

Geheele jaar 1915.

	Maassluis.			Vlaardingen.			Rotterdam.			Krimpen.		
	I.	II.	II-I.	I.	II.	II-I.	I.	II.	II-I.	I.	II.	II-I.
		II.	II-I.		II.	II-I.		II.	II-I.			
<i>a</i>	-0.163	-0.176	-0.013	-0.203	-0.227	-0.024	-0.210	-0.243	-0.033	-0.193	-0.217	-0.024
<i>b</i>	+0.019	+0.017	-0.002	+0.026	+0.026	0	+0.043	+0.042	-0.001	+0.084	+0.083	-0.001
<i>c</i>	-5.2	-5.5	-0.3	-1.3	-1.7	-0.4	+7.5	+7.1	-0.4	+19.4	+18.9	-0.5

Geheele jaar 1906.

<i>a</i>	-0.132	-0.154	-0.022	-0.187	-0.222	-0.035	-0.205	-0.248	-0.043	-0.197	-0.243	-0.046
<i>b</i>	+0.023	+0.021	-0.002	+0.037	+0.034	-0.003	+0.067	+0.060	-0.007	+0.099	+0.096	-0.003
<i>c</i>	-4.5	-4.5	0	0.0	-0.1	-0.1	+7.7	+7.3	-0.4	+22.7	+22.7	0

De overeenstemming der waarden I en II is vrij groot, maar hun verschillen zijn toch niet zonder beteekenis. In beide jaren zijn de verschillen in dezelfde richting en ongeveer even groot, er is dus grond om aan te nemen, dat de verschillen van de coëfficiënten *a*, *b* en *c* voor groepen van jaren, waar het ons vooral om te doen is, bij de berekening I ongeveer even groot zullen uitvallen als bij de berekening II. We kunnen dus zonder bezwaar de coëfficiënten *a*, *b* en *c*, van af 1876 met behulp van de waargenomen tijverschillen berekend, beschouwen als of ze berekend waren met de theoretische tijverschillen uit de tafels.

De perioden waarvoor de waarden van *a*, *b* en *c* zijn berekend en welke gekozen zijn zooveel mogelijk vóór en na uitvoering van belangrijke verbeteringswerken, zijn de volgende:

1876—1878	1896—1897
1881—1883	1906—1907
1888—1889	1913—1915.

Verder dan 1876 kon niet worden teruggegaan, daar van vóór 1876 geen voldoende gegevens van hoog- en laagwaterstanden beschikbaar waren. Voor de jaren 1876, 1877, 1878, 1881, 1882 en 1883 moest genoegen genomen worden met de uiteraard minder nauwkeurig waargenomen waterstanden, afgelezen aan de gewone peilschaal te Hoek van Holland, daar de registreerende peilschaal eerst op 1 Augustus 1887 in dienst werd gesteld.

Daar aan de gewone peilschaal alleen dagwaarnemingen werden verricht, was het aantal waarnemingen voor die jaren ook tot de helft beperkt; de splitsing in winter- en zomermaanden is voor die jaren achterwege gelaten om ongeveer een zelfde aantal waarnemingen in de groepen te houden.

In ommestaande tabel zijn voor elke periode de gemiddelden der berekende waarden van *a*, *b* en *c* voor Maassluis, Vlaardingen, Rotterdam en Krimpen opgegeven.

Uit de verandering der waarden van *a*, *b* en *c* in den loop der jaren, valt de verandering van de hoogwaterstanden in gemiddelde omstandigheden en van den invloed van het tijverschil in zee en van de bovenrivier op de hoogwaterstanden, tengevolge van de uitgevoerde verbeteringswerken af te leiden.

De waarde van *c* geeft aan het verschil van H.W. op een der plaatsen op den Rotterdamschen Waterweg met H.W. te Hoek van Holland bij een gemiddeld tijverschil in zee $Y = 165$ c.M. en een gemiddelden rivierstand te Arnhem $A = 900$ c.M. + N.A.P.

Periode.	a.				b.				c.			
	Maassluis.	Vlaardingen.	Rotterdam.	Krimpen.	Maassluis.	Vlaardingen.	Rotterdam.	Krimpen.	Maassluis.	Vlaardingen.	Rotterdam.	Krimpen.
1876—1878	-0.103	-0.163	-0.185	-0.187	0.030	0.055	0.103	0.141	-0.8	-4.4	2.2	-3.0
1881—1883	-0.056	-0.150	-0.234	-0.193	0.026	0.054	0.105	0.153	-1.9	-5.2	0.5	4.9
1888—1889	-0.086	-0.161	-0.205	-0.200	0.028	0.040	0.075	0.116	0.9	-2.7	3.2	15.4
1896—1897	-0.089	-0.164	-0.207	-0.195	0.015	0.034	0.068	0.110	4.9	4.8	8.9	21.3
1906—1907	-0.143	-0.206	-0.230	-0.221	0.021	0.031	0.057	0.096	-5.0	-0.4	6.9	22.1
1913—1915	-0.146	-0.178	-0.189	-0.176	0.021	0.031	0.055	0.089	-4.0	0.0	7.8	20.1

Uit de bovengegeven waarde voor *c* blijkt, dat in dat gemiddelde geval over het algemeen het H.W. op den Rotterdamschen Waterweg van 1876 tot 1897 is gestegen en daarna (van 1897 tot 1915) weer iets is gedaald.

De verandering na 1897 zal met vrij groote zekerheid kunnen worden toegeschreven aan de van 1897—1907 uitgevoerde werken n.m.l. de beperking van het grootscheepsvaarwater door verhooging en aanleg van lage dammen op het benedenste gedeelte van den Waterweg, gepaard met een verruiming van het profiel boven Vlaardingen, twee omstandigheden welke beide een verlaging van het hoogwater rivieropwaarts kunnen hebben veroorzaakt.

Over het geheele tijdvak 1876—1915 genomen, zijn de hoogwaterstanden voor $Y=165$ en $A=900$.

te Maassluis	gedaald met ongeveer	3 c.M.
„ Vlaardingen	gestegen	„ „ 4 „
„ Rotterdam	„ „	„ „ 5 „
„ Krimpen	„ „	„ „ 23 „

Voor Maassluis, Vlaardingen en Rotterdam is deze verandering dus van weinig beteekenis geweest, alleen bij Krimpen is de hoogwaterstand niet onbelangrijk gestegen.

De waarden van *a* geven den invloed van het tijverschil in Zee op de hoogwaterstanden weer. Deze waarden zijn in den loop der jaren slechts weinig veranderd, nu eens een weinig vergroot, dan weer een weinig verkleind; een bepaalde gang is daarin niet waar te nemen.

Over het geheele tijdvak 1876—1915 is de absolute waarde van *a*:

voor Maassluis	toegenomen met	0.043
„ Vlaardingen	„ „	0.015
„ Rotterdam	„ „	0.004
„ Krimpen	afgenomen „	0.011

Daar de grootste afwijking van het gemiddelde tijverschil $Y=165$ c.M. zonder windinvloed op ongeveer 65 c.M. kan worden gesteld, heeft de verandering van de waarde van *a* in het geheele tijdvak, voor Vlaardingen, Rotterdam en Krimpen nagenoeg geen invloed op de hoogwaterstanden, terwijl voor Maassluis de grootste verandering

$$65 \times 0.043 = 2.8 \text{ c.M. bedraagt,}$$

d.w.z. eene verhooging van den hoogwaterstand met ongeveer 3 c.M. bij een kleinste tijverschil en een zelfde verlaging van den hoogwaterstand bij een grootste tijverschil.

In bijlage 16 is nader onderzocht de invloed van tijverschil en halftijstand. Bij dat onderzoek is gebleken, dat een verhooging van de hoogwaterstanden tengevolge van de vergrooting der tijverschillen weder wordt opgeheven door de gelijktijdige verlaging van de halftijstanden.

Uit de cijfers blijkt dus wel, dat de invloed van het tijverschil op de hoogwaterstanden op den Rotterdamschen Waterweg in den loop der jaren niet noemenswaard is gewijzigd.

Anders is het gesteld met den invloed van de bovenrivier, welke invloed wordt weergegeven door de waarden van b .

Voor al de 4 plaatsen is de waarde van b in den loop der jaren vrij geleidelijk afgenomen, hetgeen wil zeggen dat de invloed van de bovenrivier op de hoogwaterstanden op den Rotterdamschen Waterweg is verminderd en dus een hooger stand der bovenrivier thans een geringer verhooging van den hoogwaterstand tengevolge heeft dan vroeger.

Als hoogste rivierstand werd te Arnhem waargenomen in 1883 een stand van 1306 c.M. + N.A.P. Met een dergelijken stand, welke slechts gedurende één korte periode van enkele dagen in mogelijk 30 of 40 jaren voorkomt, behoeft uiteraard praktisch geen rekening te worden gehouden.

Voor een beschouwing van de verandering van de hoogwaterstanden kan als hoogste rivierstand, waarmede rekening is te houden, worden aangenomen een stand van omstreeks 1200 c.M. + N.A.P., welke stand sedert de geregelde waarnemingen van 1861 tot 1915 gemiddeld ongeveer 3 à 4 dagen per jaar is voorgekomen.

Voor dezen rivierstand $A = 1200$, of 300 c.M. boven den gemiddelden rivierstand, bedraagt de verhooging van het hoogwater op den Rotterdamschen Waterweg ten opzichte van den gemiddelden stand, thans en vroeger, als hieronder is aangegeven.

Verhooging hoogwater Rotterdamschen Waterweg tengevolge van een verhooging van den rivierstand te Arnhem met 300 c.M.

Plaats.	In 1876—1878.	In 1913—1915.	Minder in 1913—1915 dan in 1876—1878.
Maassluis . . .	9.0 c.M.	6.3 c.M.	2.7 c.M.
Vlaardingen . .	16.5 „	9.3 „	7.2 „
Rotterdam . . .	30.9 „	16.5 „	14.4 „
Krimpen	42.3 „	26.7 „	15.6 „

Uit deze cijfers blijkt, dat de invloed van de bovenrivier door de uitgevoerde verbeteringswerken, vooral voor de hoogwaterstanden te Rotterdam en Krimpen, belangrijk is verminderd.

Waar de invloed van het tijverschil in den loop der jaren zoo weinig is veranderd, wordt dus de verandering van de hoogwaterstanden in hoofdzaak beheerscht door de veranderingen van b en c te zamen beschouwd.

Ten einde van deze veranderingen te zamen beschouwd een duidelijk

overzicht te krijgen, zijn in onderstaande tabel opgegeven de verschillen van H.W. op de 4 plaatsen Maassluis enz. met H.W. te Hoek van Holland, voor de perioden 1876—'78 en 1913—'15 bij een lagen bovenrivierstand $A = 700$ c.M. + N.A.P. ¹⁾ en bij een hoogen bovenrivierstand $A = 1200$ c.M. + N.A.P., alles bij een gemiddeld tijverschil in zee $Y = 165$ c.M.

Rivierstand te Arnhem.	Periode.	Verschil met H.W. te Hoek van Holland van H.W. te:			
		Maas- sluis.	Vlaar- dingen.	Rotter- dam.	Krim- pen.
		c.M.	c.M.	c.M.	c.M.
$A = 700$ c.M. + N.A.P.	1876—1878	- 6.8	- 15.4	- 18.4	- 31.2
	1913—1915	- 8.2	- 6.2	- 3.2	+ 2.3
$A = 1200$ c.M. + N.A.P.	1876—1878	+ 8.2	+ 12.1	+ 33.1	+ 39.3
	1913—1915	+ 2.3	+ 9.3	+ 24.3	+ 46.8

In ommestaaende figuur zijn, ter verduidelijking, de hoogwaterlijnen volgens de hierboven opgegeven getallen geteekend.

Uit die figuur blijkt dus, dat als gezamenlijk resultaat van al de van 1876—1915 op den geheelen Rotterdamschen Waterweg uitgevoerde verbeteringswerken, waardoor de minste diepte in de doorgaande vaargeul van zee tot Rotterdam is toegenomen:

van ongeveer 46 d.M. onder H.W. in 1876
tot „ 99 d.M. „ „ „ 1915

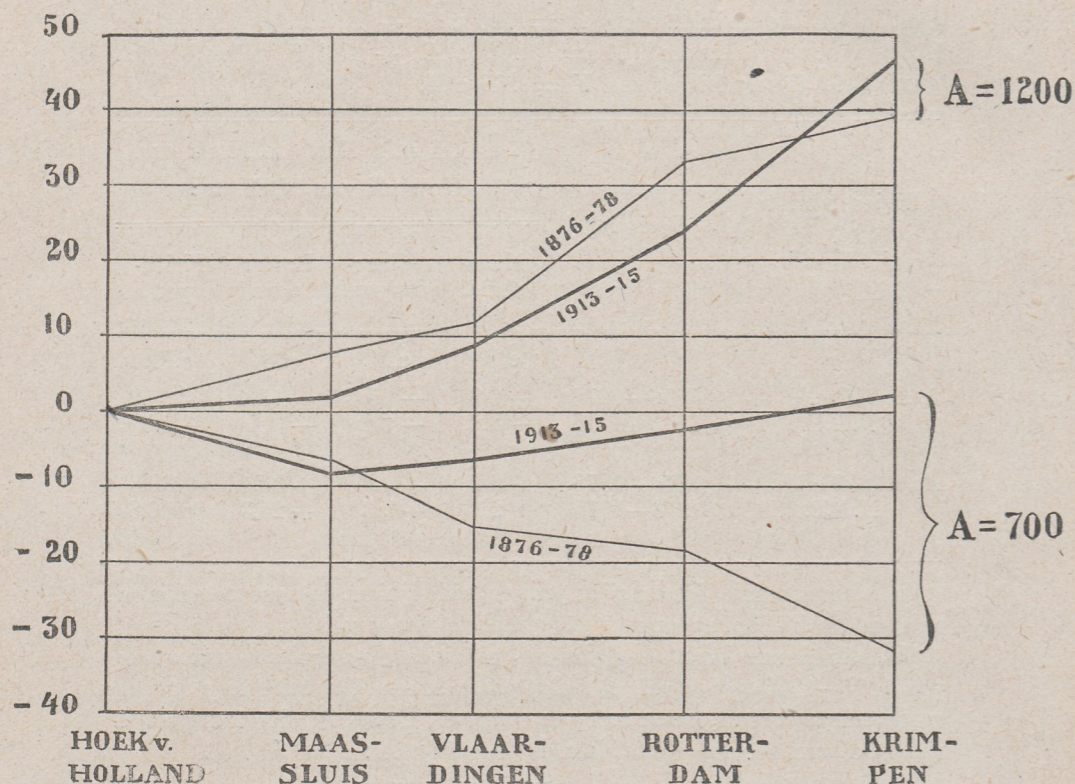
- 1^o. bij een lagen stand der bovenrivier de hoogwaterlijn van Hoek van Holland tot Maassluis een weinig is gedaald en vandaar tot Krimpen is gestegen met een maximum van ruim 33 c.M. bij Krimpen.
- 2^o. bij een hoogen stand der bovenrivier de hoogwaterlijn alleen over een kort gedeelte bij Krimpen is gestegen met een maximum van $7\frac{1}{2}$ c.M. bij Krimpen en verder over den geheelen Waterweg is gedaald met een maximum van ongeveer 9 c.M. bij Rotterdam.

Thans blijft nog te onderzoeken of de bovengenoemde uitkomsten, in hoofdzaak verkregen uit normale vloed, ook in voldoende mate geldig blijven bij stormvloed, waarbij de windinvloed sterk afwijkende waarden van het tijverschil veroorzaakt, het natte profiel van de rivier belangrijk wordt vergroot en ten slotte nog opwaaiing op de rivier zelve kan optreden.

¹⁾ De laagste rivierstand te Arnhem, bij open rivier waargenomen, bedraagt 635 c.M. + N.A.P.

C.M. +
H.W. HOEK v. HOLL.

Hoogwaterlijnen Rotterdamschen Waterweg ten
opzichte van H.W. te Hoek van Holland.



Schaal { lengte 1/400.000.
hoogte 1/10.

Te dien einde zijn uit 131 waarnemingen tijdens de stormvloeden van 1887 tot en met Jan. 1916, bij welke de hoogwaterstanden te Hoek van Holland minstens een hoogte van 180 c.M. + N.A.P. bereikten, de waarden der coëfficiënten a , b en c in de formule voor de waterhoogten te Maassluis, Vlaardingen en Rotterdam berekend op volkomen gelijke wijze als vroeger uit al de waterhoogten gedurende de verschillende jaren is geschied.

De uitkomsten van die berekeningen zijn saamgevat in de volgende tabel, waarin ter vergelijking ook zijn opgenomen de gemiddelde waarden van a , b en c uit al de waterhoogten in het tijdvak van 1888 tot 1915 verkregen.

	Maassluis.			Vlaardingen.			Rotterdam.		
	a .	b .	c .	a .	b .	c .	a .	b .	c .
Uit stormvloedshoogten.	-0.105	+0.013	+2.5	-0.149	+0.013	+3.6	-0.184	+0.029	+9.6
Uit al de waarnemingen.	-0.116	+0.021	-0.7	-0.177	+0.034	+0.1	-0.208	+0.064	+7.2

Uit de vergelijking der beide waarden van denzelfden coëfficiënt blijkt dat de formules voor de hoogwaterstanden in de drie plaatsen ten opzichte van die in de Hoek van Holland tijdens de stormvloeden geheel denzelfden vorm hebben als bij de gewone vloeden en alleen de grootte der coëfficiënten een weinig verschillend is.

In procenten uitgedrukt zijn de verschillen van a hoewel alle in dezelfde richting, echter zoo gering dat practisch de invloed van het tijverschil (uit de tafels) bij storm- en gewone vloeden als gelijk kan beschouwd worden.

De verschillen van b , zijn wat grooter en wijzen er op dat de hogere waterstanden op de bovenrivier op de geheele benedenrivier een geringere verhooging te weeg brengt bij stormvloeden dan bij lagere standen te Maassluis, Vlaardingen en Rotterdam, hetgeen trouwens te verwachten was.

De waarden van c , die doen kennen hoeveel het water te Maassluis, Vlaardingen en Rotterdam hoger staat dan te Hoek van Holland, wanneer het tijverschil en de rivierstand te Arnhem hun gemiddelde waarden hebben, zijn, zooals eveneens te verwachten was, ten gevolge van opwaaiing tijdens de stormvloeden grooter dan onder gewone omstandigheden en hun verschil bedraagt 2 à 3 c.M.

Op de waarde van c , die afgeleid is uit al de waarnemingen gedurende een jaar, zal de wind slechts een geringen invloed hebben, daar hij in den loop van het jaar allerlei waarden verkrijgt, die c zullen verkleinen (oostelijke winden) en c zullen vergrooten (westelijke winden); daar deze laatste echter overheerschend zijn zal c uit alle waarnemingen berekend, een weinig grooter zijn dan c zooals deze onder gemiddelde omstandigheden op volkomen windstille dagen zou worden waargenomen. Hoe groot evenwel c bij volkomen windstille zou zijn, is niet met nauwkeurigheid te bepalen, maar uit verschillende gegevens mag worden afgeleid, dat hare waarde voor Rotterdam ongeveer 6 c.M. zal zijn.

Nu ook voor de stormvloeden bepaald is, hoe de hoogwaterstanden afhangen van het tijverschil en den stand van de bovenrivier, is het mogelijk den invloed van den wind op deze hoogwaterstanden te bepalen. Met behulp van de termen $a(Y-165) + b(A-900)$ kunnen namelijk die hoogwaterstanden herleid worden tot de gemiddelde waarden $Y=165$ en $A=900 + \text{N.A.P.}$ en zoo men deze herleidde waarden vermindert met het verschil c dat onder gemiddelde omstandigheden op windstille dagen tusschen den hoogwaterstand op de waarnemingsplaats en te Hoek van Holland wordt waargenomen (voor Rotterdam + 6 c.M.), mag men de overblijvende waarde als den directen of indirecten invloed van den wind beschouwen. Uit deze gegevens kan dan de afhankelijkheid van den windinvloed van de windkracht en windrichting worden afgeleid, indien bepaald is welke windkracht en windrichting bij elk der hoogwaterstanden moet worden aangenomen.

Het is natuurlijk niet mogelijk streng rekening te houden met al de veranderlijke waarden van richting en kracht van den wind,

welke vóór het hoogwater heeft geheerscht; wij meenden echter als vrij betrouwbare waarden van hun gemiddelden te mogen aannemen de windkracht en windrichting in bijlage 29 opgegeven voor het hoogwater te Hoek van Holland, afgeleid uit de waarden gedurende het tijdvak van het voorafgaande laagwater tot het hoogwater aldaar waargenomen.

Indien men nu de afwijkingen Δ rangschikt naar de richting en kracht van den wind, blijkt het dat voor de hoogwaters te Maassluis, Vlaardingen en Rotterdam, de betrekkingen tusschen de Δ en de windkracht onderling, slechts weinig verschillen, doch dat die betrekking voor Krimpen daarvan veel afwijkt; het is trouwens duidelijk, dat, zoo men hooger op de rivier komt, de windinvloed sterk wordt gewijzigd.

Wij hebben ons dus beperkt tot Rotterdam en voor die plaats de verhooging bepaald, welke bij een bepaalde kracht en richting van den wind gemiddeld wordt te weeg gebracht. De afleiding van de verhooging der waterstanden tengevolge van den wind te Hoek van Holland bij een bepaalde kracht en richting, opgemaakt door den eerstondergeteekende, is gegeven in bijlage 20. Zoo men de verhooging door den wind in die bijlage vermeld, als verbetering aan de waargenomen hoogten aanbrengt, worden voor Rotterdam hunne afwijkingen van de berekende hoogten gemiddeld met 4 c.M. verminderd.

Bij de beoordeeling van de cijfers, waaruit de windinvloed is berekend houde men in het oog, dat is uitgegaan van den gemiddelden wind te Hoek van Holland gedurende het tijdvak van laagwater tot hoogwater, zoodat met veranderingen van den wind gedurende genoemd tijdvak of in het tijdvak tusschen H.W. te Hoek van Holland en H.W. te Rotterdam, geen rekening is gehouden. Bij een voorloopig onderzoek omtrent deze veranderingen bleek dat de groote afwijkingen tusschen waargenomen en berekende waterhoogten daaruit ten deele verklaard kunnen worden. Voor het onderhavige onderzoek werd het evenwel niet noodig geoordeeld hierop verder in te gaan.

Ten einde na te gaan of de gemiddelde afwijking van waargenomen en berekende waterhoogten bij stormvloed in den loop der jaren is veranderd, zijn die gemiddelden Δ gevormd voor 3 groepen van jaren 1887—1896, 1897—1906 en 1907—1916. Zij zijn hier saamgevat met hunne middelbare fouten, ter kenschetsing van hun betrouwbaarheid, het aantal waarnemingen is tusschen twee haakjes bijgevoegd.

1887—1896	1897—1906	1907—1916
$\Delta = + 0.5 \text{ c.M. } \pm 1.6 (33)$	$\Delta = - 1.1 \text{ c.M. } \pm 1.5 (52)$	$\Delta = + 1.7 \text{ c.M. } \pm 1.7 (46)$

Deze cijfers wijzen op eene bij stormvloeden mogelijke uiterst geringe vermeerdering van de stijging boven de berekende waarde.

Met het oog op de middelbare fouten der uitkomsten, kan zij op niet meer dan 1 à 2 c.M. gesteld worden.

Eene vergelijking van de hoogwaterstanden bij stormvloeden in vroegere en latere jaren kan ook op meer eenvoudige, doch minder strenge wijze verkregen worden, door als volgt te werk te gaan.

Noemen wij het verschil H.W. (Rotterdam)—H.W. (Hoek van Holland) volgens de in den aanvang van deze nota gegeven formule D, dan kunnen wij ook zonder eerst den invloed van den bovenrivierstand te Arnhem en dien van het tijverschil te bepalen en te elimineeren, aanstonds de grootheden D voor alle 136 ¹⁾ stormvloeden rangschikken naar de windrichting, gemiddeld tusschen H.W. en de voorafgaande eb te Hoek van Holland waargenomen volgens bijlage 29, en voor iedere windrichting de gemiddelde D_m en de gemiddelde windkracht W_m bepalen. Men vindt dan een grootste waarde $\frac{D_m}{W_m}$ bij Westenwind, naar het Z.W. en N.W. toe vrij regelmatig afnemende waarden, welke ten slotte negatief worden. Corrigeert men nu als eerste benadering elke D met een bedrag $- W \times \frac{D_m}{W_m}$, passende bij de bijbehorende windrichting, dan mogen de overblijvende waarden D' beschouwd worden als in hoofdzaak van windinvloed bevrijd.

Eene rangschikking van de waarden D' naar de hoogere en lagere standen der rivier bij Arnhem levert de gegevens om op dergelijke wijze waarden D'' te berekenen, welke grootendeels van den invloed der bovenrivier zijn bevrijd.

Omdat de waargenomen tijverschillen mede van den wind blijken af te hangen, geeft de rangschikking der grootheden D'' weinig aanleiding om ook voor tijverschil correctie aan te brengen.

De middelwaarde van D'' blijkt nu te bedragen in de perioden:

1887—1896	1897—1906	1907—1916
— 2.0	— 1.2	+ 2.2 c.M.

Ook hier vinden we dus een geringe stijging van het H.W. te Rotterdam, welke in den loop van 20 jaren een bedrag van 4.2 c.M. bereikt, vrijwel dezelfde waarde dus als uit het vorig onderzoek volgde, dat in de berekende waarde voor Rotterdam een stijging van 5 c.M. over 37 jaar gaf voor $Y = 165$ en $A = 900$ en bovendien in de afwijking van de berekening voor stormvloeden Δ nog een aanduiding van een stijging van 1 of 2 c.M. in de laatste 20 jaar. Voor de stijging over het geheele tijdvak 1887—1916 bij hoogwaterstanden aan den Hoek van Holland boven 205 + N.A.P. werd 5.2, voor die bij gemiddelde zeestanden (Halftij) boven 150 + N.A.P.

¹⁾ Bij dit onderzoek zijn 5 stormvloeden, voorgekomen na Januari 1916, meer gebruikt dan bij het voorgaande onderzoek.

werd slechts 1.5 c.M. gevonden, vrijwel dezelfde of geringere waarden dus voor de stijging bij de hoogste vloed. Ook de vermindering in de verhooging van de vloedstanden te Rotterdam door hoge standen der bovenrivier, werd door de rangschikking der waarden D' aangetoond.

De uitkomsten van dit door den tweede ondergeteekende ingestelde onderzoek zijn dus geheel in overeenstemming met de uitkomsten van het eerste onderzoek.

De Voorzitter,

H. G. VAN DE SANDE BAKHUYZEN.

De onder-Voorzitter,

E. VAN EVERDINGEN.

Het Lid,

C. W. LELY.

Leiden,

De Bilt,

Den Haag,

November 1917. (herzien in 1919).

Oplossing der waarden van a , b en c voor Rotterdam uit de 703 vergelijkingen voor het jaar 1915.

Het aantal vergelijkingen is te groot om er de methode der kleinste vierkanten op te kunnen toepassen. Zij zijn dus verdeeld in groepen met kleine, gemiddelde en groote waarden van Y en A , waarvan de grenzen zoo gekozen zijn, dat eenerzijds de coëfficiënten van a en ook die van b in de uiterste groepen niet te weinig verschilden om een goede bepaling van a en b mogelijk te maken, anderzijds het aantal vergelijkingen dezer uiterste groepen niet te gering was. Voor de grenzen van A werden in de wintermaanden 800 c.M. + N.A.P. en 1000 c.M. + N.A.P., in de zomermaanden 870 c.M. + N.A.P. en 930 c.M. + N.A.P. aangenomen; voor Y gedurende het geheele jaar 145 c.M. en 180 c.M.

Zoo men de vergelijkingen met kleine Y en kleine A 1.1 met kleine Y en gemiddelde A 1.2 enz. noemt, zijn de sommen der vergelijkingen in elk der 9 groepen:

$$\begin{array}{r} 1.1 - 2045 a - 5674 b + 56 c = + 780 \\ 1.2 - 2168 a + 634 b + 71 c = + 1026 \\ 1.3 - 1669 a + 7303 b + 48 c = + 1048 \\ 2.1 - 308 a - 10153 b + 97 c = + 418 \\ 2.2 - 330 a + 971 b + 169 c = + 960 \\ 2.3 - 35 a + 13714 b + 112 c = + 1538 \\ 3.1 + 679 a - 2371 b + 29 c = + 53 \\ 3.2 + 2287 a + 707 b + 85 c = + 69 \\ 3.3 + 851 a + 5220 b + 36 c = + 347 \end{array}$$

Zoo men de sommen 1.1 + 1.2 + 1.3 en 3.1 + 3.2 + 3.3 vormt, heeft men:
 $-5882 a + 2263 b + 175 c = + 2854$ en $+ 3817 a + 3556 b + 150 c = + 363$
 of $- 33.6 a + 12.9 b + c = 16.3 (A)$ + $25.4 a + 23.7 b + c = 2.4 (B)$
 en $(A) - (B)$ geeft $- 59.0 a - 10.8 b = 13.9 \dots (C)$

Vormt men de sommen 1.1 + 2.1 + 3.1 en 1.3 + 2.3 + 3.3 zoo verkrijgt men:
 $- 1674 a - 18198 b + 182 c = + 1145$ en $- 853 a + 26237 b + 196 c = + 2933$
 of $- 9.2 a - 100 b + c = + 6.3 (D)$ en $- 4.4 a + 133.9 b + c = + 15.0 (E)$
 en voor $(D) - (E)$: $- 4.8 a - 2339 b = - 8.7 \dots (F)$

Uit (C) en (F) volgt: $a = - 0.243$, $b = + 0.042$

De som van al de vergelijkingen 1.1 + 1.2 + 1.3 + 2.1 + ... + 3.3 geeft $- 2738 a + 10351 b + 703 c = + 6133$
 of $c = 8.7 + 3.9 a - 14.7 b \dots (G)$

De waarden van a en b in (G) gesubstitueerd geeft:
 $c = + 7.1$.

De vergelijking van Rotterdam 1915 wordt dus:
 $H.W.(Rott) - H.W.(Hoek v. Holl.) = - 0.243 (Y - 165) + 0.042 (A - 900) + 7.1 \text{ c.M.}$

**Afleiding van de betrekking tusschen de waterhoogten
bij stormvloeden en de kracht en richting van den
wind aan den Hoek van Holland.**

De invloed van den wind op het verschil tusschen de hoogwaterstanden aan de getijmeters te Rotterdam en te Hoek van Holland, tijdens de stormvloeden gedurende het tijdvak 1887—1916, is gelijk gesteld aan de waargenomen waarde van dat verschil verminderd met de waarde berekend volgens de formule:

$$H.W. \text{ Rott.} - H.W. \text{ Hoek van Holland} = a(Y-165) + b(A-900) + c$$

waarin a en b de coëfficiënten zijn van den invloed van het tijverschil en van den rivierstand te Arnhem, uit de gezamenlijke stormvloeden gedurende dit tijdvak afgeleid, en c het verschil in hoogwater op beide plaatsen voor $Y = 165$ en $A = 900$ op windvrije dagen voorstelt. Voor Rotterdam is als de meest waarschijnlijke waarde van c 6 c.m. aangenomen.

Voor de richting en kracht van den wind zijn aangenomen de waarden, afgeleid uit de waarnemingen aan den windmeter te Hoek van Holland, en volgens de Beaufortschaal gepubliceerd in bijlage 29.

De windeffecten zijn verdeeld in 4 groepen en wel:

1e groep	windkracht	0—7.5
2e	”	8.0
3e	”	8.5 en 9.0
4e	”	9.5 en grooter.

Hoewel men zeker niet mag aannemen dat in het algemeen windkracht en windvloed Δ met elkander evenredig zijn, is ondersteld dat binnen elk dier vier groepen, met voldoende benadering, die evenredigheid mag worden aangenomen. Voor elk dier groepen is nu voor Rotterdam de gemiddelde waarde van de windkracht k en van den windinvloed Δ in c.m., benevens het aantal waarnemingen n opgegeven.

Z.W.		W.Z.W.		W.		W.N.W.		N.W.		N.N.W.		N.		N.N.O.	
k.	Δ n.	k.	Δ n.	k.	Δ n.	k.	Δ n.	k.	Δ n.	k.	Δ n.	k.	Δ n.	k.	Δ n.

1e Groep.

4.5 — 11.1 1 | 5.5 — 2.4 4 | 7.1 + 2.7 9 | 6.8 + 0.3 14 | 6.9 — 2.3 10 | 6.8 — 3.2 5 | 6.5 — 3.7 1 | 6.0 — 15.3 1

2e Groep.

— | 8.0 + 7.8 2 | 8.0 + 5.2 9 | 8.0 — 1.3 11 | 8.0 + 0.9 4 | 8.0 — 12.0 1 | — | —

3e Groep.

— | 8.9 + 9.2 4 | 8.7 + 8.1 9 | 8.8 + 9.3 15 | 8.8 — 2.5 6 | — | 8.5 + 18.0 1 | —

4e Groep.

— | 10.3 + 19.3 2 | 10.0 + 18.0 7 | 10.2 + 3.9 9 | 10.1 + 7.7 6 | — | — | —

In de eerste plaats is uit deze getallen de betrekking afgeleid tusschen de windkracht en den windinvloed Δ , waarbij men is uitgegaan van de geoorloofde onderstelling, dat de verhoudingen tusschen de effecten teweeggebracht door bepaalde windkrachten, bij de vier windrichtingen W.Z.W., W., W.N.W. en N.W. dezelfde waarden zullen hebben. Is dus bij eene richting b.v. W.Z.W. bij verschillende windkrachten $k_1, k_2, k_3, k_4 \dots$ de windinvloed $a_1 k_1, a_2 k_2, a_3 k_3, a_4 k_4$ enz., dan zal deze bij de 3 andere windrichtingen zijn $p a_1 k_1, p a_2 k_2, p a_3 k_3, p a_4 k_4$ enz., $q a_1 k_1, q a_2 k_2$ enz. De gemiddelde windinvloed bij eene zelfde kracht in de 4 genoemde richtingen is dan $\frac{1}{4} (1 + p + q + r) a_1 k_1, \frac{1}{4} (1 + p + q + r) a_2 k_2$ enz., of, als wij de onbekende grootheid $\frac{1}{4} (1 + p + q + r)$ door P voorstellen, $P a_1 k_1, P a_2 k_2, P a_3 k_3, P a_4 k_4$ enz. Door eene kromme lijn te construeeren, waarvan de krachten k_1, k_2, k_3 enz. de abscissen en de bekende gemiddelde windinvloeden $P a_1 k_1, P a_2 k_2$ enz. de ordinaten zijn, kan men van elke kracht k_n den gemiddelden windinvloed $P a_n k_n$ bepalen en dus ook de verhoudingen $\frac{a_1 k_1}{a_n k_n}, \frac{a_2 k_2}{a_n k_n}$ enz.

van den windinvloed van eene willekeurige windkracht in eene bepaalde richting tot den windinvloed van eene andere windkracht in diezelfde windrichting. Op deze wijze kan men door het opnemen in de berekening van de uitkomsten in alle richtingen verkregen de verhouding tusschen de windeffecten bij verschillende windkrachten in een zelfde richting met grooter nauwkeurigheid bepalen.

Had men bij het middelen der 4 waarden $a_1 k_1, p a_1 k_1, q a_1 k_1$ en $r a_1 k_1$ of $a_2 k_2, p a_2 k_2, q a_2 k_2$ en $r a_2 k_2$ enz. hun gewichten evenredig gesteld aan het aantal waarnemingen n_1, n_2, n_3 enz. waarop zij berusten en die bij de verschillende richtingen niet dezelfde zijn, dan

had men voor die gemiddelden de waarden $\frac{1}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times$

$(n_1 + n_2 p + n_3 q + n_4 r) a_1 k_1$ enz. verkregen, waarin de coëfficiënten van $a_1 k_1, a_2 k_2$ enz. in het algemeen niet gelijk zijn, waarden dus die onderling niet evenredig zijn met $a_1 k_1, a_2 k_2$ enz.

Voor de gemiddelden van den invloed van dezelfde windkracht in de vier richtingen W.Z.W., W., W.N.W. en N.W., waarbij aan den windinvloed in de richting W.Z.W. wegens het gering aantal waarnemingen, het gewicht $\frac{1}{2}$ is gegeven, vindt men als $\frac{0.5 + p + q + r}{3.5}$ gelijk P gesteld wordt:

$k_1 = 6.6$	$k_2 = 8.0$	$k_3 = 8.8$	$k_4 = 10.1$
$P a_1 k_1 = -0.1$	$P a_2 k_2 = +2.5$	$P a_3 k_3 = 5.6$	$P a_4 k_4 = 11.2$

Gebruik makende van deze gegevens en van het feit dat $P a k$ tegelijk met k nul is, is op bijlage 84 eene kromme lijn geteekend (betrekking tusschen windinvloed en windkracht in dezelfde richting) waaraan de waarde van $P a k$ voor elke kracht k kan worden ontleend, en dus ook de verhoudingen $\frac{a_1 k_1}{a k}, \frac{a_2 k_2}{a k}$ enz. van de windeffecten van de krachten k_1, k_2 enz. tot het windeffect van een normale kracht k .

Met die verhoudingsgetallen kunnen al de waargenomen windeffecten bij eene bepaalde windrichting tot het windeffect van een zelfde normale kracht worden herleid, en daarvan de gemiddelde waarden worden opgemaakt. Voor die normale kracht is 9.0 aangenomen. Bij het vormen dier gemiddelde waarden zij men er op bedacht dat de gewichten van elk der individueele waarden evenredig zijn met het aantal der waarnemingen en omgekeerd evenredig met de macht van den herleidingsfactor.

Voor de aldus op de kracht 9.0 herleide windeffecten, verkrijgt men dan de volgende waarden:

W.Z.W.	W.	W.N.W.	N.W.
+10.4	+10.8	+4.6	+2.9

De tweede figuur op bijlage 84 (betrekking tusschen windinvloed en windrichting bij kracht 9.0) geeft eene graphische voorstelling dezer grootheden, waaruit men met grooter juistheid dan uit de afzonderlijke waarnemingen, de herleide windeffecten voor elk der vier windrichtingen kan afleiden.

Uit de eerste kromme van bijlage 84 kan, zooals boven is aangehouden, de verhouding van de windeffecten voor eene willekeurige kracht en die van de normale kracht 9.0 worden bepaald, zoodat men nu al de gegevens bezit om, voor elke kracht, voor ieder der vier windrichtingen de hieronder vermelde windeffecten op te maken.

Windkracht.	W.Z.W.	W.	W.N.W.	N.W.
	c.m.	c.m.	c.m.	c.m.
6.0	+ 0.0	0.1	0.0	0.0
6.5	+ 0.1	0.2	0.1	0.0
7.0	+ 0.4	+ 0.5	+ 0.3	+ 0.1
7.5	+ 1.8	+ 2.0	+ 1.3	+ 0.4
8.0	+ 3.8	+ 4.2	+ 2.7	+ 0.8
8.5	+ 6.6	+ 7.3	+ 4.7	+ 1.4
9.0	+ 9.8	+ 10.8	+ 7.0	+ 2.0
9.5	+ 12.7	+ 14.0	+ 9.1	+ 2.6
10.0	+ 16.3	+ 17.9	+ 11.6	+ 3.3
10.5	+ 19.9	+ 21.9	+ 14.2	+ 4.0

Deze grootheden zijn met tegengesteld teeken als correcties aan de afwijkingen Waarneming—Berekening aan te brengen. Voor de enkele stormdagen met eene windrichting buiten deze tabel vallende, zijn de correcties, die over het algemeen gering waren, zoo goed mogelijk met behulp der voorhanden zijnde waarnemingen, in aansluiting aan de medegedeelde waarden afgeleid.

Hoewel de grootte van den invloed in deze tabel tot in 10^e deelen van centimeters is opgegeven, zijn fouten van een paar centimeters, vooral bij de groote windinvloeden, zeer wel mogelijk.

De Voorzitter der Commissie,

H. G. v. D. SANDE BAKHUYZEN.

DE BILT, 23 November 1917.

1. In een vroegere nota ¹⁾ over den windinvloed bij stormvloedstanden had ondergeteekende als eerste benadering den windinvloed evenredig aan de windkracht in BEAUFORT-eenheden gesteld, wat des te meer voor de hand lag, waar ook de windopgaven in (bijlage 29) die bij de bewerking zouden dienen, gemiddelden over een vrij groot aantal uren voorstellen. Intusschen is het bij berekeningen, door den Voorzitter uitgevoerd, en besprekingen daarover met ondergeteekende, nuttig gebleken, verder te gaan en voor elke windkracht een afzonderlijken factor te bepalen, met behulp waarvan voor elke richting de verhooging van den hoogwaterstand bijv. te Rotterdam kan worden bepaald. Toen bovendien bleek, dat in de tabel van de verschillen tusschen H.W. te Rotterdam en Hoek van Holland bij stormvloeden een vrij belangrijke teekenfout tot dusver onopgemerkt was gebleven (30 September 1911 stond — 27 inplaats van + 27), en de uit deze tabel door ondergeteekende afgeleide uitkomsten toch herzien moesten worden, is de geheele berekening herhaald en daarbij een minder eenvoudige invloed van de windkracht vooropgesteld.

2. Gebruik makende van de grafische voorstelling van den invloed der bovenrivier bij de vorige nota, die als bijlage 85 is opgenomen, werden eerst aan alle verschillen tusschen H.W. te Rotterdam en te Hoek van Holland correcties aangebracht voor dien invloed. Zooals nader zal blijken, heeft bovengenoemde teekenfout geen merkbaren invloed op deze correcties uitgeoefend. Voor tijverskil werd voorloopig geen correctie aangebracht.

De zoo verkregen gecorrigeerde verschillen werden nu evenals de vorige maal naar de windrichting gerangschikt, maar voor iedere richting nu drie groepen gevormd voor windkrachten van 7, 7⁵—8⁵ en 9 en hooger. De gemiddelde windkracht voor deze groepen bleek steeds minder dan 1 BEAUFORT van resp. 6, 8 en 10 af te wijken, en door een evenredige correctie werden de gevonden gemiddelde verschillen tot die voor windkracht 6, 8 en 10 herleid.

¹⁾ Niet onder de bijlagen opgenomen.

De uitkomst volgt hieronder.

Tabel I.

Windkracht	ZW.	WZW.	W.	WNW.	NW.	NNW.	N.	NNO.
6	(-1.3(1))	4.4(5)	6.9(6)	2.4(8)	-1.3(6)	-1.1(5)	(-0.9(1))	-19.0(1)
8	—	(2.0)(2)	11.2(19)	7.4(26)	2.3(10)	(-10.8(2))	—	—
10	—	19.9(7)	21.4(9)	14.8(17)	11.9(10)	—	—	—

Om hieruit de correcties voor een enkel geval af te leiden is ondersteld, zooals ook de Voorzitter heeft gedaan, dat voor alle windrichtingen de windinvloed eenzelfde functie van de windkracht is, voor iedere richting met een eigen standvastigen factor vermenigvuldigd.

Om een benaderde waarde dier functie voor elke windkracht te vinden zijn nu voor de windkrachten 6, 8 en 10 de cijfers van tabel I voor WZW. tot NW. met het aantal waarnemingen vermenigvuldigd, opgeteld en door het totaal aantal gedeeld.

Dit geeft de vette cijfers in onderstaand tabelletje waarbij voor

6	7	8	9	10	11
3.2	5.0	7.6	11.5	16.3	22.0

de oneven windkrachten grafisch passende cijfers werden geïnterpoleerd, voor windkracht 11 geëxtrapoleerd.

Om hierbij passende factoren voor elke windrichting vast te stellen werden deze vette cijfers op die van tabel I gedeeld, en uit de quotiënten voor elke windrichting een gemiddelde gezocht, door elk quotiënt het gewicht van het aantal waarnemingen te geven.

Hieruit volgt de onderstaande windinvloedstabel.

Tabel II.

Windkr.	WZW.	W.	WNW.	NW.	NNW.
6	3.6	5.0	2.9	0.9	- 2.1
7	5.8	7.9	4.5	1.5	- 3.4
8	8.7	12.0	6.8	2.3	- 5.0
9	13.2	18.2	10.3	3.5	- 7.7
10	18.8	25.8	14.7	4.9	- 11.0
11	25.3	34.8	19.8	6.6	- 14.7

Voor ZW. 6, N. 6 en NNO. 6 werden op grond van een grafische voorstelling de waarden 0, - 6 en - 10 aangenomen.

Over het algemeen sluiten deze cijfers zich bevredigend bij de waarnemingen aan; ofschoon tegen de wijze van berekening bezwaren kunnen worden ingebracht, is ondergeteekende niet overtuigd dat bij een strengere rekenwijze een bruikbaarere uitkomst te verkrijgen zou zijn. Voor de weinige gevallen, waarin windkrachten beneden 6 voorkwamen, kan men gemakkelijk bij deze tabel aansluitende waarden voor de correctie bepalen, en voor de nader te bespreken rangschikkingen is dat voldoende nauwkeurig. Anderzijds gelden onze windcorrecties uit den aard der zaak alleen voor stormvloedtoestanden; wij hebben met opzet geen gebruik gemaakt van eenige onderstelling omtrent de waarde, die het verschil H.W. Rotterdam — H.W. Hoek van Holland bij normale toestanden zonder wind zou moeten hebben.

Dat deze windcorrecties, hoewel zij over het algemeen denzelfden gang toonen, afwijken van die door den Voorzitter in bijlage 20 bepaald, wordt behalve door de minder strenge rekenwijze veroorzaakt doordat de Voorzitter op de verschillen H.W. Rotterdam — H.W. Hoek van Holland eerst correcties voor tijverschil en rivierstand te Arnhem heeft toegepast, uit waarnemingen bij normale vloed en stormvloed afgeleid, terwijl ondergeteekende alleen een uit de waarnemingen bij stormvloed zelve afgeleide correctie voor den rivierstand te Arnhem toepaste.

Met behulp van tabel II werd voor elken stormvloed een windcorrectie bepaald en deze van het voor invloed van de bovenrivier reeds gecorrigeerd verschil (H.W. Rotterdam — H.W. Hoek van Holland) D' afgetrokken. Daarna werden de in de vroegere nota gegeven rangschikkingen B, C, D en II herhaald. De uitkomsten worden hierbij verkort weergegeven.

De gemiddelden van de voor windinvloed gecorrigeerde waarden van D' zijn telkens onder D'' opgenomen.

STAAT B.

Rangschikking naar hoogwaterstand Hoek van Holland.

Hoogte + N.A.P. van H.W. te Hoek van Holland.	1887—1896		1897—1906		1907—1916		1887—1916	
	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)
180—190	12	- 1.1	17	+ 0.4	17	+ 1.5	46	+ 0.4
190—205	9	- 1.8	13	- 2.6	22	+ 2.8	44	+ 0.1
boven 205	12	- 3.1	20	- 1.6	14	+ 2.1	46	- 0.9
180—328	33	- 2.0	50	- 1.2	53	+ 2.2	136	- 0.1

STAAT C.

Rangschikking naar Waterstand Arnhem.

Waterstand te Arnhem 8 u. v.m. op voorafgaand etmaal.	1887—1896		1897—1906		1907—1916		1887—1916	
	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)
onder 777	1	-9.0	12	-1.9	17	+1.0	30	-0.5
777—876	17	-3.9	18	+2.7	8	+4.0	43	+0.3
877—976	10	-0.3	15	-3.1	14	+2.1	39	-0.5
boven 976	5	+2.6	5	-7.8	14	+2.7	24	+0.5
695—1213	33	-2.0	50	-1.2	53	+2.2	136	-0.1

STAAT D.

Rangschikking naar tijvershil.

Tijvershil Hoek van Holland.	1887—1896		1897—1906		1907—1916		1887—1916	
	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)
minder dan 180	11	+1.4	15	+4.3	15	+7.5	41	+4.5
180—230	14	-0.4	23	-4.5	21	-1.0	58	-2.3
meer dan 230	8	-9.4	12	-1.7	17	+1.5	37	-1.9
50—365	33	-2.0	50	-1.2	53	+2.2	136	-0.1

STAAT II.

Rangschikking naar gemiddelden zeestand (halftij).

Halve som H.W. en voorafgaand L.W. te Hoek van Holland.	1887—1896		1897—1906		1907—1916		1887—1916	
	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)	Aantal.	D'' (c.M.)
onder 100	15	-4.1	21	-1.6	29	+1.1	65	-0.9
100—150	16	-1.3	25	-2.8	20	+3.0	61	-0.9
boven 150	2	+8.5	4	+10.8	4	+11.0	10	+10.4
49—216	33	-2.0	50	-1.2	53	+2.2	136	-0.1

Wij hebben aan deze tabellen slechts weinig toe te voegen.

De geringe stijging van de hoogwaterstanden te Rotterdam sinds 1887 is nog iets duidelijker voor den dag gekomen, en wordt vooral bevestigd door het sterk overwegen van — teekens in de kolommen 1887—1896, van + teekens in de kolommen 1907—1906.

In tegenstelling met de eerste bewerking is deze stijging thans ook in de waarden van D'' voor H.W. te Hoek van Holland boven 205 en gemiddelde zeestanden boven 150 terug te vinden; geruststellend blijft dat de stijging voor deze gevallen even bescheiden is als in het gemiddelde van alle gevallen.

De kolommen 1887—1916 toonen aan, dat geen van de grootheden waarnaar de rangschikkingen werden ondernomen een invloed van beteekenis op de waarden van D'' heeft. Wat staat C betreft wil dit zeggen, dat de correctie voor den invloed der bovenrivier, die aan de waarden D'' reeds is aangebracht, geen wijziging behoeft. De stijging in de kolom 1887—1896 tegenover de daling in de middelste groepen van de kolommen 1897—1906 en 1907—1916 wijst op de afnemende invloed van de bovenrivier op de hoogwaterstanden in den Waterweg, die ook van andere zijde is aangetoond.

Staat D laat een geringen invloed van de waargenomen tijverschillen als mogelijk uitkomen; Staat II wijst schijnbaar op een iets grooteren invloed van den gemiddelden zeestand. Door verdeling in meer groepen bleek intusschen, dat het toeval in dit laatste geval een rol gespeeld heeft en de werkelijke invloed waarschijnlijk niet meer bedraagt dan een 5 c.M. op 70 à 80 c.M. verschil in den gemiddelden zeestand, en eerst een grooter aantal waarnemingen hieromtrent zekerheid zou kunnen verschaffen.

De Onder-Voorzitter,
E. VAN EVERDINGEN.

**Bijdrage tot de kennis omtrent de stuwing op den
Rotterdamschen Waterweg.**

1.

De berekeningen waarop het volgende onderzoek is gebaseerd, zijn alleen verricht voor Hoek van Holland en Rotterdam; hierbij is aangenomen, dat:

a. Veranderingen in de getijconstanten op den Waterweg tusschen 1889 en 1917 verwaarloosd mochten worden, omdat, indien veranderingen zijn voorgekomen, deze zeer klein zijn en geen invloed hebben kunnen uitoefenen op het resultaat van dit onderzoek; en

b. Wijziging der getijconstanten tijdens hooge stormvloed onbetekenend zijn; voor zoover den tijd van astronomisch H.W. en L.W. betreft, blijkt dit onmiddellijk uit de waargenomen waterstandskrommen, terwijl uit theoretische overwegingen volgt dat veranderingen in amplitude niet groot kunnen zijn.

Voor ons onderzoek dienden alleen die stormvloed tusschen 1889 en 1918 waarbij te Hoek van Holland een stand werd bereikt hooger dan 225 c.M. + N.A.P. Wij berekenden van uur tot uur de stuwing, zijnde het verschil, tusschen den uit astronomische gegevens berekenden en den waargenomen waterstand en noteerden windrichting en kracht zooals die zijn waargenomen op de lichtscheper Schouwenbank en Maas en op het Directiegebouw te Hoek van Holland, gedurende ongeveer 10 uur vóór en na het oogenblik van grootste stuwing. Uit deze gegevens werd voor dat tijdvak van ongeveer 20 uur de „wind op de kust”; uit eene combinatie van wind op de Oostkust van Engeland ¹⁾ en wind op de kust de „wind op de Noordzee” berekend.

Deze gemiddelden hebben natuurlijk verschillende richtingen en zijn daarom niet direct vergelijkbaar; bekend is dat voor den plaatselijken wind de gunstigste richting voor stuwing op onze kust is NWtW = W33° N²⁾; de gevonden gemiddelden worden meer vergelijkbaar door ze op deze richting te projecteeren.

¹⁾ De tijd waarop de windwaarnemingen in Engeland en op de lichtscheper werden verricht maakte het niet altijd mogelijk dat voor elken stormvloed de wind over hetzelfde tijdvak werd gemeten; de tijd schommelt tusschen 9 en 11 uren vóór en na de grootste stuwing.

²⁾ Uit theoretische overwegingen was het wellicht beter geweest de Noordzeewind te projecteeren op de richting W 23° N; het verschil dat hierdoor in de onderlinge verhouding en in de absolute waarde der projecties ontstaat is onbetekenend.

Deze projecties zijn in figuur 1 en 2 gebruikt en de daar en in onderstaande tabel gegeven gemiddelde stuwung is die gedurende 10 uur vóór en nà de grootste stuwung.

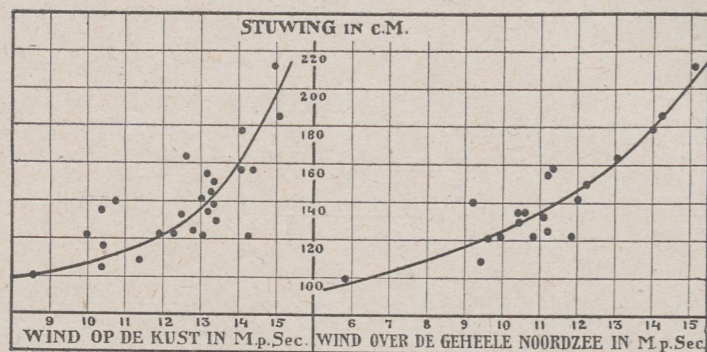


Fig. 1.

Fig. 2.

Tabel I.

	Projectie wind op W 33° N in m p. s.	Stuwung.		Afwijking.	
		Kust.	Noordzee.	Noordzee- wind.	Stuwung.
9 Februari 1889	14,1	14,0	178	2,8	36
23 December 1894	12,6	13,0	164	1,8	22
23 Januari 1895	10,0	9,9	122	-1,3	-20
6 December 1895	13,0	12,0	142	0,8	0
7 December 1895	13,4	12,2	150	1,0	8
19 Juni 1897	14,3	9,6	121	-1,6	-21
29 November 1897	15,1	14,2	185	3,0	43
3 Februari 1898	12,5	11,1	133	-0,1	-9
13 Januari 1899	8,6	5,8	100	-5,4	-42
26 Januari 1902	12,8	11,2	125	0	-17
10 October 1903	11,4	9,4	109	-1,8	-34
22 November 1903	13,4	10,4	130	-0,8	-12
30 December 1904	13,2	11,2	155	0	13
7 Januari 1905	10,8	9,2	140	-2,0	-2
13 Maart 1906	13,2	10,6	135	-0,6	-7
21 Februari 1907	10,4	10,4	135	-0,8	-7
30 September 1911	13,1	11,8	122	0,6	-20
9 April 1912	11,9	10,8	123	-0,4	-19
11 November 1912	14,4	11,3	158	0,1	16
13 Januari 1916	15,0	15,2	212	4,0	70
25 November 1917	13,3	Lichtsch. en	138		
25 November 1917	12,3	Engeland	123		
2 December 1917	14,4	ontbreken.	158		

Tusschen den wind op de kust en den Noordzeewind eenerzijds, de gemiddelde stuwung anderzijds, blijkt een innig verband te bestaan. Vooral bij den Noordzeewind komt zulks duidelijk uit, hier is de spreiding der gemiddelde stuwung veel kleiner dan bij den wind op de kust; eene illustratie der reeds vroeger uitgesproken meening, dat de stuwung veroorzaakt wordt zoowel door verwijderde invloeden als door plaatselijken storminvloed, deze zijn in den Noordzeewind als het ware samengevat.

Uit de overeenkomstige afwijkingen van Noordzeewind en stuwung ten opzichte van hunne gemiddelde waarde vinden wij als correlatie- en bijbehorenden onzekerheidsfactor:

$$r = + 0.918$$

$$f = \pm 0.024$$

Behalve die Noordzeewind zijn dus nog andere factoren werkzaam, hun invloed is echter klein en zinkt in het niet tegenover dien van den wind.

Verder werd onderzocht op welke uren, gerekend ten opzichte van astronomisch hoog- en laagwater te Hoek van Holland, de grootste stuwung is voorgekomen (Tabel II regel a).

Voor het maken van gevolgtrekkingen is dit aantal te klein, het kan worden aangevuld met die (regel b) uit een ander onderzoek ¹⁾ op hetzelfde gebied, wij komen dan tot onderstaand resultaat (regel c).

Tabel II.

	Uren vóór.			L.W.	Nà en vóór.					H.W.	Nà.		
	III	II	I		I	II	III	II	I		I	II	III
a	6	2	2	2	3	2	2	3	1	—	1	3	6
b	1	—	3	2	1	5	5	9	5	8	7	5	1
c	7	2	5	4	4	7	7	12	6	8	8	8	7

Op het eerste gezicht zou men geneigd zijn hieruit af te leiden dat te Hoek van Holland de grootste stuwung een zekere voorkeur aan den dag legt om met astronomisch laagwater, in de Zuiderzee daarentegen om met hoogwater samen te vallen en wel in die mate dat de gegevens van Hoek van Holland en Zuiderzee te zamen genomen laatstgenoemden indruk ook maken.

Dit is slechts schijn en een gevolg van ons uitgangspunt om voor den Hoek hooge, voor de Zuiderzee alleen zeer hooge stormvloeden te beschouwen.

¹⁾ Stormvloeden langs de Noordzee- en de Zuiderzeekusten, P. H. GALLÉ 1917. Uitgave van de Zuiderzeevereeniging Leiden 1917.

Hierdoor wordt in de eerste plaats het aantal gevallen klein en het toeval zal dus een groote rol spelen. Naar onze meening zal een dergelijke statistiek steunend op meer gegevens voor Hoek van Holland een reeks getallen geven, zooals voor de Zuiderzee gevonden is en de schijnbare bevoorrechtiging der uren in den omtrek van het astronomisch hoogwater blijft bestaan.

Die hooge en zeer hooge standen welke wij gebruikten voor ons onderzoek kunnen ontstaan zijn uit twee combinaties; te weten:

1. zeer groote stuwing met een klein negatief of positief bedrag als gevolg van het eb- en vloedverschijnsel;
2. minder groote stuwing met een aanzienlijk positief bedrag als gevolg van den vloed.

Uit den aard der zaak zal de onder 1 genoemde combinatie zeldzaam zijn, de onder 2 genoemde oorzaak daarentegen veel meer voorkomen.

Valt de minder groote stuwing samen met het ebtijd, dan geeft de combinatie een lagen waterstand en door onze statistiek alleen te laten loopen over hooge stormvloed, blijven die gevallen achterwege maar komt een overmaat van matige grootte stuwings in de omgeving van astronomisch hoogwater terecht.

Uit Tabel II mag de gevolgtrekking worden gemaakt, dat de hoogste stuwing kan voorkomen met astronomisch hoogwater, niet dat zij er bij voorkeur mede samenvalt en dit is ook niet te verwachten van deze twee grootheden, die in oorsprong noch wezen eenig verband met elkaar hebben.

Indien men het bedrag berekent dat de stuwing gedurende een stormvloed van uur tot uur bereikt dan ziet men daarin eene vrij getrouwe afspiegeling van richting en kracht van den heerschenden storm.

De grootste stuwing valt samen met, of een paar uur later dan, het hoogtepunt van den heerschenden storm; als hoogtepunt beschouwende dat punt waar volgens het reeds genoemde onderzoek der leden wijlen STEYN PARVÉ, VAN DER STOK en PHAFF de omstandigheden het gunstigt zijn om groote stuwing te veroorzaken. Het is duidelijk dat een stormgebied of een merkwaardig punt van dat stormgebied geen voorkeur aan den dag zal leggen een of ander peilschaalstation tegelijk met eene bepaalde getijphase voorbij te trekken. Het komt ons dan ook voor dat uit het bovenstaande de gevolgtrekking moet worden gemaakt dat eene sterke uitbreiding van materiaal, waarbij dan ook de lagere stormvloed worden opgenomen, zal aantoonen, dat de grootste waarde welke door de stuwing in verschillende stormen bereikt wordt, regelmatig over de verschillende getijuren verdeeld zal zijn. De grootste stuwing komt dus, gerekend ten opzichte van astronomisch hoog- en laagwater op *alle* uren voor.

Om dus den hoogst mogelijken waterstand op een of ander punt van den Waterweg aan te geven, hebben wij eenvoudig de grootste

mogelijke stuwing te voegen bij een hoog springtij; het laatste is onmiddellijk te berekenen en er blijft dus over, na te gaan wat het grootste bedrag is dat die stuwing kan bereiken.

Langs empirischen weg zal getracht worden dit bedrag te benaderen.

Het blijkt dat bij de stormvloed van 23 December 1894, 23 Januari 1895 en 13 Januari 1916 achtereenvolgens 266, 264 en 280 c.m. stuwing voorkwam, bedragen welke de andere maxima ver achter zich laten (Tabel III en Fig. 3).

Het bijzondere karakter der stuwing tijdens de verschillende stormvloed blijkt in getrouwe overeenstemming te zijn met bijzonderheden van den storm, zooals door een paar voorbeelden zal worden toegelicht.

Bij den storm van 9 Februari 1889 die zoowel een hoog wind- als een hoog stuwingsgemiddelde geeft, nam de windkracht te Hoek van Holland tusschen 2 en 4 uur v.m. belangrijk in kracht af; de stuwing welke te Hoek van Holland te 1 uur voormiddag reeds een bedrag van 207 c.m. had bereikt, verminderde tusschen 1 en 3 uur tot 110 c.m., om daarna snel te stijgen en te 9 uur v.m. en op den middag hare grootste waarde (233 c.m.) te bereiken.

De plaatselijke opwaaiing kon door genoemde inzinking geen groote waarde bereiken.

Bij den storm van 29 November 1897 waarvan men afgaande op de gemiddelden van Tabel I groote verwachtingen kon koesteren, draaide de wind toen de stuwing een bedrag van 228 c.m. had bereikt naar het Noordnoordwesten, een richting, wél gunstig om hooge Noordzeestanden te houden niet om abnormaal hooge opwaaiing te veroorzaken op onze Noordzeekust.

Thans zullen de drie bovengenoemde stormvloed nader worden onderzocht; de weersomstandigheden welke die zeer hooge stuwings hebben veroorzaakt waren de volgende:

23 December 1894. Vanaf 13 December trekken voortdurend min of meer diepe depressies in oostnoordoostelijke richting ten noorden van ons land voorbij. Tusschen 19 en 20 December passeert er een in zuidoostelijke richting, waardoor tijdelijk noordwestelijke storm heeft gewaaid; 21 December passeert weer een depressie ten noorden van ons, waarna het groote stormcentrum van 22—23 December uit het Noordwesten nadert.

De storm zet 22 December in uit het Zuiden en Zuidwesten en bereikt de kracht van zwaren storm; in den namiddag ruimt de wind eerst op het lichtschip Schouwenbank, daarna op het lichtschip Maas tot WNW, aan den Hoek is de wind ten 4 uur p.m. WtN en blijft daar, ruimend tot WNW en NWtW met kracht van zwaren storm doorstaan tot ongeveer middernacht 22—23 December.

Na 11 uur begon de storm eerst weinig, daarna snel af te nemen.

Des namiddags waait over *bijna* de geheele, des avonds over de geheele Noordzee een zware tot matige storm uit westnoordwest tot noordwest.

Het centrum der depressie (725 m.m.) passeert langs de lijn Noord-

Schotland, Noord-Denemarken, Zuid-Zweden; een gebied van hooge luchtdruk (770 m.m.) volgt over de Golf van Biscaye met een rug (765 m.m.) over Centraal-Engeland.

Deze luchtdruk- en windverdeling gevoegd bij den voorafgaanden algemeenen weertoestand vanaf 13 December vormen zeer gunstige omstandigheden voor eene groote stuwing.

Wij zien te Hoek van Holland de stuwing, welke eerst negatief was als gevolg van zuidelijken wind, met sprongen opgaan en ten half een voormiddag 23 December haar hoogste waarde bereiken. In zee is de storm dan al sinds 8 uur aan het afnemen, dicht bij de kust en aan den Hoek sinds 11 uur, maar zeer weinig; de aan den Hoek van West tot W.N.W. veranderde richting en de tusschen 8 en 12 uur tot zwaren storm toegenomen windkracht maken dat de plaatselijke opwaaiing nog eenigszins tot haar recht komt. Na 12 uur neemt de kracht snel af en indien dit niet geschied was, had de plaatselijke opwaaiing en daarmee de geheele stuwing zeker een hooger bedrag bereikt, hoeveel is niet nauwkeurig aan te geven.

Tijd.	Schouwen-bank.	Maas.	Hoek.	Stuwing.
22 M.D.	WZW 8—10	ZW 9	ZW 6—9	— 12
4 p. m.	WNW 10	WZW 10	WZW 7—9	16 103
8 „	WNW 10—8	WNW 9	West 10—11	113 151
23 M.N.	WNW 8—7	WNW 9	WNW 11—10	207 240
4 a. m.	WNW 7—6	WNW 7	WNW 8—7	266(12.30)
8 „	NW 6—4	WNW 7	WNW 7—6	143

Alles bij elkaar genomen hebben wij hier echter al met een zeer gunstigen samenloop van omstandigheden voor groote stuwing en plaatselijke opwaaiing te maken. Bij dezen stormvloed zijn de waterstanden te Hoek van Holland gedeeltelijk door interpolatie bepaald.

23 Januari 1895. Van 1—20 Januari is over geheel Noordwest-Europa met twee korte onderbrekingen wind uit zuidoostelijke tot noordoostelijke richting in sterke mate overheerschend.

21 Januari draait in onze omgeving de wind van noordoost door noordwest naar zuidwest en blijft 22 Januari uit dien hoek doorstaan.

23 Januari ligt een matig ontwikkeld stormcentrum (740 m.m.) iets ten westen van Denemarken; over de Golf van Biscaye en Ierland ligt een gebied van hooge luchtdrukking (760 m.m.). In den morgen is over noordelijk Groot-Britannië de wind noordwest tot noord, bij ons te land westzuidwest; het overgangsgebied

tusschen beide windsystemen ligt dan over Zuid-Engeland en de zuidelijke Noordzee. De windkracht is over het algemeen niet hooger dan stormachtig tot matigen storm.

Het hierboven geschetste systeem trekt in zuidoostelijke richting verder en ofschoon van een algemeen opgezet waterpeil eenige dagen vóór den stormvloed geen sprake is, kan eenige stuwing verwacht worden op de oostkusten van de Noordzee.

Op de lichtscheper Schouwenbank en Maas wijzen de windomstandigheden niet op een hooge stuwing op de Nederlandsche kust; toch is het maximum aan den Hoek bereikt zeer hoog. Plaatselijke windinvloed moet dus zeer groot zijn geweest, maar ook kort van duur, zooals zoowel uit de windgegevens als uit den spichtigen vorm van het stuwingsdiagram afgeleid kan worden.

Tijd.	Schouwen-bank.	Maas.	Hoek.	Stuwing.
23 M.N.	WNW 4	WNW 4	WZW 4	40
4 a. m.	WNW 4	West 4	West 4—5	50 42
8 „	WZW 4	West 5	West 5—6	10 5
M.D.	NNW 8	NW 5—7	NW 7	43 107
4 p. m.	NNW 9	NNW 7—9	WNW 7—9	184 264
8 „	NNW 10	Noord 9	NNW 8	203 182
24 M.N.	NNW 8	NNW 8	NNW 7	161 79

Aan den Hoek was tusschen half een en half vier de gemiddelde windrichting WNW, tegelijkertijd kwam toen de grootste windkracht van dat etmaal voor, waarbij zeer zware stormbuien van kracht 10 tot 11 geregistreerd werden, ten ongeveer 4 uur bereikt de stuwing haar grootste waarde en valt daarna snel weg. Dit is geheel in overeenstemming met het snel naar noord en noordnoordwest door-draaien van den wind.

13 Januari 1916. Van af 1 Januari passeert een reeks depressies langs de gewoonlijk gevolgde baan ons land, 8 en 11 Januari was de baanrichting zoo, dat de wind tijdelijk uit het Noordwesten kwam. Zoowel in onze omgeving als over groote gebieden in het Westen waren zuidwestelijke en westelijke winden in sterke mate overheerschend. De normale algemeene luchtbeweging in Januari is op onze kust zuidwest 2 m. p. s., voor de eerste helft van Januari 1916 vinden wij westzuidwest 7 m. p. s.

Van uit het Noordwesten nadert 12 Januari het groote stormcentrum hetwelk in den avond van 13 Januari over Denemarken ligt met een kern van 735 m.m.; over de Golf van Biscaye en Ierland ligt een

gebied van hooge luchtdrukking met een barometerstand van 775 m.m.

De sterke algemeene westzuidwestelijke luchtbeweging, de twee Noordwesters van 8 en 11 Januari gevoegd bij de uitgebreidheid der gebieden van hooge en lage luchtdrukking, hunne onderlinge ligging en langzame verplaatsing gedurende het etmaal van 13 Januari maken de omstandigheden in ieder opzicht buitengewoon gunstig voor eene groote en langdurige stuwung.

Hierbij komt nog dat te Hoek van Holland tusschen 4 en 6 uur de zwaarste windstooten uit het Westnoordwesten, de voor stuwung gunstigste richting, voorkomen; uren lang heeft het over het geheele voor den Hoek liggende zeegebied uit die richting gestormd, zoodat zowel algemeene als plaatselijke stuwung geheel tot hun recht komen. De maximum-stuwung 280 c.M. wordt ten 5 uur namiddag waargenomen.

Tijd.	Schouwenbank.	Maas.	Hoek.	Stuwung.
13 Jan. M.N.	ZW 5—6	ZW 6	ZW 6	— 8
4 a. m.	West 7	West 5—7	West 6—7	22 41
8 „	WNW 8	WNW 6—7	WNW 8	91 127
M.D.	WNW 8—9	West 7—8	WNW 8	152 216
4 p. m.	WNW 10	West 8—10	WNW 9—10	233 260
				280
				269
				243
8 „	NW 10	NW 10—8	NW 9—10	226
14 Jan. M.N.	NW 9—8	NNW 9—7	NW 9—8	235 223
4 a. m.	NNW 8	NNW 9—7	NW 8	199 181

Spoedig daarna draait de wind naar het Noordwesten eene minder gunstige richting om de groote plaatselijke opwaaiing te handhaven; deze neemt dan ook snel af, maar het algemeen Noordzeeniveau blijft sterk opgezet.

Ten slotte werd nagegaan welke waarde de stuwung heeft bereikt bij de beruchte stormvloed van 3, 4 en 5 Februari 1825. De oorspronkelijke gegevens werden hiervoor geraadpleegd en allereerst getracht het weertype te construeeren. Hierbij waren vooral de weerkundige waarnemingen te Zwanenburg en te Haarlem verricht, maar ook die van Workum en Oldenburg, van veel waarde, terwijl de menigvuldige opgaven der weersgesteldheid over Nederland en West-Duitschland eene welkome aanvulling vormden, zoodat het gelukte een tamelijk nauwkeurig inzicht in de weersomstandigheden te verkrijgen.

Het najaar van 1824 en de eerste weken van 1825 werd gekenmerkt door voortdurend zeer zacht weer met eene aaneenschakeling van krachtige tot stormachtige winden uit het Zuidwesten en Westen.

Gedurende den 1sten Februari passeert eene depressie ons land, welke in den avond de wind tijdelijk naar het Noordwesten doet draaien en in de Deutsche Bocht storm uit dien hoek heeft veroorzaakt.

Den 2den Februari nadert een nieuwe zeer diepe depressie uit het Noordwesten, deze veroorzaakt in den nacht van 2 op 3 Februari over ons land krachtigen tot stormachtigen wind uit het Zuidwesten.

In den namiddag van 3 Februari ruimt de wind op de Noordzee tot west, om in den avond rond te gaan tot westnoordwest en noordwest en uit dezen hoek met kracht van storm of zwaren storm te blijven doorstaan.

Een buitengewone zware storm is het in ons land echter niet geweest, daarin stemmen alle berichten met uitzondering van Scheveningen overeen; in de Deutsche Bocht is de kracht van den wind waarschijnlijk grooter geweest dan bij ons. In den nacht van 3 op 4 en ook in dien van 4 op 5 Februari moet de wind tijdelijk teruggelopen zijn naar westzuidwest of zuidwest. Dit is af te leiden uit:

1. de tijdelijke daling van den barometer te Haarlem en Zwanenburg,
2. de windwaarnemingen op die plaatsen,
3. het dalen van den waterstand, dat van verschillende plaatsen op genoemde tijden vermeld wordt.

Aan de aandacht der kustbewoners is het terugloopen van den wind ontsnapt.

Het is dus geen *aanhoudende* Noordwesterstorm geweest zooals schrijvers uit dien tijd vermelden.

Gedurende den 4den en 5den Februari heerschte, met bovenvermelde onderbrekingen, voortdurend westnoordwestelijke en noordwestelijke storm, deze nam over het algemeen 5 Februari al in kracht af, maar niet voor den nacht van 5 op 6 Februari verbeterde de weertoestand aanmerkelijk.

Het weertype lijkt dus bijzonder veel op dat van den storm van December 1894 en van Januari 1916, alleen duurde in 1825 de eigenlijke storm wat langer; hooge stuwungen zullen dus te wachten zijn en wel gedurende eenige dagen achtereen.

Eene bedenkelijke bijkomende omstandigheid was, dat het 3 Februari ongeveer op den middag volle maan was en terwijl de maansdeclinatie zeer klein was, stond zij zeer dicht bij het perigeum; hooge springtijden waren dus te wachten en als merkwaardigheid wordt dan ook opgegeven, dat 5 van de 6 achtereenvolgende vloed stormvloed waren.

Uit de met behulp van astronomische gegevens berekende en waargenomen waterstanden te Katwijk en Hellevoetsluis volgt, dat de stuwung op het tusschen die plaatsen gelegen kustgedeelte in den loop van 3 en 4 Februari een bedrag bereikte schommelend tusschen 240 en 280 c.m.

Nadat de storm uit het Westnoordwesten met ééne onderbreking 24 uur had doorgestaan bedroeg de stuwung te Katwijk 270 c.M. en kwam gedurende dien tijd waarschijnlijk niet beneden 230 c.M.

Omtrent deze getallen mogen opgemerkt worden dat zij zeker niet te klein zijn. Er bestaat eerder aanleiding en neiging den waterstand te hoog dan te laag op te geven en daarmede krijgt ook de stuwung eene te hooge waarde.

Het bovenstaande onderzoek leidt tot de gevolgtrekking:

- a. dat 23 December 1894 bij zeer gunstige algemeene, maar niet bepaald gunstige plaatselijke omstandigheden, de stuwung een grootste bedrag bereikte van 266 c.M.
- b. dat 23 Januari 1895 bij niet gunstige algemeene, maar tijdelijk zeer gunstige plaatselijke omstandigheden de stuwung een grootste bedrag bereikte van 264 c.M.
- c. dat 13 Januari 1916 bij zeer gunstige algemeene en zeer gunstige plaatselijke omstandigheden de maximale stuwung bedroeg
280 c.M.
- d. dat 3 en 4 Februari 1825 bij zeer gunstige algemeene en zeer gunstige plaatselijke omstandigheden op het kustgedeelte Katwijk—Hellevoetsluis een bedrag is bereikt, schommelend tusschen 240 en 280 c.M.

De vraag of nog gunstiger samenloop van omstandigheden dan op 13 Januari 1916 en in Februari 1825 mogelijk is, moet uit den aard der zaak bevestigend beantwoord worden; het kan altijd nog harder waaien dan het gewaaid heeft en een storm kan altijd nog langer duren dan een voorgaanden storm.

Maar om dan de stuwung nog te laten aangroeien, is het noodig, dat niet alleen in onze naaste omgeving, maar over groote gebieden de weersomstandigheden hetzelfde blijven of in denzelfden zin veranderen en dit maakt de kans daarop zeer klein.

Ook zal bij langer' aanhouden of toenemen van den storm, wanneer die reeds zwaar is, de stuwung weinig meer aangroeien. Een zekere windkracht kan het niveau een bepaalde helling doen aannemen, waarbij de evenwichtstoestand bereikt wordt; door het verschil in hydrostatischen druk ontstaat eene afstreaming langs den bodem, hierdoor wordt verdere niveauverhooging voorkomen, ook al duurt de storm bovenmatig lang. Ten slotte komt hierbij ter sprake abnormale overvulling van de geheele Noordzee uit den Atlantischen Oceaan.

Indien windtoename over groote uitgestrektheden plaats vindt, zal de helling van het niveau steiler worden; vindt die windtoename over smalle strooken plaats dan vloeit ter weerszijde van die strook zooveel water af dat van opzet niets te bespeuren valt.

Het komt ons voor dat practisch gesproken in de stormen van 3—5 Februari 1825 en 13—14 Januari 1916 het bereikbare bereikt is, en dat als grootst mogelijke stuwung te Hoek van Holland 280 c.M. mag worden aangenomen.

Deze kwam in 93 jaar hoogstwaarschijnlijk slechts 2 maal voor; eene stuwung van 260 en hooger 3 maal, van 230 en hooger 6 maal in 29 jaar.

Bij deze laatste rubriek is 226 en 228 c.m. als 230 medegerekend; gaat men stuwungen kleiner dan 230 c.m. beschouwen dan zou voor alle vloed en 180—160 c.m. + N.A.P. de stuwung berekend moeten worden.

Bij een flink ontwikkeld springtij moet men te Hoek van Holland rekenen met een astronomischen vloed van 110 c.m. + N.A.P.; valt een dergelijk tij met de grootst mogelijke stuwung van 280 c.m. samen, dan bereikt het water eene hoogte van 390 c.m. + N.A.P.

De vraag komt op hoe groot de kans is dat een dergelijk hooge stand bereikt wordt.

Om een antwoord te geven voor de praktijk van waarde, letten wij niet alleen op het oogenblik van springtij maar tevens op de tijden, gedurende welke de berekende getijhoogte grooter is dan 100, 90, 80, 70, enz. c.m. + N.A.P. Uit eene grafische voorstelling of uit berekening van de getijlijnen over een volledigen getijomloop van 14½ etmaal is af te leiden, dat een stand van 110 c.m. bereikt wordt gedurende slechts één uur, een stand van 100 c.m. of hooger gedurende 5, van 90 of hooger gedurende 12 uren enz.

De kans om uit een tijdvak van 14½, etmaal of 348 uur, het uur te treffen waarop als gevolg van de getijbeweging alleen een stand bereikt zou worden van 110 c.m. + N.A.P. is dus $\frac{1}{348}$ of afgerond $\frac{1}{350}$, die voor het treffen der uren met standen van 100 en 90 c.m. + N.A.P. achtereenvolgens $\frac{5}{348} = \frac{1}{70}$ en $\frac{12}{348} = \frac{1}{29}$.

Het grootste windeffect werd waargenomen in Februari 1825 en in Januari 1916; vangt men dus het onderzoek in 1826 aan, dan kan men zeggen dat het grootste windeffect éénmaal in 92 jaar is voorgekomen; vangt men in 1825 aan dan is zulks tweemaal in 93 jaar het geval geweest. Het juiste gemiddelde tijdsverloop tusschen twee dergelijke windeffecten, kan natuurlijk eerst uit zeer langdurige waarnemingsreeksen worden vastgesteld. Indien men let op den samenloop van ongunstige meteorologische omstandigheden, welke noodig is om een dergelijk groot windeffect te doen ontstaan, dan is het niet mogelijk te achten, dat iets dergelijks onopgemerkt zou zijn voorbijgegaan.

Men houdt zich dus hoogst waarschijnlijk aan den veiligen kant door aan te nemen, dat een dergelijk groot windeffect niet meer dan eenmaal in 50 jaar zal voorkomen.

Nu kan een stand van 390 c.m. + N.A.P. alleen ontstaan uit eene combinatie van de allerhoogste stuwung van 280 c.m. met een getijhoogte van 110 c.m. + N.A.P.; een stand van 380 c.m. door het samenvallen van 280 c.m. stuwung met een getijhoogte van 100 of van 270 c.m. stuwung met 110 c.m. getijhoogte; een stand van 370 c.m. door het samenvallen der grootheden 280 met 90, 270 met 110 of 260 met 110.

De kans op elk van deze afzonderlijke combinaties werd met behulp van de statistiek berekend; na optellen vindt men, dat de kans dat in een willekeurig jaar een der onder volgende standen bereikt zal worden is voor:

390 c.m. + N.A.P.	=	$\frac{1}{17500}$
380 " "	=	$\frac{1}{2500}$
370 " "	=	$\frac{1}{675}$
360 " "	=	$\frac{1}{520}$
350 " "	=	$\frac{1}{125}$
340 " "	=	$\frac{1}{65}$
330 " "	=	$\frac{1}{35}$
320 " "	=	$\frac{1}{20}$
310 " "	=	$\frac{1}{13}$
300 " "	=	$\frac{1}{9}$

Men kan dit ook zoo uitdrukken: eens in de 13, 20 of 35 jaar heeft men kans op een stormvloed hoog 310, 320 of 330 c.m. + N.A.P. gedurende één uur.

2.

Wij zullen thans nagaan welk verband bestaat tusschen de grootste stuwingen welke te Hoek van Holland en te Rotterdam ongeveer gelijktijdig zijn waargenomen.

Tabel III geeft hiervan een overzicht en zooals kon verwacht worden is in 't algemeen de stuwing te Rotterdam hooger dan te Hoek van Holland, omdat gewoonlijk nog wel eenige opwaaiing op den Waterweg zal plaats vinden.

Achttien maal, met een gemiddelde van 14 c.M., was de stuwing te Rotterdam hooger dan te Hoek van Holland, tegenover 9 maal met een gemiddelde van 15 c.M. dat het omgekeerde het geval was. Soms komen groote verschillen voor.

De groote zoowel als de kleine verschillen kunnen door eene nadere studie van den plaatselijken wind, kort vóór en na de grootste stuwing, kwalitatief ongedwongen worden verklaard; quantitatief grootendeels, door voor dien plaatselijken wind correcties aan te brengen op de stuwing te Hoek van Holland.

De coëfficiënten zooals die voorkomen in het onderzoek van den Ondervoorzitter geven zeer bevredigende resultaten ¹⁾.

Er bestaat nog een andere weg om tot een beter inzicht te komen, waarom nu eens het verschil in stuwing Rotterdam—Hoek van Holland

¹⁾ Zie Nota: de Bilt 23 Nov. 1917 p. 2 onderaan.

positief, dan weer negatief is; de eene maal groot, de ander maal klein. Bovengenoemde plaatselijke windomstandigheden bepalen natuurlijk ook voor een groot deel den aard of vorm van den stuwingsskop nabij zijn hoogste punt. In haar soort is de opwaaiing tusschen Hoek van Holland en Rotterdam een copie van den stuwingsskop.

Een numeriek gegeven, dat den aard of vorm van dien kop kenmerkt, vindt men in het verschil tusschen de hoogste stuwing en het gemiddelde der stuwingen 2 uur vóór en na dat maximum.

Deze verschillen met hunne afwijkingen van het gemiddelde verschil vindt men in kolom 10 en 11; kolom 12 bevat de afwijkingen van het verschil in stuwing Rotterdam minus Hoek ten opzichte van het gemiddelde dier stuwingverschillen.

Hierbij valt nog op te merken dat in kolom 11 overal het teeken van de afwijking is omgekeerd. Indien de afwijking oorspronkelijk het positieve teeken had, dan wil dit zeggen dat het verschil tusschen grootste en gemiddelde hoogte 2 uur vóór en na het maximum van den stuwingsskop grooter is dan het gemiddelde verschil tusschen die grootheden; de stuwingsskromme loopt dan steil op en af, de kop is spichtig van vorm en heeft weinig volume en zulks doet à priori een geringe gelegenheid voor verderen opzet op den Waterweg vermoeden; dit geeft ons aanleiding te teekens om te keeren.

Voor den correlatiefactor tusschen die afwijkingen vindt men

$$r = + 0.765 \text{ en } f = \pm 0.054.$$

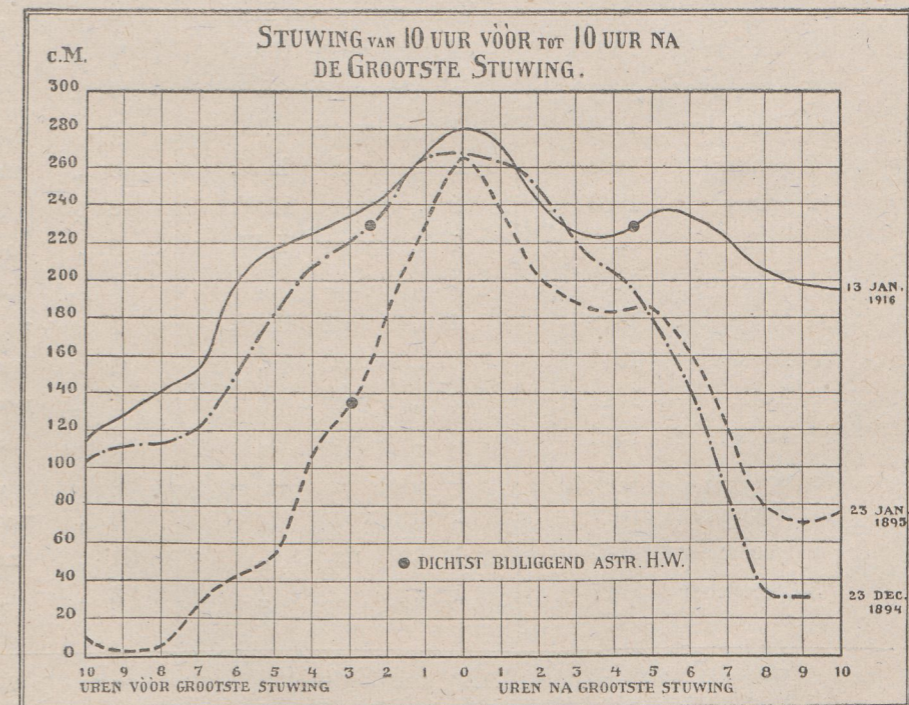


Fig. 3.

D A T U M.	Welk uur wordt de grootste stuwung bereikt t/o van	
	berekend H.W. en L.W.	waargen. H.W. en L.W.
1	2	3
9 Februari 1889	3 uur na H.W.	3 uur na H.W.
23 December 1894	2 " " "	0,5 " " "
23 Januari 1895	3 " " "	Valt samen met H.W.
6 December 1895	3 " voor "	2 uur voor H.W.
7 December 1895	2 " na L.W.	2 " " L.W.
19 Juni 1897	2 " " H.W.	2 " " H.W.
29 November 1897	1 " voor L.W.	1 " voor L.W.
3 Februari 1898	3 " na H.W.	2 " na H.W.
13 Januari 1899	3 " voor "	2 " voor "
" " "	3 " na "	4 " na "
26 Januari 1902	3 " " "	3 " " "
" " "	Valt samen met L.W.	2 " " L.W.
10 October 1903	2 uur voor H.W.	1 " voor H.W.
22 November 1903	Valt samen met L.W.	3 " na L.W.
30 December 1904	1 uur voor H.W.	1 " voor H.W.
7 Januari 1905	2 " " L.W.	3 " na "
12 Maart 1906	2 " na H.W.	2 " " "
" " "	1 " voor L.W.	2 " voor L.W.
21 Februari 1907	1 " na "	4 " na "
23 November 1908	2 " voor H.W.	1 " voor H.W.
30 September 1911	1 " na "	1 " na "
9 April 1912	2 " voor "	1 " voor "
11 November 1912	3 " na "	3 " na "
13 Januari 1916	2 " " L.W.	3 " " L.W.
25 November 1917	2 " voor "	3 " voor "
2 December 1917	1 " na "	1 " na "
3 December 1917	1 " " "	3 " " "

9 Februari 1889 met astr. H.W. stuwung = 229 7 uur achtereen > 220.
 23 December 1894 " " " " = 230 5 " " > 240 7 > 220.
 23 Januari 1895 " " " " = 134 3 " " > 230 3 > 220.
 13 Januari 1916 " " " " = 223 5 " " > 240 12 > 220.

Grootste stuwung te Hoek.	Verschil ber. en waargen. stand te R'dam.	Corr. voor invloed opperwater.	Grootste stuwung te R'dam.	Verschil tusschen R'dam en Hoek in		Stuwingskop Hoek.		Afw. stuwingsverschil R'dam—Hoek.
				Stuwung	Tijd.	Kenmerk.	Afw.	
4	5	6	7	8	9	10	11	12
233	261	0	261	28	3 uur	7	22	24
± 266	± 255	+ 6	± 261	± (-5)	3 "	23	6	- 9
264	225	- 11	214	- 50	1 "	50	- 21	- 54
189	187	+ 6	193	4	2 "	34	- 5	0
214	218	+ 4	222	8	1 "	24	5	4
188	± 200	- 4	± 196	± 8	1 "	25	4	4
228	244	+ 10	254	26	3 "	23	6	22
220	189	+ 8	197	- 23	2 "	34	- 5	- 27
172	195	- 2	193	20	1 "	37	- 8	16
173	187	- 2	185	12	1 "	19	10	8
183	166	- 1	165	- 18	1 "	41	- 12	- 22
182	181	- 1	180	- 2	1 "	40	- 11	- 6
147	150	+ 4	154	7	1 "	36	- 7	3
197	210	+ 4	214	17	2 "	23	6	13
223	206	+ 8	214	- 9	1 "	33	- 4	- 13
224	190	+ 8	198	- 26	2 "	42	- 13	- 30
213	214	- 12	202	- 11	2 "	31	- 2	- 15
215	225	- 12	213	- 2	2 "	29	0	- 6
226	228	+ 5	233	7	2 "	28	1	3
189	188	+ 12	200	11	1 "	29	0	7
178	195	+ 11	206	28	1 "	18	11	24
186	183	- 1	182	- 4	1 "	31	- 2	- 8
193	205	- 2	203	10	0	29	0	6
280	295	- 9	286	6	2 "	25	4	2
175	197	+ 2	199	24	2 "	15	14	20
176	207	- 5	202	26	3 "	22	7	22
193	212	- 5	207	14	2 "	35	- 6	10

Zij a de middelbare anomalie van het kenmerk van den stuwingskop te Hoek van Holland; b de middelbare anomalie van het verschil Rotterdam minus Hoek, dan vinden wij als verband

$$b = 2.001 a \text{ (in c. m.)},$$

terwijl de gemiddelde onzekerheid bedraagt

$$\pm 8.13 \text{ c. m.}$$

3.

Uit tabel III zien wij dat het grootste positieve verschil in stuwingskop te Rotterdam—Hoek 28 c.M. bedraagt (9 Febr. 1889 en 30 Sept. 1911) en dat verschillen van 24 en 26 c.M. nog driemaal zijn voorgekomen.

In verband met het voorgaande zal het dus veilig zijn om voor Rotterdam met de mogelijkheid rekening te houden op een allerhoogste stuwingskop van $280 + 25 = 305$ c.M.

Om den hoogst bereikbaren stand te Rotterdam aan te geven moet dit bedrag vermeerderd worden met de hoogte + N.A.P. van een flink ontwikkeld springtij (110 c.M. + N.A.P.) en het bedrag dat de waterstand verhoogd wordt door het opperwater.

De Bilt, Januari 1918.

Het lid der Commissie,

P. H. GALLÉ.

Berekening aanvoer bij vloed te Hoek van Holland.

Aan de Sub-commissie BIII werd o. m. opgedragen eene berekening van de waterhoeveelheden, die in gewone omstandigheden door den Rotterdamschen Waterweg binnenkomen.

Daar een zuiver theoretische berekening ongetwijfeld zeer ingewikkeld en bovendien niet mogelijk is zonder empirisch te bepalen coëfficiënten, is getracht om uit de beschikbare gegevens der afvoermetingen een voor globale berekeningen bruikbare formule af te leiden.

De aanvoer bij vloed toch zal in hoofdzaak afhankelijk zijn van:

- 1°. de profielsinhouden der rivier;
- 2°. het tijverschil in zee;
- 3°. de afvoer van de bovenrivier;

Behalve deze hoofdfactoren kunnen nog als minder belangrijke factoren genoemd worden:

- 4°. de gelegenheid tot waterberging op de rivier;
- 5°. de snelheid van stijging van het water in zee van het L.W. tot H.W.
6. de snelheid van daling na H.W.;
- 7°. de duur van de aan den vloed voorafgaande eb;
- 8°. de windrichting en -kracht.

De invloed van deze laatste vijf factoren zal echter tegenover dien der eerste drie betrekkelijk gering zijn en hier verder wegens gebrek aan voldoende gegevens buiten beschouwing worden gelaten.

Ter bepaling van den invloed der drie hoofdfactoren zouden een groot aantal waarnemingen, onder verschillende omstandigheden verricht, volgens de factoren zijn te rangschikken, waartoe echter het beschikbare aantal gegevens te gering is.

De waarnemingen van 1877 en vroeger kunnen voor een dergelijk onderzoek bezwaarlijk met de in later jaren verrichte metingen worden gebruikt, daar in 1877 de Waterweg nog slechts ten deele als voltooid kan worden beschouwd.

Bovendien zijn van die metingen niet alle vereischte gegevens bekend.

Voor het onderzoek blijven derhalve over de metingen van 1885 en later, totaal 14 waarnemingen n.l. 4 in 1885, 2 in 1891, 3 in 1897, 1 in 1908, 1909, 1910, 1916 en 1917. ¹⁾

¹⁾ De uitkomsten dezer metingen zijn in staat IV van het verlag der afvoermetingen, bijlage 11, opgegeven, behalve voor de meting van 1910, bij welke meting alleen de aanvoer bij vloed werd waargenomen en waarvan de uitkomst niet werd gepubliceerd.