fasen van het getij na te gaan. Dit kon geschieden omdat de hoogwaterperiode van het meeste belang is. De stroomen zijn dan voor de scheepvaart ongunstig, terwijl werd vermoed, dat de beweging van het bodemmateriaal, die de verplaatsing van geulen en banken veroorzaakt, vooral omstreeks hoogwater een groote intensiteit heeft.

De opgaaf van de modelproeven is:

1. het voorstellen van de bestaande toestand, waardoor een indruk wordt verkregen van de verschillen, die tusschen model en werkelijkheid bestaan,

2. het nagaan van de gevolgen van verder uitbouwen van de leidam, waarvoor als uitgangspunt dienen, in figuur 3 weergegeven, schetsontwerpen, die mogelijke tracés van de nieuwe dammen bevatten.

Vóór met het modelonderzoek kon worden begonnen, was het noodig een aantal metingen ter plaatse te doen, om de werkelijk optredende toestand beter te leeren kennen. Dit was onder andere noodig om de grenzen van het model te kunnen vaststellen.

Nadat deze gegevens waren ontvangen kon in de eerste dagen van Juli 1930 het definitieve ontwerp voor het model worden gemaakt. Op 9 Juli werd met de bouw van het model zelf begonnen. De ingenieur bij het laboratorium ir. P.J. Wemelsfelder had de leiding van deze bouw, evenals van de metingen zelf, die van 1 October 1930 tot 1 October 1931 duurden. Ook het belangrijkste deel van het samenstellen van dit verslag over de metingen is door ir. Wemelsfelder geschied.

Gedurende de proeven is steeds nauwe voeling gehouden met de belanghebbende dienst van de Rijkswaterstaat. Voornamelijk vonden besprekingen plaats met den hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat in het arrondissement Rotterdamsche Waterweg, ir. J.F. Schönfeld, terwijl vele gegevens, die voor de modelbouw en proefnemingen noodig waren steeds op vlotte wijze werden

verschafft door den ingenieur van de Rijkswaterstaat te Hoek van Holland, ir. C. In 't Veld, die ook enkele malen daadwerkelijk aan de modelmetingen heeft deelgenomen.

#### 4. Overzicht van de bereikte resultaten.

a. Bij het model, dat de bestaande toestand weergeeft, komen de stroomen in de omgeving van de mond goed met de waarnemingen te Hoek van Holland overeen.

b. De bodemligging, die in het model ontstaat, nadat de stroom geruime tijd is gehandhaafd, vertoont hetzelfde beeld als de werkelijkheid. Hieruit volgt:

e. het model is, althans in hoofdzaak, betrouwbaar en mag dus ook dienen voor het beoordeelen van toestanden, die ontstaan na wijziging van de situatie door het uitvoeren van werken,

B. De zandbeweging in de werkelijkheid wordt in hoofdzaak beheerscht door de stroomen, die in de beschouwde periode van het getij, dus omstreeks hoogwater, loopen.

c. Uit het in het model waargenomen transport van bodem-materiaal kan worden geconcludeerd, dat de bult buiten de mond in hoofdzaak wordt gevormd door zand, dat door de over de bezonken dam stroomende vloed uit de aldaar liggende put wordt opgewarrelt. De sterk om de kop van het noorderhoofd trekkende vloedstroom doet daar de diepe kuil ontstaan; het uit deze kuil komende zand vormt een groot deel van het materiaal van de aanzanding tusschen de hoofden en in de doorgraving.

Waarschijnlijk wordt gedurende andere fasen van het getij zand in de kuil en in de put afgezet, zoodat telkens weer nieuw materiaal aanwezig is.

d. De toestand vóór het aanleggen van de leidam is in het model globaal nagegaan. Daarbij is niet gestreefd naar een goede aanpassing bij de werkelijkheid. Onder andere had de Maasvlakte in het model een diepte overeenkomend met de in 1930 gepeilde en niet met de belangrijk grootere diepte van 1909 en vroeger. Wordt dit in aanmerking genomen, dan kan de overeenstemming van de beweging van water en zand bevredigend

worden genoemd. De stroom om de kop van het noorderhoofd <sup>klein</sup> *bleef* nog onregelmatiger, dan bij de bestaande toestand.

e. Verbetering, zoowel van de stroomverdeeling, als van de zandbeweging, is mogelijk. Wanneer wordt afgezien van het zeewaarts verlengen van de beide hoofden, ten einde een verdere dieptelijne te bereiken, zal elke verbetering omvatten het verhoogen van de bezonken dam tot boven hoogwater, waardoor dus een verlenging van de leidam wordt verkregen (figuur 4, c). Aan het zuidwestelijk uiteinde daarvan moet een kopkrul worden gemaakt. De stroomen veranderen hierdoor slechts weinig, doch de aanzanding buiten de mond vermindert, omdat de voornaamste zandbron, de put buiten de leidam, verdwijnt.

f. Verdere verbetering kan worden verkregen door het verlengen van de leidam over groote afstand, bijvoorbeeld twee kilometer (figuur 4, d). Met iets minder lengte nieuw aan te leggen dam (ruim 1500 meter) kan een minstens even goed resultaat worden verkregen, door het bouwen van een stroomleider zeewaarts van de leidam. In principe kunnen twee liggingen van de stroomleider worden onderscheiden (figuur 4, e en f); zij brengen voornamelijk een regelmatige stroom teweeg, waardoor ook de zandbeweging gunstig wordt. Doordat de stroom veel regelmatiger over de volle breedte van de mond wordt verdeeld, zal de kuil bij het noorderhoofd minder diep worden, terwijl verdieping aan de zuidzijde van de vaargeul is te wachten. Voorts zal de bult buiten de mond minder naar de lichtenlijne uitwerken, doch door de gewijzigde stroomrichting trekt het zand uit deze streek de Waterweg binnen. Ten slotte zal de totale hoeveelheid zand, die in beweging is, geringer zijn, dan bij de bestaande toestand.

g. Verscheidene onderzochte wijzigingen hebben geen verbetering tengevolge; ook de drie in figuur 3 geschetste toestanden, die als uitgangspunt dienden, bleken niet gunstig te zijn.

h. Bij de onder f genoemde toestanden is het bodemtransport in het model zoo gering, dat de verschillen tusschen model en werkelijkheid relatief een groote invloed gaan krijgen.

Overbrengen van de modelresultaten op de werkelijkheid wordt daardoor zeer onzeker. Bovendien is het mogelijk, dat door het wegvallen van de groote zandbeweging omstreeks hoogwater, de toestanden gedurende andere fasen van het getij de bodemligging in meerdere mate gaan beheerschen, dan thans het geval is.

Voor een juiste beoordeeling van deze toestanden is het aangewezen een nieuw model te maken. Dit model zal een grootere schaal moeten hebben om de verschijnselen in details weer te geven. Bovendien dient het zoodanig te worden ingericht, dat de menging van water van verschillend soortelijk gewicht kan worden onderzocht, zoodat ook de toestanden bij ondervloed en eb kunnen worden nagegaan.

De mond zijn die vorm... groote... op...  
 ne plaatsen sterke...  
 van... weer...  
 bevestigde...  
 peilkaarten... 1 tot 3 m, dat is niet groot...  
 den...  
 gen (2 maal de m.f. in elke peiling). Werkelijk...  
 van de bodem...  
 nagaan.

Hij heb... van het model is uitgegaan van de...  
 tijd laatste peilkaart, die van de winter 1929/1930.

In de... van de...  
 het...  
 ten...  
 in...  
 zijn...  
 van het...  
 het...

het...  
 modellen...  
 stroom...  
 staat...  
 de...  
 van...  
 van...  
 van...  
 van...

(A) ...  
 voor...  
 geval.

## II. Gegevens uit de werkelijkheid.

### 5. Peilingen.

In het door het model voor te stellen gebied worden zeer veel peilingen verricht. De hydrografische opnemingen, die met vrij groote tussenpoozen worden uitgevoerd, betreffen vooral de open zee, terwijl de Rijkswaterstaat geregeld, meestal twee maal per jaar, in de doorgraving, tusschen de hoofden en ook daarbuiten peilt. Zodoende wordt niet alleen een goede kennis verkregen van de diepteverhoudingen, maar ook van de veranderingen, die voortdurend plaats vinden. Dicht bij de mond zijn die veranderingen groot; er vindt op verscheidene plaatsen sterke verondieping plaats, die grootendeels door zandzuigers weer ongedaan wordt gemaakt. Verder in zee is de toestand stabiel; de verschillen tusschen de opeenvolgende peilkaarten bedragen meestal 1 tot 3 dm, dat is niet grooter dan de middelbare fout in het verschil tusschen twee peilingen (2 maal de m.f. in elke peiling). Werkelijke veranderingen van de bodemligging zijn hier dus niet met zekerheid te constateeren.

Bij het bouwen van het model is uitgegaan van de toentertijd laatste peilkaart, die van de winter 1929/1930.

In de ver van de vaargeul af gelegen gebieden, die door het model <sup>moeten</sup> worden voorgesteld, de Maasvlakte en het terrein ten noorden van het noorderhoofd, buiten het badstrand, was in de laatste tijd niet gepeild. In de voorzomer van 1930 zijn in deze gedeelten peilingen verricht, die voor het maken van het model zijn gebruikt.

Het model is dus een combinatie geworden van twee op verschillende oogenblikken gepeilde gedeelten. Al is dit, strikt genomen, niet toelaatbaar, groote bezwaren kunnen niet ontstaan, daar het niet waarschijnlijk is, dat het laatst gepeilde gebied tusschen eind 1929 en de zomer van 1930 zoo sterke veranderingen heeft ondergaan, dat de uitkomsten van de proeven daardoor kunnen zijn beïnvloed.

De belangrijkste dieptelijnen zijn voorgesteld in figuur 5; voor zooveel mogelijk is daarbij de peilkaart van Mei 1930 gevolgd.

## 6. Peilschaalwaarnemingen.

De waterstanden te Hoek van Holland worden aangegeven door de registreerende peilschaal, die nabij de noordelijke oever van de doorgraving is opgesteld. Volgens aanwijzingen van deze peilschaal bedroeg in het tienjarig tijdvak 1921-1930:

gemiddeld hoogwater	88 cm + N.A.P.
gemiddeld laagwater	73 cm - N.A.P.

De werkelijke standen wijken hiervan slechts weinig af; een der belangrijkste foutenbronnen is het voorkomen van zoet water in de peilbuis tijdens de periode, waarin de rivier zout water bevat.

Om de waterbeweging op andere plaatsen van het te onderzoeken gebied te leeren kennen zijn op 28 Augustus 1930 bij zeer vlakke zee aan tijdelijke peilschalen de waterstanden afgelezen. De plaats van die peilschalen is aangegeven in figuur 9, terwijl in tabel 3 en op figuur 6 de resultaten zijn aangegeven. De getijlijn van figuur 6 is die van de controleerende peilschaal bij de registreerende (nummer 8 van figuur 9), terwijl van de andere waarnemingspunten op vergrootte schaal de verschillen met de plaats van de registreerende zijn geteekend.

Volgens de waarnemingen komt de getijgolf uit het Zuidwesten; de stations 1 - 3 hebben vroeger hoogwater, dan 5 - 7; gedurende de rijzing staat de zeespiegel bij de eerstgenoemde belangrijk hoger (om 5 uur is er 20 cm verschil tussen de nummers 3 en 7). Omstreeks 8 uur staat de Noordzee overal praktisch even hoog, de vloedstroom is dan bijna geëindigd.

Zeer opvallend is het verschil tussen de schalen 3 en 4, die beide aan het begin van de leidam zijn opgesteld, doch aan verschillende zijden daarvan. De zeewaartsche heeft de laagste standen; het verschil vertoont een maximum van 16 cm om 5.35 uur. Dit groote verval wordt veroorzaakt zoowel door de zeer hoge stand van de binnenpeilschaal 3, als door het abnormaal lage niveau van de zeepeilschaal 4. Bij de eerste stuwt het op de Maasvlakte geraakte water op; bovendien zullen centrifugaalkrachten meewerken om een hoge stand te veroorzaken. Zoals later zal blijken zijn de stroomlijnen buiten de leidam zoodanig gekromd, dat de centrifugaalkracht

bij peilnaald 4 een verlagende invloed heeft.

Door een en ander is het verval op de bezonken dam niet zoo groot, als met het verschil tusschen de peilschalen 3 en 4 overeenkomt; toch is het wel zeker dat dit verval geruime tijd ongeveer een decimeter zal bedragen, zoodat een zeer sterke stroom over deze dam zal moeten loopen.

De peilschalen in de doorgraving geven gedurende een groot deel van de waarnemingsperiode vrij veel lagere standen, dan die in de Noordzee. Het verschil is te verklaren door de wrijving, die de intrekende stroom ondervindt, verminderd met het verhang, dat noodzakelijk is om de vloedstroom in de Waterweg te vertragen na het voorkomen van zijn maximum waarde.

De vloedkop ligt in de doorgraving ruim een decimeter lager, dan in de open zee; eveneens zal het laagwater in zee dieper afloopen, dan bij de registreerende peilschaal, zoodat deze een tijverschil geeft, dat belangrijk kleiner is, dan dat buiten de kust. Daar zal het tijverschil tusschen 180 en 190 cm liggen.

Het dwarsverhang op de Waterweg (verschil tusschen 8 en 9) is niet groot en meestal zoodanig, dat aan de zuidelijke kant de laagste standen voorkomen. Het kan worden veroorzaakt door wind, verschillend soortelijk gewicht van het water, de aardrotatie (kracht van Coriolis) en de centrifugaalkracht, die het water naar de noordwal stuwt, overheerscht.

Bij dit alles is aangenomen, dat de peilschalen goed zijn gesteld, zoodat de nulpunten in één waterpas vlak liggen.

## 7. Stroomen in zee.

Na het maken van de leidam is een groot aantal metingen verricht van de vloedstroom in de omgeving van de mond. Van deze metingen, die met drijvers plaats hadden en voornamelijk in de jaren 1915-1917 zijn verricht, zijn er slechts weinige bruikbaar voor modelonderzoek. In figuur 7 en 8 zijn weergegeven de stroombanen, die werden waargenomen in de periode van ongeveer 1 uur voor tot 1 uur na hoogwater te Hoek van Holland.

Het beoordeelen van de uitkomsten van deze metingen wordt bemoeilijkt door de reeds eerder genoemde omstandigheden, dat

het vermogen van de Waterweg zoo lang geleden geringer geweest is dan thans.

Speciaal met het oog op de modelproef zijn de drijvingen verricht, waarvan de stroombanen op figuur 9 zijn aangegeven. De snelheden zijn af te leiden uit de cijfers, die langs deze stroombanen zijn geschreven en die het uur aanduiden, waarop de bijbehorende punten zijn gepasseerd.

In tabel 2 zijn de gegevens voor de drijvingen in zee verzameld en verwerkt. De tijden in deze tabel zijn zoodanig gereduceerd, dat het tijdstip van hoogwater te Hoek van Holland steeds overeenkomt met 12 uur. Als gemiddelde snelheid in zee omstreeks dit tijdstip bij een getij van gemiddelde sterkte en windstilte blijkt ongeveer 78 cm/sec te kunnen worden aangenomen. Deze snelheid is vrijwel de maximum snelheid gedurende de vloedperiode.

In tabel 3 zijn verzameld en verwerkt de gegevens van de drijvingen voor het Brielsche Zeegat. De snelheid vlak voor de Brielsche Maasmond is ongeveer 34 cm/sec, terwijl in het verlengde van de leidam op 50 cm/sec kan worden gerekend.

Bij het bouwen van het model is het noodig de begrenzing aan de zeezijde zoo nauwkeurig mogelijk evenwijdig aan de stroomlijnen te kiezen. Daarbij moet een zoo groote afstand uit de kust worden gehouden, dat de stroomlijn langs de lijn die met de modelgrens overeenkomt niet wordt beïnvloed door de aanwezigheid van de mond van de Waterweg. Het zeewaarts uitbuigen van de stroomlijn moet zich dus geheel afspelen tusschen de modelgrens en de kust. Het is zelfs noodig om de grenslijn niet te krap te kiezen, daar het mogelijk is, dat tengevolge van de te onderzoeken wijzigingen van de mond de uitbuiging van de stroomlijnen op grootere afstand van de kust merkbaar zal zijn dan in de bestaande toestand.

Het is dus van veel belang op verschillende afstanden van de kust onder diverse omstandigheden van getij en wind de stroomlijnen gedurende de vloed zoo nauwkeurig mogelijk vast te leggen. De modelgrens zal moeten worden gekozen evenwijdig aan de gemiddelde stroomrichting op grootere afstand dan die waar de uitbuiging van de stroomlijn tengevolge van de aanwezigheid van de leidammen nog voelbaar is,



De drijvingen toonden aan dat de invloed van de leidammen in zee niet ver merkbaar is. Zelfs wanneer met een groote mate van zekerheid rekening wordt gehouden, zal het mogelijk zijn de modelgrens op een afstand van 6 km uit de kust te kiezen. De richting van de stroom blijkt van dag tot dag vrij sterk te varieeren; uit de in figuur 9 geteekende stroombanen is intusschen vrij goed de gemiddelde richting af te leiden.

De richtingen van de stroom bij het Brielsche Gat zijn eveneens maatgevend voor de grens van het model, doch daar ter plaatse zal deze grens zoodanig moeten worden gekozen, dat de baan van de waterdeeltjes, die het Brielsche Gat intrekken, buiten het model liggen, doch dat de waterdeeltjes, die stroommen langs het strand van de zoogenaamde Beer nog in het model worden opgenomen.

Ook hier blijkt de grens niet met zekerheid getrokken kunnen worden. Niet alleen verandert de lijn, waarlangs de waterdeeltjes nog juist naar de Brielsche Maas gaan, van dag tot dag, maar ook van uur tot uur, zoodat kort voor hoogwater een eenigszins andere grens geldt dan eenige tijd na dit tijdstip. Het is een gelukkige omstandigheid, dat de snelheid hier klein is, evenals de diepte, zoodat hier kleine waterhoeveelheden worden verplaatst en bij een niet geheel juist aannamen van de grens toch geen groote fouten worden gemaakt. Met de gegevens van figuur 9 is het mogelijk een bevredigende oplossing te vinden.

#### 8. Het vloeddebiet van de Waterweg.

Zooals reeds eenige malen werd opgemerkt, is het vermogen van de mond van de Waterweg in de loop van de tijd belangrijk vermeerderd. Bij het verder verruimen van de rivier, zoowel van de daarbij aansluitende vakken van de Lek, Noord en dergelijke, en bij het maken van nieuwe havens zal de capaciteit nog verder toenemen. Uit het groote aantal metingen van de hoeveelheid water, die bij vloed de mond binnenstroomt, zijn als grondslag voor de modelproeven gekozen die welke in 1916 zijn verricht door de Staatscommissie inzake de buitengewoon hoge waterstanden op de Nieuwe Waterweg (Staatscommissie van de Sande Bakhuyzen). Volgens bijlage 53 en 60 van het rapport van deze Staatscommissie wordt op het tijdstip van maximum

vloedstroom bij een gemiddeld getij ongeveer  $4650 \text{ m}^3/\text{sec}$  naar binnen gevoerd. Kort voor en na hoogwater is deze hoeveelheid  $4400 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Het natte oppervlak was destijds  $4000 \text{ m}^2$  waaruit een gemiddelde snelheid van  $110 \text{ cm}/\text{sec}$  volgt. Deze snelheid is bij de opzet van de proeven aangehouden. Volgens opgave van de Rijkswaterstaat over de tegenwoordige toestand zou de gemiddelde snelheid  $108 \text{ cm}/\text{sec}$  bedragen wat dus behoorlijk met de zoeven genoemde waarde overeenkomt.

### 9. Stroomen in de omgeving van de mond.

De drijvingen die ter gelegenheid van de proeven van 1907 zijn gedaan kunnen alleen een indruk geven van de toestand die voor het aanleggen van de leidam aanwezig was, Na die tijd zijn echter herhaaldelijk drijvingen geschied, o.a. de reeds genoemde van 1915-1917. Door deze drijvingen is het mogelijk een beschrijving te geven van het verloop van de stroom gedurende een getij, hoewel de gegevens niet voldoende zijn om alles in cijfers uit te drukken.

Tijdens de vloedperiode trekt over de geheele diepte van de Waterweg zout water naar binnen, sterk geconcentreerd langs de kop van het noorderhoofd, terwijl de stroomsnelheden langs de lage leidam zeer gering zijn. Na de kentering in de doorgraving stroomt dit zoute water weer naar zee, even later gevolgd door zoet opperwater. De verdeling van deze ebstroom over de breedte van de mond is minder <sup>on</sup>regelmatig dan die bij vloedstroom.

Gedurende de eb loopt de stroom in zee naar het Zuidwester. Deze stroom wordt maar weinig gestoord door het uitstroomende rivierwater, dat tengevolge van het geringe soortelijk gewicht over het zeewater heen stroomt. Begint de eb weer af te nemen dan vermeerdert het statische drukverschil in het diepste deel van het profiel tusschen de hoofden zoodanig dat het zoute water onder het uitstroomende rivierwater door reeds naar binnen gaat trekken (het bekende verschijnsel van ondervloed). Bij het verdere stijgen van het water in zee neemt het drukverschil zooveel toe, dat de instrooming zich over de geheele diepte van de Waterweg uitbreidt. De stroom in zee is dan ook weer gekenterd en loopt dan naar het Noordoosten, zoodat de vloedperiode weer is aangebroken. De beschrijving van de details van het

stroombeeld tijdens deze periode zal uitvoerig geschieden bij de bespreking van de bestaande toestand in aansluiting aan de waarnemingen in het model.

#### 10. Transport van het bodemmateriaal.

Omtrent de hoogst belangrijke kwestie van het transport van het bodemmateriaal is nog betrekkelijk weinig bekend. Het is buitengewoon moeilijk om de Waarnemingen, die alle een plaatselijk karakter dragen, met elkander in verband te brengen, en zodoende een beeld over de geheele beweging te verkrijgen. Bij de hier volgende beschrijving is daarom nu en dan reeds gebruik gemaakt van de gegevens, die door het modelonderzoek zijn verkregen.

In het gebied, waarover het gaat, is de bodem geheel samengesteld uit fijn zand, dat gemakkelijk door de stroom wordt meegenomen. Daarbij zijn drie wijzen van beweging te onderscheiden, namelijk rollen over de bodem, de beweging met sprongen, waarbij de bodem slechts plaatselijk wordt geraakt, en ten slotte beweging in suspensie, waarbij de zandkorrels betrekkelijk lange tijd in hogere waterlagen blijven. De factoren, die de beweging bepalen zijn de stroomsnelheid van het water, de golfslag en vooral de wijze waarop deze zich op de bodem doet gevoelen, de turbulentie van het water, en voorts het relief van de bodem.

Zand van een korrelgrootte zoals hier wordt aangetroffen, zal vermoedelijk in beweging geraken bij stroomsnelheden van omstreeks 30 - 50 cm/sec. Zeker is dit niet, daar het zelfs bij modelproeven niet goed mogelijk is om de invloed van de eigenlijke snelheid langs de bodem te scheiden van andere factoren, voornamelijk van turbulentie<sup>1)</sup>. Het stroomende water oefent een horizontale druk op de zandkorrels uit, waardoor zij zich rollend kunnen voortbewegen.

Anders staat het bij de golfbeweging. De bij de bodem gelegen waterdeeltjes hebben dan een vrij snel wisselende bewe-

1) Het is niet onmogelijk, dat bij een zeer rustige beweging van het stroomende water, het zand bij belangrijk hogere snelheden nog blijft liggen. Bij de afsluiting van het Amsteldiep in 1924 werd een eveneens uit fijn zand bestaende, bank geruime tijd, door stroom met een snelheid van 80 cm/sec niet in waarneembare mate aangetast. Het water had hier een versnelde beweging, waardoor het zeer weinig turbulent was.

ging over korte afstand, waarbij ook dicht bij de bodem verticale snelheden zullen voorkomen. Het moet daarom mogelijk zijn dat zandkorrels door die verticale stroomen een eindweegs van de bodem worden gelicht en sprongen gaan maken. Door een eventueel gelijktijdig aanwezige stroom zullen die springende korrels worden meegevoerd, ook al zou de snelheid van de stroom zoo klein zijn, dat hij op zichzelf geen zandbeweging veroorzaakt. De golfslag is dus een stimulans, waardoor de kritische stroomsnelheid voor het vervoer van zand kleiner wordt.

Een dergelijke uitwerking als de golfslag heeft ook de turbulentie. Wanneer een waterstroom door een of andere oorzaak, bijv. door het passeeren van den onregelmatigheid in het stroomprofiel, sterk turbulent is geworden, bevinden zich bij de bodem wervels van allerlei draairichting, die weer verticale stroomcomponenten veroorzaken en de zandkorrels dus weer tot springen brengen. Ook hierdoor wordt dus de kritische grens voor de zandbeweging verlaagd, soms in zeer sterke mate. De zandkorrels worden door de turbulentie soms veel verder omhoog gevoerd dan door de golfslag, waardoor soms bepaald van een beweging in suspensie sprake kan zijn. Toch zal ook in dit geval het grootste deel van de zandbeweging over en dicht langs de bodem plaats vinden.

De rollende beweging zal afhankelijk zijn van de helling, die de bodem vertoont. Bij het vormen van een kuil in de bodem bijvoorbeeld, zal het dieper worden daarvan geleidelijk verhinderen dat de zandkorrels over de steeds steilere helling uit de kuil worden gevoerd. Er ontstaat op deze wijze een grens, waarover de diepte niet gemakkelijk zal kunnen toenemen.

Welke rol de wind bij het zandtransport speelt, staat niet geheel vast. Enerzijds veroorzaakt de wind golfbeweging, waardoor dus het zandtransport in elke richting wordt opgevoerd en anderzijds zal de wind invloed hebben op de stroom zelf, zoodat de zandbeweging in een bepaalde richting zal worden geaccentueerd. Voor toestand op lange termijn is daarbij de gemiddelde wind maatgevend. Zoodat uit de publicaties van het K.N.M.I. kan worden nagegaan, is de gemiddelde wind westelijk tot zuidwestelijk van richting, zoodat vermoedelijk de naar het Noordoosten tot Oosten gaande stroom versterkt wordt en wellicht zal dus ook in deze richting zandbeweging

door de wind iets sterker zijn, dan hij anders zou zijn.

Uit de waarnemingen in zee is gebleken dat de omstandigheden daar zoodanig zijn dat een vrij groote beweging van zand geregeld plaats kan vinden. Niet alleen is dit het geval in de brandings-zône, waar de sterke golfbeweging het zand voortdurend opwoelt, en de langs de kust gerichte stroom op de duur de belangrijke verplaatsing veroorzaakt, doch ook verder van de kust volgt uit de peilingen, dat geregeld verandering van bodemligging en dus zandbeweging plaats vindt. Wel wordt de beweging minder naarmate men in grootere diepten komt. De golven dringen dan in mindere mate tot de bodem door, zoodat opwarreling van zand hier in mindere mate geschiedt. In de regel wordt aangenomen, dat in diepten grooter dan bijvoorbeeld 6 tot 10 meter de zandbeweging zeer gering wordt.

Daar de vloedstroom (in noordoostelijke richting) langs de Nederlandsche Noordzeekust sterker is dan de ebstroom, overheerscht de zandbeweging naar het Noordoosten. Hoe groot dit transport is, dus hoeveel  $m^3$  per jaar door een loodrecht op de kust staand profiel passeert, is niet bij benadering bekend. Wellicht zal men kunnen denken aan een millioen  $m^3$  per jaar, de beweging van banken langs de Texelsche kust wijst tenminste op deze orde van grootte.

De algemeene zandbeweging wordt uiteraard in sterke mate gestoord door de aanwezigheid van de mond van de Waterweg. De hoofden reiken namelijk in zee tot de dieptelijn waar de zandbeweging ongeveer ophoudt. Het uit het Zuidwesten komende zand loopt dus tegen het zuiderhoofd aan en zal daar dus moeten blijven liggen of door een beweging buiten de hoofden om verder worden gevoerd. Dat het eerste althans gedeeltelijk het geval is, blijkt uit de sterke verhooging, die het strand van de Beer en de daarvoor liggende Maasvlakte sinds het aanleggen van de hoofden heeft ondergaan en die na het bouwen van de leidam zich nog sterker heeft doen gevoelen. De berging in dit gebied kan worden geschat op enkele honderdduizenden  $m^3$  per jaar.

Echter wijst de toestand erop, dat ook belangrijke hoeveelheden zand buiten de hoofden om worden getransporteerd. Op

deze beweging is vooral de turbulentie van het water van invloed. Bij het passeeren van de bezonken dam wordt het water in zeer hooge mate turbulent, waardoor de ruimende kracht van de stroom in zeer sterke mate toeneemt. Dit moet zich in de eerste plaats uiten door de vorming van een put aan de zee-kant van de leidam (figuur 1), waar het water door het passeeren van de bezonken dam en vooral van de kop van de leidam zeer veel wervels bevat. Het zand uit deze put wordt daardoor in sterke mate sprongsgewijze en in suspensie getransporteerd, hoewel *natuurlijk* ook beweging langs de bodem zal voorkomen.

Het uit de put komende zand beweegt zich met de vloedstroom mee en zal zich dus dwars voor de koppen van de hoofden bewegen. Nu ontstaan drie mogelijkheden: het zand kan buiten de Waterweg om aan de andere zijde van het noorderhoofd geraken en daar weer aan de algemeene beweging gaan deelnemen, het kan banken vormen voor de mond van de Waterweg en dan door zuigen worden verwijderd, en het kan de Waterweg binnentrekken en zich daar afzetten.

Hoeveel zand de Waterweg passeert valt niet gemakkelijk uit te maken. Uit het feit, dat het Westlandsche strand niet in zeer gunstige omstandigheden verkeert, zou kunnen worden geconcludeerd, dat de hoeveelheid belangrijk minder zal zijn, dan de normale getransporteerde hoeveelheid ten Zuiden van Hoek van Holland. Uit de strandmetingen valt langs de door de strandhoofden verdedigde kust een lichte teruggang te constateeren; alleen de eerste kilometers voorbij de Waterweg hebben eenige winst, doch hier is de toestand abnormaal, daar de vloedstroom langs het strand in de luwte van de hoofden zwak is en de overheerschende ebstroom het zand naar het badstrand voert.

Dat buiten de mond veel zand blijft liggen, volgt uit de groote hoeveelheden, die hier worden gezogen. In hetnop figuur 1 dubbel gearceerde gebied wordt over een oppervlak van omstreeks  $500 \times 200$  m elke zomer een dikte van enkele meters afgezogen, waardoor per jaar ongeveer  $300\ 000\ m^3$ , overeenkomende met  $400\ m^3$  per getij, wordt verwijderd. Hoeveel van deze hoeveelheid wordt afgezet bij andere fasen van het getij, hetzij door de ebstroom in zee, hetzij door de uit de Waterweg komende stroom, valt zonder nader onderzoek niet uit te maken.

Ook binnen de koppen van de hoofden wordt veel zand afgezet, daar er veel meer wordt gezogen, dan met de verruiming van het profiel overeenkomt. Hier is de moeilijkheid om de grens te trekken tusschen het zand dat door de bovenrivier wordt afgevoerd en dat uit zee komt. Dit laatste doet zich kennen door de kleinere korrels, er komt zelfs vrij veel zand voor met korrelgrootte onder 100  $\mu$ , wat nog fijner is dan het zeezand. De jaarlijks uit de rivier gezogen hoeveelheid zeezand zal wederom op enkele honderdduizenden  $m^3$  kunnen worden gesteld.

In verband met het feit, dat gedurende het grootste deel van het getij zout water juist langs de bodem naar binnen stroomt, is het verklaarbaar, dat meer zand in-, dan uitstroomt, ondanks de per saldo grootere waterafvoer bij eb.

Het gezogen zand wordt voor een groot gedeelte in zee gestort op plaatsen, waar de diepte belangrijk grooter dan tien meter is, zoodat kan worden aangenomen, dat het zich buiten de zône van het transport is gekomen. Het feit, dat de storthoopen jaren lang praktisch ongewijzigd worden teruggevonden pleit voor deze opvatting. Het zand is dus verloren voor de algemeene beweging en kan niet meer helpen de toestand van het Westlandsche strand te verbeteren. Daarom is het ten zeerste toe te juichen, dat in de laatste tijd ernaar wordt gestreefd, wanneer de omstandigheden daartoe gunstig zijn de hoppers te lossen in ondieper water op eenige afstand ten noordoosten van Hoek van Holland. Er is weinig kans voor, dat dit zand door de ebstroom weer voor of in de Waterweg zal worden gevoerd, terwijl deze handelwijze aan de toestand van het strand slechts ten goede kan komen.

In figuur 10 zijn <sup>mogelijk</sup> de banen van verschillende zanddeeltjes schematisch aangegeven. Van het uit het Zuidwesten komende zand blijft F liggen op de Maasvlakte en doet de Beer aangroeien. D passeert de Waterweg en neemt daarna weer aan de algemeene beweging deel. De rest geraakt in het storingsgebied en komt, hetzij via de sterk turbulente gebieden (A, B en C), hetzij rechtstreeks (E), in en bij de vaargeul terecht vanwaar het teslotte wordt weggezogen en naar het stort getransporteerd.

De geheele toestand is zeer onzeker, en men zal zich moe-

gebied dat ook?

ten beperken tot het vaststellen van twee feiten, namelijk dat de Waterweg aan het algemeene zandtransport aan onze kust een belangrijke hindernis biedt, en ten tweede dat door plaatselijke onregelmatigheden van de stroom groote hoeveelheden zand in beweging worden gebracht, die anders zouden blijven liggen.

De voorstaande begrepen vooral niet te nauw worden geklemd, vooral aangezien de zandtransporten naar zeevoet veldt bestaan zijn, dat de zandtransporten van de inloop en vlieden in de omgeving van het te onderzoeken terrein niet meer aanwezig is. Over de plaats van de zandtransporten begrenzing is reeds in paragraaf 7 een enkel woord gezegd.

+++++

Op grond van de beschikbare gegevens werden de grenzen vastgesteld, zoals in figuur 11 is aangegeven.

De toestrooming begint ongeveer zuidelijk, dat ook bij de grootste veranderingen van het zuidnoord nog voldoende is te aanwezig is om een aan de werkelijkheid analoge instrooming te waarborgen.

De uitstrooming bevond zich ruim 4 kilometer ten noorden van de mond, zodat hier de ruimte groot genoeg is, voor het herstellen van een regelmatig stroom na de stroom, die door de mond van de Waterweg wordt veroorzaakt. De totale lengte van het afgebeelde gebied bedraagt ruim 12 kilometer.

In zeevaartsche richting werd een zoo grote breedte (6 km) verkregen, dat bij de grootste te bereiken veranderingen geen storende invloed van deze vaste begrenzing is te verwachten (par. 7). De richting is bepaald door die van de uitstroom volgens Figuur 7. De waterweg is ongeveer 3,5 km lang gekant, het einde lag bij kilometerraai 171,7, juist boven de Berghaven, dit zelf voor de mond is wegelaten. In de mond van de Brielse Maas werd de grens van het model gevormd door een wand langs een lijn, die volgens figuur 9 niet door de stroom wordt gekruist.

De nuttige wateroppervlakte is 52,5 km<sup>2</sup>. In model dus 52,5 m<sup>2</sup>. De totale wateroppervlakte van het model bedroeg 116 m<sup>2</sup>.

12. Schalen.

De schaal voor de horizontale afmetingen is bepaald door



### III. Hét model.

#### 11. De begrenzing.

De grenzen van het gebied, dat door het model moet worden voorgesteld, mogen vooral niet te nauw worden gekozen. Zoowel stroomopwaarts als stroomafwaarts zal zooveel ruimte moeten zijn, dat de storende invloed van de inloop en uitloop in de omgeving van het te onderzoeken terrein niet meer merkbaar is. Over de plaats van de zeewaartsche begrenzing is reeds in paragraaf 7 een enkel woord gezegd,

Op grond van de beschikbare gegevens werden de grenzen vastgesteld, zooals in figuur 11 is aangegeven.

De toestrooming begint zoover zuidelijk, dat ook bij de grootste verlengingen van het zuiderhoofd nog voldoende lengte aanwezig is om een aan de werkelijkheid analoge instrooming te waarborgen.

De uitstrooming bevond zich ruim 4 kilometer ten noorden van de mond, zoodat hier de ruimte groot genoeg is, voor het herstellen van een regelmatige stroom na de storing, die door de mond van de Waterweg wordt veroorzaakt. De totale lengte van het afgebeelde gebied bedraagt ruim 12 kilometer.

In zeewaartsche richting werd een zoo groote breedte (6 km) verkregen, dat bij de grootste te beproeven verbouwing geen storende invloed van deze vaste begrenzing is te verwachten (par. 7). De richting is bepaald door die van de zee-stroom volgens figuur 7. De waterweg is ongeveer 3,5 km lang gemaakt; het einde lag bij kilometerraai 171,7, juist boven de Berghaven, die zelf voor de mond is weggelaten. In de mond van de Brielsche Maas werd de grens van het model gevormd door een wand langs een lijn, die volgens figuur 9 niet door de stroom wordt gekruisd.

De nuttige ~~water~~ oppervlakte is 82,5 km<sup>2</sup> in <sup>het</sup> model dus 82,5 m<sup>2</sup>. De totale wateroppervlakte van het model bedroeg 116 m<sup>2</sup>.

#### 12. Schalen.

De schaal voor de horizontale afmetingen is bepaald door

de beschikbare ruimte en wel in het bijzonder door de breedte van het laboratorium. Tusschen de ramen eenerzijds en de kolommen aan de andere kant is een afstand van 6,5 m aanwezig, zoodat om de gewenschte zes kilometer breede strook voor te stellen een schaal van 1:1000 noodig was. Deze schaal is kleiner dan men wel zou wenschen.

Voor de omgeving van het Brielsche Gat was tusschen de kolommen plaats te vinden, terwijl ook de Waterweg zelf tusschen twee kolommen kon doorschieten.

Lengte, evenwijdig aan de kust, was ruimschoots voorhanden.

Voor de diepten zou een zoo kleine schaal niet toelaatbaar zijn: de grootste diepte in het model zou dan 2 cm bedragen (20 m in de werkelijkheid), terwijl groote modelgedeelten slechts enkele millimeters diep zouden zijn. In een dergelijk model zou een met de werkelijkheid overeenkomende waterbeweging niet mogelijk zijn: de stroomende waterlaagjes zijn te dun. Het is noodig de diepteschaal te vergrooten; daarbij treden echter verscheidene moeilijkheden op. Een van de belangrijkste is deze, dat de hellingen van de bodem steiler worden, dan in werkelijkheid; dit belemmert het vormen van groote plaatselijke diepten in het model, daar het bodemmateriaal niet zoo gemakkelijk als in de werkelijkheid tegen de omringende taluds kan oploopen. Er moet een compromis worden gevonden tusschen voldoende diepten en al te steile hellingen. De keus viel op de diepteschaal 1:150, *Of* deze keus de juiste is geweest, valt achteraf niet uit te maken.

Bij samengetrokken modellen, zooals dit er een was, kan de schaal der snelheden zoodanig worden gekozen, dat de vervallen tusschen verschillende punten grootten hebben, overeenkomend met de diepteschaal. Daarbij speelt ook de gladheid van de bodem van het model een rol.

Voert men de volgende notaties in:

	Werkelijkheid	Model	Verhouding
Horizontale afmeting	S	s	$\alpha$
Diepte	Z	z	$\rho$
Verhang	I	i	$\rho:\alpha$
Gladheid	C	c	$\delta$
Stroomsnelheid	V	v	$\varphi$

dan heeft men.

$$V = CVZI$$

en

$$v = cvzi$$

dus:

$$\varphi = \frac{v}{V} = \frac{c}{C} \left[ \frac{z}{Z} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[ \frac{i}{I} \right]^{\frac{1}{2}} = \delta \rho \alpha^{\frac{1}{2}}$$

Hier is  $\alpha = 1/1000$ ,  $\rho = 1:150$ , terwijl  $\varphi$  van de uitvoering van het model afhangt. Bij een glad afgewerkt beton model kan  $c$  wellicht  $700 \text{ cm}^2/\text{sec}$  bedragen; deze waarde werd in het model door middel van peilschaalwaarnemingen later ook vastgesteld. In zee zal  $C$  de orde van grootte van  $600 \text{ m}^2/\text{sec}$  hebben, wat metingen in de Zuiderzee hebben aangetoond. Uit de peilschaalwaarnemingen van paragraaf 7 is de coëfficiënt niet af te leiden; de peilschalen kunnen niet op voldoende storingsvrije plaatsen worden gesteld, terwijl ook het feit dat de waterbeweging niet eenparig is de berekening van  $C$  praktisch onmogelijk maakt. De verhouding  $\delta$  kan voor dit model dus ongeveer 1,15 bedragen, waaruit volgt:

$$\varphi = 1,15 \times \frac{1}{150} \sqrt{1000} = 0,24 = 1:4,2$$

Deze schaal is aangehouden; de in het model waargenomen snelheden moeten met 4,2 worden vermenigvuldigd om voor de werkelijkheid te gelden.

Om te beoordeelen of bij de gekozen schalen voor diepte en snelheid de waterbeweging in voldoende mate turbulent is, moet het getal van Reynolds,  $R$ , worden berekend.

De viscositeit in de formule

$$R = (1:v) z \cdot v$$

is voor de temperaturen, waarbij de proeven zijn genomen, ongeveer 70, zoodat voor een plaats, waar de diepte  $z = 3 \text{ cm}$  (werkelijkheid  $Z = 14,5 \text{ m}$  en de snelheid  $v = 12 \text{ cm/sec}$  (wer-

kelijkheid  $v = 50$  cm/sec) het getal van Reynolds wordt

$$R = 70 \times 3 \times 12 = 2520.$$

Bij deze waarde van  $R$  is men verzekerd van turbulente stroom. Over het grootste deel van het model is  $R$  veel groter, bijvoorbeeld 10000 tot 15000, en daarom is het te aanvaarden, dat plaatselijk, bijvoorbeeld op een gedeelte van de Maasvlakte  $R$  dat kleiner is dan de waarde van 2000, die eigenlijk aanwezig zou moeten zijn. Het water treedt dit gebied binnen in flink turbulente toestand, zoodat de van de werkelijkheid afwijkende laminaire beweging niet gemakkelijk ontstaat.

De hoeveelheid van  $Q = 4400$  m<sup>3</sup>/sec, die de Waterweg in moet stroomen, wordt in het model voorgesteld door

$$q = \alpha \cdot \beta \cdot \varphi \cdot Q = 7 \text{ liter per seconde.}$$

Om de zeestroomen in overeenstemming met de werkelijkheid te brengen, bleek het noodig een hoeveelheid van 75 tot 80 liter per seconde toe te voeren.

Gedurende de tijd, dat met het model is geëxperimenteerd is er totaal meer dan 200.000 m<sup>3</sup> water door gestroomd.

### 13. Beschrijving van het model.

Het model bestond in hoofdzaak uit cement op een onderlaag van puin. De juiste hoogte van de bodem in zee en in de rivier is verkregen door volgens gepeilde raaien profielen aan te brengen, gemaakt van triplex-hout, die een met de peilingen overeenkomstige vorm hadden verkregen. Door middel van een boven het model aangebracht coördinatensysteem werden van elke raai twee punten op de juiste plaats gebracht. Deze plaats was uit de werktekening opgemeten. Een nauwkeurigheid van ongeveer 1 cm in de plaatsing van de raaien werd hiermede bereikt (figuur 12).

Om de juiste hoogteligging van de profielen te verkrijgen werden zij met behulp van een waterpasinstrument zoo nauwkeurig mogelijk gemaakt. Tusschen de profielen werd de oppervlakte van het cement zoo vloeiend mogelijk onder de rei afgestrekken. In figuur 13 zijn in het gedeelte van de toen nog niet voltooide zeebodem de raaien nog duidelijk te zien. Als laatste bewerking is het geheel nog eens met een dunnen gladderlaag overtrokken; hierdoor werd ook de waterdichtheid gewaarborgd.

In afwijking van de normale werkwijze zijn de raaien van de rivier niet volgens een bepaalde peilkaart gemaakt, doch werd elk punt van de raaien een diepte gegeven, overeenkomend met de grootste diepte, die daarin was gepeild bij de opnemingen 1928-1929, zomer 1929 en 1929-1930. De bedoeling hiervan was het scheppen van de mogelijkheid om de rivier verschillende vormen te geven, namelijk die, behoorend bij elk van de drie genoemde peilingen. Dit zou mogelijk zijn geweest door het plaatselijk aanbrenge van cementspecie en het later weer verwijderen daarvan. Van deze mogelijkheid is echter geen gebruik gemaakt; de rivier heeft steeds een te groot profiel gehad, zij het dan ook, dat het verschil met de werkelijkheid onbeduidend was.

Van de aanvang van de proeven af heeft het in de bedoeling gelegen, in de omgeving van de mond de bodembeweging na te gaan door het daar ter plaatse inbrengen van zeer gemakkelijk beweegbaar materiaal. Aanvankelijk was ook het aldaar gelegen gedeelte van de bodem uit cementspecie samengesteld. Hij bestond echter uit blokken, die zonder groote moeite konden worden verwijderd, waardoor een verdiepte bak ontstond, die weer gevuld kon worden met het losse materiaal. Voor dit losse materiaal werden uitgezeefde puimsteenkorrels (bims) gebruikt.

De aanvoer van water geschiedde via een vaste meetinrichting van het laboratorium, Het werd door een tweetal buizen vandaar naar de intree van het model geleid. Om de geconcentreerde straal over de geheele breedte van het model te verdeelen moest het water eerst onder een hoog schot doorstromen (figuur 11 links), daarna geraakte het in een 8 meter lange trechtersvormige verwijding, waar het de juiste verdeling kreeg door middel van een rooster. Dit rooster bestond uit een aantal verstelbare houten staven (figuur 14). Door de tusschenruimte tusschen deze staven juist te kiezen kon de verdeling van de stroom over de breedte van het model binnen wijde grenzen worden geregeld.

Ook aan de afvoorzijde van het model was een regeling van de waterverdeling noodig om tot een goede stroom in het eigenlijke model te kunnen geraken. Deze regeling werd verkregen met behulp van een vijftal houten schuiven, waar het wa-

ter onderdoor stroomde en die door middel van houten wiggen in verticale richting verschuifbaar waren. Het uit het model stroomende water werd opgevangen in een van de afvoergoten van het laboratorium (figuur 15). Door deze goot werd het teruggevoerd naar het waterreservoir waar het weer werd opgepompt langs een drukregelaar naar de meetinstallatie. Ongeveer 100 m<sup>3</sup> namen aan deze kringloop deel.

Een deel van het water bereikte niet de uitlaatzijde van het model, doch werd langs de Waterweg afgetapt. De hoeveelheid van dit water kon worden geregeld met behulp van een dergelijk schot, als dat van de uitloop (figuur 16). De hoeveelheid werd gecontroleerd met een kleine meetstuw (in figuur 16 juist niet zichtbaar), waarin het stroomde na het passeeren van het regelschot. Van deze meetstuw kwam het water in de afvoergoten.

De waterhoogte van het model werd waargenomen aan een tieltal peilnaalden, aangeduid in figuur 11 als A t/m L. die langs de omtrek van het model waren opgesteld. Bij het stellen van de waterstand werd in de regel de stand gebruikt in de peilput bij de plaats van de registreerende peilschaal Hoek van Holland. Op figuur 16 is deze peilnaald de tweede van rechts. In die put was ook een vast peilmerk aangebracht, een hoogte van 75 cm + N.A.P. aangevend, waarop in de regel de waterpas werd ingesteld.

Om de beweging van het bodemmateriaal te vergemakkelijken, zijn herhaaldelijk in het model golven opgewekt. Daarvoor is aan de inloopzijde van het model een golfmachine geplaatst (figuur 11 en 17), bestaande uit een lange lat, die door een kleine electromotor juist aan de oppervlakte werd heen en weer bewogen. De periode van deze beweging was 0,75 sec. De golfhoogte, die bij de opwekker ongeveer 2 cm was, bedroeg voor de mond ongeveer 1 cm.

Bij een deel van de proeven met licht verplaatsbaar materiaal was het noodig om zeer geringe hoeveelheden bims regelmatig toe te voeren op bepaalde plaatsen. De toevoer bedroeg in de regel voor elke plaats van aanvoer  $\frac{1}{2}$  tot 1 liter per uur. Om deze regelmatig te doen geschieden op een

zoodanige wijze, dat de hoeveelheid achteraf kon worden gemeten, werd een verdeelinrichting voor bims geconstrueerd. Deze toevoermachine (figuur 18) bestaat uit een groote houten cylinder (diameter 14 cm) die zeer geleidelijk werd rondgedraaid door een electromotor met tusschengeschakelde vertragung. Bij een toerental van de motor van 140<sup>0</sup> per minuut gebruikt de cylinder voor elke omwenteling 20 minuten. Boven de cylinder zijn silos gebouwd, waarin het materiaal wordt gestort. In de draairichting van de cylinder hebben deze silos een opening, waarvan zoowel hoogte als breedte verstelbaar is. Door deze opening wordt voortdurend een platte laag bims meegenomen. Het zoodoende van de cylinder afvallende bims wordt in trechters opgevangen, en verder door goten naar elke gewinschte plaats in zee gevoerd.

Tot de uitrusting van het model behoorden nog twee loopwagens, rijdend langs een <sup>m</sup>centimeters verdeelde railbaan, die over het geheele model was aangebracht. Met deze wagens was het mogelijk zich over het geheele model te verplaatsen (figuur 19). Voorts werden zij gebruikt als opstellingsplaats voor het fototoestel, waarmede de later te vermelden foto's van stroomlijnen en dieptelijnen werden gemaakt (figuur 20). Met een van die wagens is ook het model in horizontale richting uitgezet.

De waterstand werd geregeld door regeling van de zijde van de hooge. De hoogte van de waterstand, namelijk ongeveer 75 cm + 2,5/10, dat is enkele centimeters lager dan gemiddeld hoogwater te Ede van Holland. De nauwkeurigheid in de afstelling en handhaving van deze hoogte was 10 à 20 cm in de verloopheid.

De peilen in de punten 1-3 zijn gemeten met peilnaalden, die zeer nauwkeurig aflezen mogelijk maken. Door het optreden van kleine veranderingen in een zoo groot waterniveau met de verloopheid zijn, daardoor de nauwkeurigheid iets, hoewel klein van 0,2 mm, dus in de verloopheid 3 cm, wel kunnen worden. De waterstand op de plaats van de peilnaalden kan echter tot op minder dan 1 cm in de verloopheid worden gemeten door een aantal vaststellingen dikker dikker te doen. Bij dergelijke vaststellingen wordt een aantal peilnaalden langs de afstand te lezen peilnaalden. Bij de bepaling van de

IV. Meetwijzen en nauwkeurigheid.

14. Waterhoeveelheden en waterstanden.

De meetstuw, waarmede de waterhoeveelheid, die naar het model stroomt, wordt gemeten, heeft een horizontale kruin van 70 cm breedte en geen zijdelingsche contractie; de hoogte is 35 cm boven de bodem. De stuw is nauwkeurig geijkt. Bij zorgvuldige instelling is een regeling van de hoeveelheid binnen één procent mogelijk. Deze groote nauwkeurigheid is bij de metingen niet noodzakelijk. Zonder bezwaar kan genoeg genomen worden met een nauwkeurigheid in de ingestelde hoeveelheid van 1 à 2 procent. De aanwezigheid van de drukregelaar waarborgt, dat de eenmaal ingestelde hoeveelheid over lange tijd bewaard blijft.

De meetstuw, waarvan de hoeveelheid water, die door de Waterweg wordt afgevoerd, werd bepaald, is van hetzelfde type (breedte 16,5 cm). De nauwkeurigheid van deze meetstuw is echter niet groot, onder andere door de mindere zorg, die besteed is aan het rustig maken van de waterstroom vóór het meetschotje wordt bereikt. Een fout van 5 à 8 procent is niet onmogelijk.

De waterstand werd ingesteld door regeling van de eindschuiven. De hoogte was steeds dezelfde, namelijk omstreeks 75 cm + N.A.P., dat is enkele centimeters lager dan gemiddeld hoogwater te Hoek van Holland. De nauwkeurigheid in de instelling en handhaving van deze hoogte was 10 à 20 cm in de werkelijkheid.

De peilen in de punten A-L zijn gemeten met peilnaalden, die zeer nauwkeurig aflezen mogelijk maken. Door het optreden van langzame slingeringen die in een zoo groot watervlak niet te vermijden zijn, daalde de nauwkeurigheid iets, zoodat fouten van 0,2 mm, dus in de werkelijkheid 3 cm, wel kunnen voorkomen. De waterstand op de plaats van de peilnaalden kan echter tot op minder dan 1 cm in de werkelijkheid worden gemeten door een aantal waarnemingen achter elkander te doen. Bij dergelijke waarnemingsseries rouleert een aantal waarnemers langs de af te lezen peilnaalden. Bij de bepaling van de ruw-