

DE INVLOED VAN DE ZUIDERZEE OP DE STORMVLOEDSTANDEN LANGS DE FRIESCHE KUST

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD
VAN DOCTOR IN DE TECHNISCHE WETENSCHAP AAN
DE TECHNISCHE HOOGESCHOOL TE DELFT, OP GEZAG
VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS J. NELEMANS, C. I.
HOOGLEERAAR IN DE AFDEELING DER WEG- EN
WATERBOUWKUNDE, VOOR EEN COMMISSIE UIT DEN
SENAAT TE VERDEDIGEN OP

MAANDAG 21 FEBRUARI 1921
'S NAMIDDAGS TE 3 UUR

DOOR

CORNELIS WILLEM LELY, C. I.

INGENIEUR VAN DEN RIJKSWATERSTAAT, GEBOREN TE DEVENTER.



Hooggeleerde DE VRIES BROEKMAN, Hooggeachte Promotor,
het is mij een oprechte behoefte U mijn hartelijken dank te
betuigen voor de zoo welwillende wijze waarop Gij, bij Uw
drukke bezigheden tijd noch moeite sparende, mij Uw steun
hebt verleend. De vele raadgevingen, die ik van U mocht
ontvangen, zijn door mij op hoogen prijs gesteld.

INHOUD.

	Bladz.
INLEIDING	9
HOOFDSTUK I. Gevolgde methode	11
HOOFDSTUK II. Afleiding van het verband tusschen stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand per tijdseenheid en verschil in stand van Waddenzee en Zuiderzee bij normale waterstanden en windstilte	17
HOOFDSTUK III. Afleiding van den invloed van den wind op de stijging per tijdseenheid van den gemiddelden Zuiderzeestand	28
HOOFDSTUK IV. Bepaling van de opwaaiing en van den verlagenden invloed van de Zuiderzee op de stormvloedstanden te Harlingen, Hindeloopen en Stavoren	40
HOOFDSTUK V. Bepaling van den verlagenden invloed voor Surich, Makkum en Piaam en nadere beschouwingen omtrent den verlagenden invloed	56
HOOFDSTUK VI. Bepaling van de bij afsluiting der Zuiderzee te verwachten verhooging der H. W.-standen langs de Friesche kust onder normale omstandigheden en bij stormvloedden	60
STELLINGEN	67

BIJLAGEN.

Gedrukte.

- I. Eerste berekening der coëfficiënten a.
- II. Tweede „ „ „ a.
- III. Berekening verhooging stormvloed 22/23 December 1894.
- IV. „ „ „ 12/13 Maart 1906.
- V. „ „ „ 13/14 Januari 1916.

Teekeningen.

- A. Situatie.
 - B. Verband tusschen windinvloed δ in c.M. stijging per uur van de Zuiderzee en windkracht.
 - C. Verband tusschen verschil H. W. Harlingen—H. W. Vlieland en windkracht.
 - D. Directe windinvloed bij kracht 7, eerste benadering.
 - E. „ „ „ „ 7, tweede „
 - F. Schematische voorstelling stormvloed 13 Januari 1916 omstreeks 4 uur n.m.
 - G. Schematische voorstelling stormvloed 14 Januari 1916 omstreeks 2 uur 30 min. v.m.
-

INLEIDING.

Tengevolge van de afsluiting der Zuiderzee zullen de stormvloedstanden langs de Friesche kust benoorden den afsluitdijk worden verhoogd voor zoover die standen thans onder invloed van de Zuiderzee staan.

Die verhooging is het gevolg daarvan, dat thans, tijdens het stormvloedhoogwater langs de Friesche kust, de Zuiderzee nog niet tot zoodanig peil is gevuld, dat een evenwichtstoestand is bereikt, waarbij onder invloed van den wind evenveel water van uit de Waddenzee naar de Zuiderzee wordt gedreven, als er tengevolge van het niveauverschil weer van de Zuiderzee naar de Waddenzee terugstroomt.

Als dat geval van den evenwichtstoestand werkelijk tijdens hoogwater langs de Friesche kust voorkwam, en dus de totale waterwisseling tusschen Zuiderzee en Waddenzee = 0 was, dan zou, indien ter plaatse van den afsluitdijk Wieringen—Piaam een schot werd geplaatst, de toestand nagenoeg hetzelfde blijven als te voren en zouden de stormvloedstanden in de Waddenzee geen wijziging ondergaan.

De waterspiegel in Waddenzee en Zuiderzee zou dan onder den invloed van den wind onder eene helling staan, schematisch voorgesteld in fig. 1 door de lijn V A Z, waarbij V Vlieland, A den afsluitdijk en Z het middelpunt der Zuiderzee voorstelt.

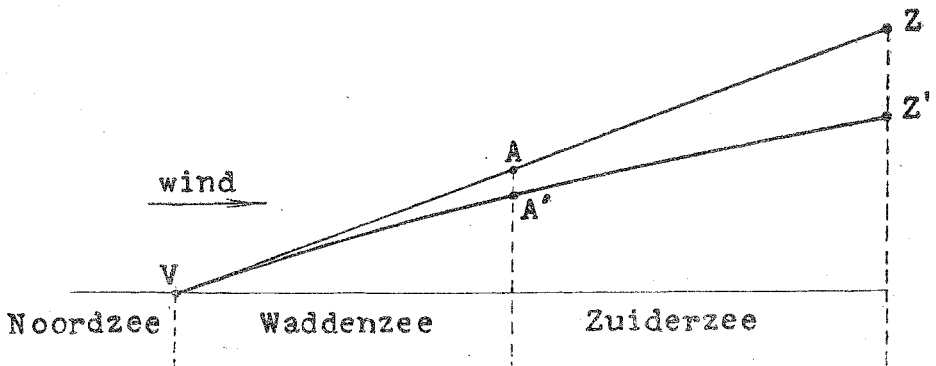


Fig. 1.

Bij A stroomt evenveel water van de Waddenzee naar de Zuiderzee onder invloed van den wind, als er van de Zuiderzee naar de Waddenzee terugstroomt onder den invloed van het niveauverschil, zoodat de totale strooming in A gelijk is aan 0.

Wordt bij een waterspiegel V A Z de afsluitdijk in A gelegd, dan zal de waterspiegel in de Waddenzee vrijwel gelijk blijven aan V A en zullen de stormvloedstanden in de Waddenzee langs de Friesche kust geen verandering ondergaan.

Die evenwichtstoestand V A Z komt echter in werkelijkheid tijdens hoogwater in de Waddenzee bij stormvloed niet voor.

De kom der Zuiderzee kan tijdens een stormvloed niet vlug genoeg gevuld worden om den evenwichtstoestand te bereiken, zoodat, wanneer het hoogwater in de Waddenzee is bereikt, de Zuiderzee nog niet den stand Z doch bijv. een stand, in fig. 1 door Z' aangeduid, heeft bereikt.

Er stroomt dan bij den afsluitdijk nog meer water van de Waddenzee naar de Zuiderzee onder invloed van den wind, dan er onder invloed van het niveauverschil van Zuiderzee naar Waddenzee terugstroomt.

De waterspiegel bij hoogwater in de Waddenzee blijft dus door de afstroming naar de Zuiderzee lager en bereikt bij den afsluitdijk niet de hoogte A, doch een hoogte A', zoodat de waterspiegel door de lijn V A' Z' kan worden voorgesteld.

Was bij dit geval de afsluitdijk reeds aanwezig, dan zou in de Waddenzee de evenwichtstoestand V A wellicht wel bereikt zijn.

De afsluiting van de Zuiderzee heeft dan dus tot gevolg eene verhooging van het stormvloeds-hoogwater in de Waddenzee, toenemende van 0 bij de Noordzee tot A A' bij den afsluitdijk, of m. a. w. door de omstandigheid, dat de evenwichtstoestand bij stormvloed niet wordt bereikt, oefent de Zuiderzee op de stormvloedstanden in de Waddenzee een verlagenden invloed uit.

In de volgende hoofdstukken zal worden aangetoond, hoe die verlagende invloed van de Zuiderzee op de stormvloedstanden in de Waddenzee langs empirischen weg uit de waargenomen waterstanden bij stormvloed kan worden afgeleid.

HOOFDSTUK I.

GEVOLGDE METHODE.

De stormvloedstanden in de Waddenzee langs de Friesche kust zullen afhankelijk zijn van den Noordzeestand, van de opwaaiing van de Noordzee naar de Friesche kust en, tot zoover de verlagende invloed van de Zuiderzee zich doet gelden, van den Zuiderzeestand tijdens het hoogwater in de Waddenzee en van den wind.

De verlagende invloed van de Zuiderzee zou direct kunnen blijken uit het vergelijken van stormvloedstanden met eenzelfde Noordzeestand en eenzelfde wind doch met verschillende hoogten van het Zuiderzeepil of m. a. w. met verschillende waarden voor het niveauverschil tusschen Waddenzee en Zuiderzee.

Denkt men zich bijv. twee stormen, door 1 en 2 aangeduid, met eenzelfde Noordzeestand en eenzelfde wind, doch zij bij storm 1 tijdens hoogwater in de Waddenzee het Zuiderzeepil Z_1 , en bij storm 2 Z_2 , dan zal de waterspiegel tijdens H. W. in de Waddenzee bij storm 1 schematisch kunnen worden voorgesteld door de lijn $V A_1 Z_1$ van fig. 2 en bij storm 2 door de lijn $V A_2 Z_2$.

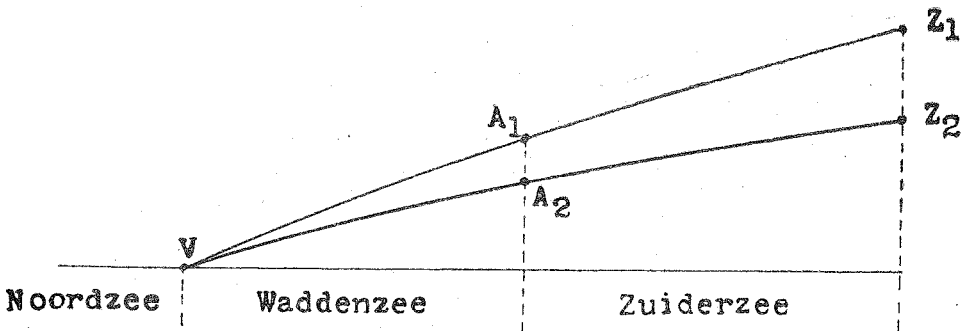


Fig. 2.

Bij gelijke omstandigheden, wat de op den stormvloedstand invloed uitoefenende factoren betreft, doch alleen een verschil in

Zuiderzeestand, die bij storm 2, Z_1 Z_2 lager is dan bij storm 1, zal het hoogwater in de Waddenzee bij den afsluitdijk bij storm 2 A_1 A_2 lager blijven dan bij storm 1.

Het verschil A_1 A_2 , dat den verlagenden invloed aangeeft van een verschil in Zuiderzeestanden Z_1 Z_2 bij eenzelfde Noordzeestand en eenzelfde wind, zal van de grootte van dat verschil Z_1 Z_2 der Zuiderzeestanden afhangen.

Kon men dus beschikken over een aantal stormvloedstanden bij eenzelfde Noordzeestand en eenzelfde wind en bij verschillende waarden voor het verschil Z_1 Z_2 , dan zou uit het vergelijken dier stormvloedstanden een verband tusschen de verlaging A_1 A_2 en het verschil Z_1 Z_2 kunnen worden afgeleid.

In werkelijkheid komen echter stormvloedstanden met eenzelfde Noordzeestand en eenzelfde wind, doch alleen met verschillende hoogten van het Zuiderzeepil, zelden voor.

Bepaling van den verlagenden invloed van de Zuiderzee uit het vergelijken van stormvloedstanden, als bovengenoemd, zal derhalve niet mogelijk zijn.

Om den verlagenden invloed te bepalen zal men uit meerdere stormvloedstanden de verschillende factoren, Noordzeestand, wind en Zuiderzeestand moeten scheiden, hetgeen is geschied door uit te gaan van het als normaal aangenomen geval zonder wind, voor welk geval de H. W.-standen langs de Friesche kust en in de Noordzee bekend zijn.

Onder dit normale geval zonder wind wordt verstaan de toestand bij H. W. in de Waddenzee, zooals die gemiddeld volgens de dagelijksche getijbeweging voorkomt. Bij dit normale geval is de gemiddelde Zuiderzeestand ongeveer 40 c.M. lager dan de gemiddelde Waddenzeestand.

Onder Waddenzee wordt hierbij verstaan de oppervlakte ter grootte van ongeveer 165 000 H.A., begrensd door de Friesche kust, den afsluitdijk, een lijn loopende langs de eilanden Texel, Vlieland en Terschelling en een lijn loopende vandaar naar de Friesche kust ongeveer // aan de richting Vlieland—Harlingen, zooals op de situatie bijlage A is aangegeven. De lijn van Terschelling naar de Friesche kust loopt over het Terschellingerwad omstreeks ter plaatse van het wantij, dat is ongeveer de grens tusschen de invloeden onder normale omstandigheden van de waterbeweging uit Vliestroom en Amelandergat.

Onder Zuiderzee wordt verstaan de geheele oppervlakte, ter

grootte van ongeveer 360 000 H.A., binnen den van Wieringen naar Piaam te leggen afsluitdijk.

Bij normale omstandigheden bestaat gemiddeld een constant verschil tusschen het H. W. op een plaats in de Waddenzee langs de Friesche kust en het H. W. in de Noordzee, voor welk laatste H. W. zal worden genomen het H. W. te Vlieland, dat gerekend wordt niet meer onder den invloed van de Zuiderzee te staan.

Stel nu het geval, dat bij H. W. in de Waddenzee zonder wind het verschil van den gemiddelden Waddenzeestand en gemiddelden Zuiderzeestand niet meer gelijk aan het normale verschil is, doch daarvan afwijkt, dan zal ook het verschil tusschen H. W. op een plaats langs de Friesche kust en H. W. te Vlieland van het normale verschil een afwijking ondergaan, welke afwijking van de grootte der afwijking van het normale niveauverschil tusschen beide zeeën afhankelijk zal zijn en daarmede in lineair verband zal worden aangenomen.

Ook zal het verschil tusschen H. W. op een plaats langs de Friesche kust en H. W. te Vlieland van het normale verschil afwijken, wanneer er bij het normale niveauverschil tusschen Waddenzee en Zuiderzee wind optreedt.

De waterstand langs de Friesche kust wordt dan verhoogd tengevolge van de opwaaiing of directen windinvloed op de kust en verlaagd tengevolge van de afstroming van water van de Waddenzee naar de Zuiderzee.

De opwaaiing of directe windinvloed op de kust is onafhankelijk van het verschil van Zuiderzeestand en Waddenzeestand en zal voor elke windrichting en windkracht een bepaalde waarde hebben.

De verlaging tengevolge van de afstroming van water naar de Zuiderzee, of wel de verlagende invloed van de Zuiderzee, is afhankelijk van het verschil van Zuiderzeestand en Waddenzeestand en van de windrichting en windkracht.

Is de Zuiderzeestand zooveel hooger dan de Waddenzeestand, dat de reeds vroeger genoemde evenwichtstoestand wordt bereikt, dan wordt de afstroming van water onder den invloed van den wind van Waddenzee naar Zuiderzee opgeheven door terugstroming van water van Zuiderzee naar Waddenzee onder invloed van het niveauverschil.

De verlagende invloed van den wind wordt dan weer opge-

heven door een verhooging tengevolge van het niveauverschil, dat van den normalen toestand afwijkt.

Bij elke windrichting en windkracht zal een bepaalde evenwichtstoestand behooren, of wel een bepaalde afwijking van het normale niveauverschil behooren, waarbij de evenwichtstoestand voorkomt.

Men zal dus voor elke windrichting en windkracht een niveauverschil kunnen bepalen, dat de afstroming zal opheffen of, met tegengesteld teeken in rekening gebracht, eenzelfde afstroming zou veroorzaken.

De wind kan dus, wat den verlagenden invloed op de H. W.-standen in de Waddenzee betreft, door een niveauverschil worden vervangen.

Deze omstandigheid maakt het mogelijk, den totalen verlagenden invloed van niveauverschil en wind door één term voor te stellen, waarbij dan de wind met een niveauverschil is gelijk gesteld.

De bepaling van de niveauverschillen, waarmede de wind bij verschillende richtingen en krachten is gelijk te stellen, is geschied uit de stijgingen per tijdseenheid der gemiddelde Zuiderzeestanden met en zonder wind.

In hoofdstuk II is het verband bepaald dat er bestaat tusschen de stijging per tijdseenheid van den gemiddelden Zuiderzeestand en verschil in stand van Waddenzee en Zuiderzee (niveauverschil), zonder wind.

In hoofdstuk III is de invloed van den wind op de stijging per tijdseenheid van den gemiddelden Zuiderzeestand afgeleid, door van de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand met wind de in hoofdstuk II berekende stijging zonder wind, doch alleen onder invloed van een niveauverschil, af te trekken. Hierbij is dus aangenomen, dat het verschil in waterdiepte bij een geval met wind en een geval zonder wind, geen verandering in het verband tusschen stijging van den Zuiderzeestand en niveauverschil veroorzaakt, hetgeen is geground op de omstandigheid, dat de waterstromingen in hoofdzaak worden beheerscht door de stroomingen door de diepe geulen, waarvoor het verschil in diepte bij een geval met wind en een geval zonder wind ten opzichte van de totale waterdiepte slechts gering is. De invloed van den wind op de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand bekend zijnde, kan voor elke wind-

richting en windkracht het niveauverschil worden bepaald dat eenzelfde stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand zou veroorzaken of m. a. w. van de Waddenzee eenzelfde afstroming naar de Zuiderzee tengevolge zou hebben als de wind.

Hiermede was dus bepaald met welk niveauverschil de wind voor elke richting en kracht gelijk kan worden gesteld wat den verlagenden invloed op de waterstanden in de Waddenzee betreft.

Vervolgens zijn in hoofdstuk IV de directe windinvloed op de kust en de verlagende invloed van de Zuiderzee berekend voor de plaatsen Harlingen, Hindeloopen en Stavoren uit een aantal bij die plaatsen waargenomen stormvloedstanden.

Voor elk dier stormvloedten werd uit de waargenomen H. W.-standen de afwijking van het normale verschil tusschen H. W. op genoemde plaatsen en H. W. te Vlieland bepaald. Die afwijkingen bestaan uit de opwaaiing of den directen windinvloed op de kust, welke onafhankelijk van den Zuiderzeestand is, en de verlaging door de aanwezigheid van de Zuiderzee onder invloed van den wind en van het niveauverschil tusschen Waddenzee en Zuiderzee, voor zoover dit van het normale niveauverschil afwijkt.

Doordat het, met hetgeen in hoofdstuk III is bepaald, mogelijk is, den invloed van den wind op de verlaging der stormvloedstanden gelijk te stellen met den invloed van een niveauverschil, dat eenzelfde verlaging zou veroorzaken, kon de wind en het waargenomen niveauverschil als één term, het totale niveauverschil worden voorgesteld en voor elken stormvloed de afwijking van dat totale niveauverschil van het normale worden bepaald. Door indeeling in groepen volgens de windrichting en volgens de grootte van laatstgenoemde afwijking van het normale niveauverschil, konden eenige vergelijkingen worden verkregen waaruit de onbekenden: dit zijn de directe windinvloed op de kust en de verlagende invloed van de Zuiderzee, konden worden berekend.

In hoofdstuk V is uit den in hoofdstuk IV berekenden verlagenden invloed voor Harlingen, Hindeloopen en Stavoren, de verlagende invloed voor de tusschen Hindeloopen en Harlingen gelegen plaatsen Piaam, Makkum en Surich grafisch afgeleid en zijn een paar getallenvoorbeelden gegeven, om aan te toonen wat met de kennis van den verlagenden invloed is bereikt.

Voorts is in hoofdstuk VI de verhooging der H. W.-standen

langs de Friesche kust onder normale omstandigheden tengevolge van de afsluiting van de Zuiderzee bepaald, daarbij uitgaande van de onderstelling, dat de invloed van de afsluiting der Zuiderzee overeenkomt met een invloed van een verhooging van het gemiddelde Zuiderzeepeil tijdens H. W. langs de Friesche kust tot aan den evenwichtstoestand onder normale omstandigheden.

Tenslotte is in dit hoofdstuk bepaald, de verhooging der stormvloedstanden langs de Friesche kust tengevolge van de afsluiting van de Zuiderzee bij de drie hevigste stormvloeden welke in de laatste 30 jaren zijn voorgekomen, uit de verhooging van den gemiddelden Zuiderzeestand tot aan een peil, overeenkomende met den evenwichtstoestand voor elk dier stormvloeden.

HOOFDSTUK II.

AFLEIDING VAN HET VERBAND TUSSCHEN STIJGING VAN DEN GEMIDDELDEN ZUIDERZEESTAND PER TIJDSEENHEID EN VERSCHIL IN STAND VAN WADDENZEE EN ZUIDERZEE BIJ NORMALE WATERSTANDEN EN WINDSTILTE.

De bepaling van het verband tusschen de stijging per tijds-eenheid van den gemiddelden Zuiderzeestand binnen den afsluitdijk en het verschil in waterstand van Waddenzee en Zuiderzee is op twee manieren geschied en wel eerst uit de gemiddelde getijkrommen en daarna uit waargenomen waterstanden bij nagenoeg windstilte.

Voor de gemiddelde getijkrommen werd gebruik gemaakt van getijkromme $M_2 + M_4 + M_6$ uit „getijkrommen van plaatsen aan de Nederlandsche kust en benedenrivieren” door M. H. VAN BERESTEIJN, welke krommen een voorstelling geven van de gemiddelde dagelijksche getijbeweging.

Uit de ordinaten, welke voor elk halfmaand zijn opgegeven, en uit den middenstand ten opzichte van N.A.P. berekend voor de 19 jarige periode 1885—1903 uit de vier uurstanden 2 en 8 uur v.m. en n.m., A_0 (4 uren), valt voor elke plaats langs de Zuiderzee en de Waddenzee de gemiddelde dagelijksche getijbeweging ten opzichte van N.A.P. af te leiden.

De gemiddelde standen voor Zuiderzee en Waddenzee op elk half maand werden bepaald uit de standen van Helder, Vlieland, Harlingen, Hindeloopen, Stavoren, Lemmer, Kraggenburg, Elburg, Nijkerk, Oranjesluizen, Urk en Enkhuizen, op de wijze als in bijlage I van de door de Zuiderzeevereeniging uitgegeven brochure „Verhooging van de stormvloedstanden op de Friesche kust, tengevolge van de afsluiting der Zuiderzee”, is aangegeven.

Uitgezet volgens maanuren worden dan de in fig. 3 geteekende getijlijnen verkregen, en wel H_1 voor de Zuiderzee en H_2 voor de Waddenzee.

Gemiddelde dagelijksche getijbeweging ($M_2 + 4 + 6$).

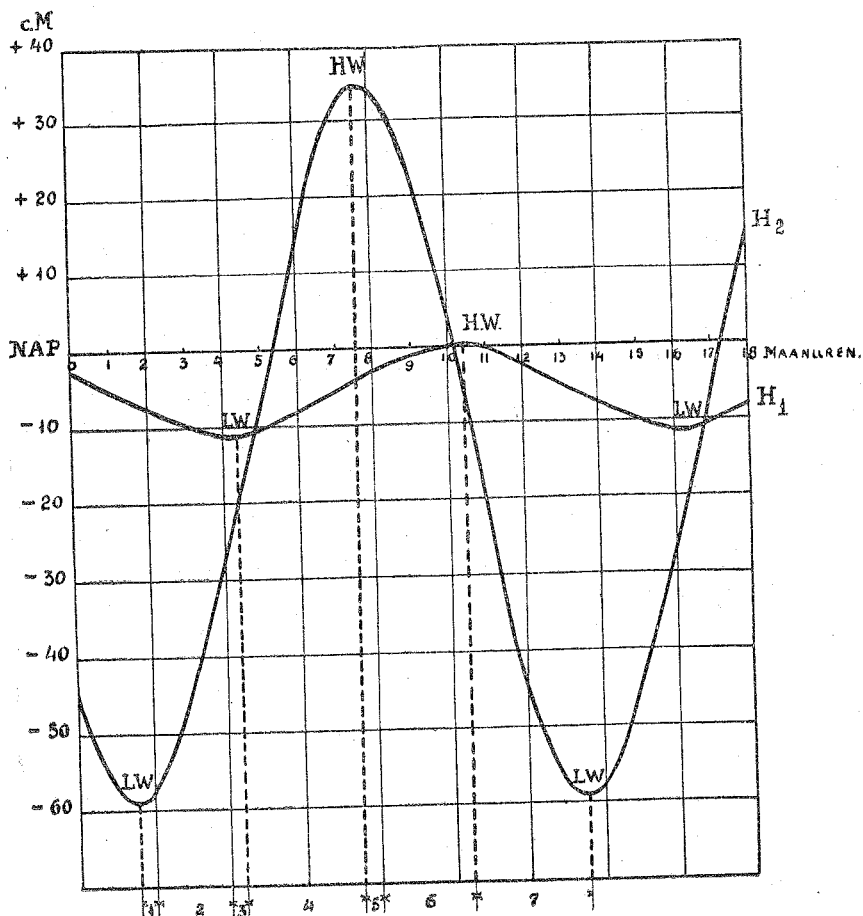


Fig. 3.

Schaal: hoogte 1:10.

lengte 1 c.M. = 2 maanuren.

Deze gemiddelde getijkrommen wijken, daar M_4 en M_6 klein zijn in vergelijking van M_2 , slechts zeer weinig af van sinusoiden, zoodat zij met voldoende nauwkeurigheid door sinusoiden zullen kunnen worden voorgesteld.

Als N = tijverschil of ook wel verval genaamd (max. — min.)
in c.M.

T = de periode = 12 maanuren.

t_1 = het tijdstip voor max.

A_o = de middenstand in c.M. ten opzichte van N.A.P.

en H = de waterstand op een tijd t in c.M. + N.A.P., dan kan elk der getijkrommen worden uitgedrukt in den vorm:

$$H = \frac{N}{2} \cos 2\pi \frac{t - t_1}{T} + A_o \text{ c.M. + N.A.P.}$$

Uit de krommen van figuur 3 wordt gevonden voor de Zuiderzee:

$$N = 11.6 \text{ c.M.}$$

$$t_1 = 10.4 \text{ maanuur.}$$

$$A_o = - 5.3 \text{ c.M.}$$

en voor de Waddenzee:

$$N = 94.0 \text{ c.M.}$$

$$t_1 = 7.6 \text{ maanuur.}$$

$$A_o = - 12.8 \text{ c.M.}$$

De vergelijkingen voor de getijkrommen worden dan voor de Zuiderzee

$$H_1 = \frac{11.6}{2} \cos 2\pi \frac{t - 10.4}{12} - 5.3 \text{ c.M. + N.A.P. . . . (1)}$$

en voor de Waddenzee

$$H_2 = \frac{94}{2} \cos 2\pi \frac{t - 7.6}{12} - 12.8 \text{ c.M. + N.A.P. . . . (2)}$$

In tabel 1 (zie pag. 20) zijn voor de Zuiderzee (H_1) en de Waddenzee (H_2), voor elk half maanuur de standen volgens BERESTEIJN ($M_2 + 4 + 6$), voorgesteld in fig. 3, en die volgens de vergelijkingen (1) en (2) opgegeven, benevens de onderlinge verschillen.

Tabel 1.

Tijd.	H ₁ .			H ₂ .		
	Volgens Getijkromme M ₂₊₄₊₆	Volgens vergel. (1)	Ver- schil.	Volgens Getijkromme M ₂₊₄₊₆	Volgens vergel. (2)	Ver- schil.
Maan- uur.	c.M. + N.A.P.	c.M. + N.A.P.	c.M.	c.M. + N.A.P.	c.M. + N.A.P.	c.M.
0	— 2.3	— 1.5	0.8	— 44.1	— 43.5	0.6
1/2	— 3.8	— 2.8	1.0	— 52.5	— 51.4	1.1
1	— 4.9	— 4.2	0.7	— 57.7	— 56.7	1.0
1 1/2	— 6.1	— 5.7	0.4	— 59.5	— 58.9	0.6
2	— 7.3	— 7.2	0.1	— 57.7	— 58.0	— 0.3
2 1/2	— 8.5	— 8.6	— 0.1	— 52.9	— 53.9	— 1.0
3	— 9.5	— 9.7	— 0.2	— 45.9	— 46.9	— 1.0
3 1/2	— 10.6	— 10.6	0.0	— 37.3	— 37.6	— 0.3
4	— 11.2	— 11.1	0.1	— 27.7	— 26.5	1.2
4 1/2	— 11.2	— 11.2	0.0	— 17.3	— 14.5	2.8
5	— 10.6	— 10.9	— 0.3	— 6.4	— 2.2	4.2
5 1/2	— 9.6	— 10.3	— 0.7	4.6	9.3	4.7
6	— 8.2	— 9.3	— 1.1	15.2	19.5	4.3
6 1/2	— 6.8	— 8.0	— 1.2	24.4	27.4	3.0
7	— 5.4	— 6.6	— 1.2	31.0	32.7	1.7
7 1/2	— 4.3	— 5.1	— 0.8	34.6	34.9	0.3
8	— 3.2	— 3.6	— 0.4	34.3	34.0	— 0.3
8 1/2	— 2.2	— 2.2	0.0	30.5	29.9	— 0.6
9	— 1.1	— 1.1	0.0	23.5	22.9	— 0.6
9 1/2	— 0.3	— 0.2	0.1	14.2	13.6	— 0.6
10	0.2	0.3	0.1	3.1	2.5	— 0.6
10 1/2	0.4	0.4	0.0	— 7.7	— 9.5	— 1.8
11	— 0.1	0.1	0.2	— 21.4	— 21.8	— 0.4
11 1/2	— 1.1	— 0.5	0.6	— 34.8	— 33.3	1.5
12	— 2.3	— 1.5	0.8	— 44.1	— 43.5	0.6

De grootste afwijkingen, welke voorkomen omstreeks halftij, dus bij de grootste rijzing of daling, blijken te bedragen voor de Zuiderzee -1.2 c.M. en $+1.0$ c.M. en voor de Waddenzee -1.8 c.M. en $+4.7$ c.M.

Voor het verschil tusschen den stand in de Waddenzee en de Zuiderzee wordt uit (1) en (2) gevonden :

$$H_2 - H_1 = 47 \cos \pi \frac{t-7.6}{6} - 5.8 \cos \pi \frac{t-10.4}{6} - 7.5 \text{ c.M.}$$

welke vergelijking opnieuw een sinusoïde voorstelt, met maximum voor $t = 7.364$ en verval (max. — min.) = 93.5 c.M. zoodat zij kan worden geschreven :

$$H_2 - H_1 = \frac{93.5}{2} \cos 2\pi \frac{t-7.364}{12} - 7.5 \text{ c.M.}$$

$$\text{of} \quad H_2 - H_1 = -46.75 \sin \pi \frac{t-10.364}{6} - 7.5 \text{ c.M.} \dots (3)$$

Uit (1) volgt

$$\frac{dH_1}{dt} = -\frac{5.8\pi}{6} \sin \pi \frac{t-10.4}{6} = -3.037 \sin \pi \frac{t-10.4}{6}.$$

Hiervoor kan geschreven worden

$$\frac{dH_1}{dt} = -3.036 \sin \pi \frac{t-10.364}{6} + 0.0572 \cos \pi \frac{t-10.364}{6} \quad (4)$$

waarin de tweede term voor praktisch gebruik ten opzichte van den eersten kan worden verwaarloosd.

De grootste waarde van den tweeden term bedraagt n.l. slechts ± 0.06 c.M. of nog geen m.M. per maanuur, terwijl de grootste waarde van den eersten term ± 3 c.M. per maanuur bedraagt.

Vergelijking (4) wordt dus met verwaarloozing van den tweeden term

$$\frac{dH_1}{dt} = -3.036 \sin \pi \frac{t-10.364}{6} \dots \dots \dots (5)$$

Uit (5) en (3) volgt dan

$$\frac{dH_1}{dt} = \frac{3.036}{46.75} (H_2 - H_1 + 7.5) = 0.065 (H_2 - H_1) + 0.49.$$

Tot nu toe werd, omdat de getijkrommen in maanuren zijn uitgedrukt, als tijdseenheid een maanuur aangenomen.

Voor verdere berekening, waarbij gebruik gemaakt wordt van

de gewone uuraflezingen aan de peilschalen, is het praktischer als tijdseenheid het zonuur in te voeren, waartoe bovenstaande vergelijking door 1.035 moet worden gedeeld en met het zonuur als eenheid wordt

$$\frac{dH_1}{dt} = \frac{0.065 (H_2 - H_1) + 0.49}{1.035} = 0.063 (H_2 - H_1) + 0.47 \dots (6)$$

Voor den middenstand is genomen A_o (4 uren). Wordt hiervoor genomen A_o (8 uren), dit is de gemiddelde waterstand van 1908 berekend uit de 8 uren 2, 5, 8, 23 van elken dag van dat jaar, dan wordt in vergelijking (6) de constante term 0.41 in plaats van 0.47. De tweede decimaal van den constanten term in vergelijking (6) kan derhalve verwaarloosd worden.

Voor praktisch gebruik zal als tijdseenheid een uur worden genomen en de toename van H_1 gedurende een uur constant worden beschouwd.

De vergelijking, welke het verband aangeeft tusschen het verschil in gemiddelden waterstand in Waddenzee en Zuiderzee $H_2 - H_1$ in c.M. op zeker oogenblik en de verandering van den gemiddelden waterstand H_1 in de kom der Zuiderzee binnen den afsluitdijk gedurende het volgende uur wordt dan :

$$\Delta H_1 = 0.063 (H_2 - H_1) + 0.4 \text{ c.M.} \dots \dots \dots (7).$$

Uit vergelijking (7) volgt, dat bij $H_2 = H_1$ dus gelijken stand in Waddenzee en Zuiderzee nog eenige strooming naar de Zuiderzee plaats heeft, zoodat de gemiddelde Zuiderzeestand in een uur nog 4 m.M. zou zijn gestegen.

De evenwichtsstand zou volgens vergelijking (7) voorkomen voor $H_2 - H_1 = -\frac{0.4}{0.063} \text{ c.M.} = -6.3 \text{ c.M.}$, hetgeen ook in fig. 3 valt te zien, waar bij H. W. en L. W. in de Zuiderzee (H_1) de stand in de Waddenzee (H_2) ongeveer 6 c.M. lager is, zoodat bij stilstaand water de gemiddelde stand in de Zuiderzee omstreeks 6 c.M. hooger zou zijn dan in de Waddenzee.

Dit verschil kan het gevolg zijn van verschil in soortelijk gewicht en mogelijk overheerschende westelijke winden.

Ter beoordeeling van de aan vergelijking (7) toe te kennen waarde, is het verband tusschen verschil in waterstand in Wad-

denzee en Zuiderzee en de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand nog op een tweede manier globaal bepaald uit de uurwaterstanden, tijdens perioden van nagenoeg windstille in de jaren 1908—1915, waargenomen aan de peilschalen bij de in den aanvang van dit hoofdstuk op blz. 17 genoemde plaatsen.

Hiervoor werden uitgezocht perioden met een windkracht volgens Beaufortschaal kleiner dan 2, en voor die perioden opgezocht de uurstanden aan de peilschalen langs Zuiderzee en Waddenzee en daaruit de gemiddelde waarden H_2 voor de Waddenzee en H_1 voor de Zuiderzee berekend. De veranderingen van H_1 per uur werden hierna gerangschikt volgens de verschillen $H_2 - H_1$ en voor 5 groepen de gemiddelden bepaald.

In tabel 2 zijn de uitkomsten opgegeven, n.l. in kolom 1 het aantal waarnemingen, in kolom 2 het gemiddelde verschil $H_2 - H_1$, in kolom 3 de daarbij behorende verandering ΔH_1 per zonuur, afgeleid uit de waargenomen uurstanden, in kolom 4 de ΔH_1 volgens vergelijking (7) en in kolom 5 het verschil van de uit de waarnemingen afgeleide ΔH_1 en die volgens vergelijking (7).

Tabel 2.

Aantal waarnemingen.	$H_2 - H_1$.	ΔH_1 uit uurstanden.	ΔH_1 volgens vergelijking (7).	Vershil 3—4.
1	2	3	4	5
	c.M.	c.M./uur.	c.M./uur.	c.M./uur.
31	48.7	3.5	3.5	0.0
41	34.8	2.2	2.6	-0.4
127	5.0	0.6	0.7	-0.1
59	-30.3	-1.3	-1.5	0.2
87	-54.2	-2.9	-3.0	0.1

Uit bovenstaande cijfers moge blijken, dat beide methoden slechts weinig uiteenlopende uitkomsten geven.

Hoewel het hier slechts betreft een becijfering met gemiddelden over groote oppervlakten en langen tijdsduur, kan hiermede in groote trekken een denkbeeld worden verkregen van de wijze van vulling van de Zuiderzee beneden den afsluitdijk en het verband met het verschil in stand van Waddenzee en Zuiderzee.

Uit vergelijkingen (1) en (2) op blz. 19 blijkt voorts dat de gemiddelde getijkrommen van Waddenzee en Zuiderzee een phaseverschil hebben van 2.8 maanuur. (Zie ook fig. 3 blz. 18).

De gemiddelde getijbeweging in de Zuiderzee is dus 2.8 maanuur achter bij die van de Waddenzee, zoodat dus de stijging van den Zuiderzeestand eerst voor ruim de helft plaats vindt tijdens stijging en daarna tijdens daling van den waterstand in de Waddenzee; en omgekeerd ook de daling van den Zuiderzeestand eerst voor ruim de helft plaats vindt tijdens daling en daarna tijdens stijging van den stand in de Waddenzee.

In het schema op blz. 25 is een overzicht gegeven van de wijze van vulling en lediging van Waddenzee en Zuiderzee zooals dit uit de gemiddelde waterhoogten kan worden afgeleid uitgaande van het oogenblik van gemiddeld L.W. in de Waddenzee, en berekend voor een oppervlakte van de Zuiderzee beneden den afsluitdijk van 360 000 H.A. en van de Waddenzee boven den afsluitdijk tot een lijn evenwijdig Vlieland—Harlingen op ongeveer halverwege Terschelling van 165 000 H.A., waarvan 35 000 H.A. bij 0.10 M.—N.A.P. droogvallen en 65 000 H.A. bij 0.35 M.—N.A.P. en lager droogvallen.

De cijfers zijn daarbij opgegeven in millioen M³. en de perioden afgerond op halve maanuren.

De cijfers boven de pijlen duiden de hoeveelheden aan, die telkens in het beschouwde tijdsverloop van Noordzee naar Waddenzee en van Waddenzee naar Zuiderzee stroomen of omgekeerd, terwijl onder de woorden Waddenzee en Zuiderzee is aangegeven met een + teeken de ingestroomde hoeveelheid en met een — teeken de uitgestroomde hoeveelheid voor elk dier kommen. In fig. 3 blz. 18 zijn de perioden tevens door de volgnummers aangegeven.

Volg-nummer.	Duur periode.				
1	1/2 maanuor	Noordzee	← 25	Waddensee + 20	← 45 Zuiderzee - 45
2	2 „	Noordzee	→ 180	Waddensee + 320	← 140 Zuiderzee - 140
3	1/2 „	Noordzee	→ 135	Waddensee + 135	↔ 0 Zuiderzee 0
4	3 „	Noordzee	→ 1080	Waddensee + 830	→ 250 Zuiderzee + 250
5	1/2 „	Noordzee	→ 35	Waddensee - 5	→ 40 Zuiderzee + 40
6	2 1/2 „	Noordzee	← 565	Waddensee - 695	→ 130 Zuiderzee + 130
7	3 „	Noordzee	← 840	Waddensee - 605	← 235 Zuiderzee - 235

Bovenstaande cijfers, die als gemiddelden over groote oppervlakten zijn opgemaakt, zullen als benadering voldoende juist zijn om een algemeen inzicht te geven in de wijze waarop de in- en uitstroaming plaats heeft en de hoeveelheden, die daarvoor onder normale omstandigheden noodig zijn.

De totale hoeveelheid, die per getij geborgen wordt, bedraagt volgens bovenstaande cijfers:

in de Zuiderzee . . 250 + 40 + 130 = 420 millioen M³.

„ „ Waddensee . 20 + 320 + 135 + 830 = 1305 „ „

„ „ Zuiderzee en
Waddensee

te zamen . . 180 + 135 + 1080 + 35 = 1430 „ „

In deze cijfers is niet begrepen mogelijke circulatie van water, dat door één zeegat instroomt en door een ander gelijktijdig weer uitstroomt, of ook in de Zuiderzee van uit de Waddenzee door één stroomgeul binnenkomt en door een ander gelijktijdig weer uitstroomt.

Verwacht mag worden, dat na afsluiting van de Zuiderzee eventueele circulatie in de Waddenzee zal toenemen, zoodat, indien in de Waddenzee de getijbeweging hetzelfde zou blijven, het verschil van de totale hoeveelheid, die thans door de zeegaten wordt aangevoerd en de hoeveelheid die in de Waddenzee wordt geborgen, door de afsluiting der Zuiderzee niet ten volle zal worden verminderd met de hoeveelheid die thans wordt aangevoerd voor de vulling van de Zuiderzee.

Uit de hierboven gegeven cijfers valt een grenswaarde af te leiden voor de vermindering van de waterstreaming door de zeegaten bij afsluiting van de Zuiderzee, hetgeen van belang is ter beoordeeling in hoeverre na afsluiting der Zuiderzee door eene beteekenende vermindering van de waterstreaming door de zeegaten, verzanding van die zeegaten is te verwachten. Om die grenswaarde te bepalen kan men het geval stellen, dat in de Waddenzee het L. W. en H. W. na afsluiting der Zuiderzee hetzelfde zouden blijven als thans. In dat geval zou in de Waddenzee alleen per getij geborgen worden ongeveer 1305 millioen M³. en zou, als ook de circulatie van water niet zou toenemen, van uit de Noordzee slechts 1430 — 1305 = 125 millioen M³. minder worden aangevoerd.

Bij eenzelfde getijbeweging in de Waddenzee en dezelfde circulatie van water zou dus door de afsluiting van de Zuiderzee de hoeveelheid water die door de zeegaten binnenstroomt, zeer globaal berekend, met niet meer dan 9% verminderen. In werkelijkheid zal het hier gestelde geval zich niet voordoen, doch in de Waddenzee meer water worden geborgen per getij dan thans, zoodat de vermindering van de streaming door de zeegaten geringer dan 9% zal zijn.

Voorts valt uit de cijfers globaal af te leiden een maximum maat voor de verhooging van gemiddeld H. W. in de Waddenzee onder normale omstandigheden.

Na afsluiting van de Zuiderzee zal toch in geen geval *meer* water door de zeegaten worden aangevoerd, zoodat de maximum verhooging in de Waddenzee zou voorkomen, wanneer door de

zeegaten evenveel water zou worden aangevoerd en het water, dat thans in de Zuiderzee wordt geborgen, dan ook in de Waddenzee zou moeten worden opgenomen.

Afgezien van eventuele meerdere circulatie zou dan als maximum in de Waddenzee na afsluiting der Zuiderzee geborgen moeten worden 1430 millioen M³. tegen 1305 millioen M³. thans, d. w. z. een maximum vermeerdering van 125 millioen M³. of bijna 10 %.

Wordt aangenomen dat de middenstand ongeveer hetzelfde blijft en dus het H. W. evenveel wordt verhoogd als het L. W. wordt verlaagd, dan zal door die meerdere berging van 125 millioen M³. bij een oppervlakte van de Waddenzee van 165 000 H.A. bij H. W. en 100 000 H.A. bij L. W., de gemiddelde verhooging van H. W. en verlaging van L. W. bedragen

$$\frac{125\ 000\ 000\ M^3}{(100\ 000 + 165\ 000) \times 10\ 000\ M^2} = \text{ongeveer } 0.05\ M.,$$

terwijl dan door de zeegaten evenveel water zou worden aangevoerd als vóór de afsluiting.

Hoewel de cijfers slechts als globaal zijn te beschouwen, geven zij eene aanwijzing dat de verandering van de waterbeweging door de afsluiting van de Zuiderzee, gemiddeld over groote oppervlakten beschouwd, niet van groote beteekenis kan zijn, omdat thans reeds van het door de zeegaten binnenstroomende water verreweg het grootste gedeelte in de Waddenzee wordt geborgen.

HOOFDSTUK III.

AFLEIDING VAN DEN INVLOED VAN DEN WIND OP DE STIJGING
PER TIJDSEENHEID VAN DEN GEMIDDELDEN ZUIDERZEESTAND.

In Hoofdstuk II is afgeleid welk verband er bestaat tusschen het verschil in gemiddelden stand van Waddenzee en Zuiderzee, verder kortweg verschil in stand genaamd, en de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand in het volgende uur, en werd daarvoor gevonden vergelijking (7) blz 22 :

$$\Delta H_1 = 0.063 (H_2 - H_1) + 0.4 \quad \text{c.M./uur}$$

als H_2 en H_1 de gemiddelde standen in Waddenzee en Zuiderzee aan het begin van het uur voorstellen.

Bovenstaande betrekking is afgeleid voor normale omstandigheden zonder wind. Zoodra er wind is zal de stijging van den Zuiderzeestand niet meer alleen onder invloed staan van het verschil in stand, doch zal ook de wind op die stijging een invloed uitoefenen.

Bij westelijke en noordelijke winden zal n.l. het water van de Waddenzee naar de Zuiderzee worden gedreven en de gemiddelde stand in de Zuiderzee dus onder den invloed van den wind een stijging ondergaan; bij oostelijke en zuidelijke winden heeft het omgekeerde plaats.

Bij wind zal derhalve de totale stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand uit twee gedeelten bestaan n.l. een gedeelte veroorzaakt door het verschil in stand en een gedeelte veroorzaakt door den wind.

Is δ de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand in c.M. per uur veroorzaakt door den wind aan het begin van het uur en wordt de invloed van den wind telkens gedurende een uur constant beschouwd, dan wordt de totale stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand bij wind uitgedrukt door:

$$\Delta H_1 = 0.063 (H_2 - H_1) + 0.4 + \delta \text{ c.M./uur. (8)}$$

Hierbij is dus ondersteld, dat het verband tusschen stijging van den Zuiderzeestand en verschil in stand bij normale water-

standen, ook bij abnormale waterstanden blijft doorgaan en dus een grootere waterdiepte in dit verband geen wijziging brengt.

Deze onderstelling is gegrond op de omstandigheid dat de waterstromingen in hoofdzaak worden beheerscht door de stroomingen door de diepe geulen, waarvoor het verschil in diepte, bij een geval met wind en een geval zonder wind, ten opzichte van de totale waterdiepte slechts gering is.

Wanneer men zich nu den waterspiegel in de Noordzee in rust denkt, dan zal onder den invloed van den wind de waterspiegel in Waddenzee en Zuiderzee eene helling aannemen, totdat bij voldoende langen duur van den wind een evenwichtsstand is bereikt, waarbij, gemiddeld over de geheele oppervlakte beschouwd, een verschil in stand ontstaat zoodanig, dat de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand onder invloed van den wind, gelijk is aan de daling van den gemiddelden Zuiderzeestand tengevolge van het verschil in stand of omgekeerd. De windinvloed kan dus gelijk gesteld worden aan den invloed van een verschil in stand, dat eenzelfde strooming van Waddenzee naar Zuiderzee, of dus ook eenzelfde stijging per tijdseenheid van den gemiddelden Zuiderzeestand zou veroorzaken.

De windinvloed is afhankelijk van de windkracht en van de windrichting.

Om nu den windinvloed δ voor verschillende windrichtingen en windkrachten te bepalen, zal het noodig zijn uit een groot aantal uurwaarnemingen der waterstanden bij wind de gemiddelde standen H_2 en H_1 en de stijging ΔH_1 per uur te bepalen en daarmee de waarden voor den windinvloed

$$\delta = \Delta H_1 - 0.063 (H_2 - H_1) - 0.4$$

te berekenen.

Dit is geschied voor de 3 belangrijkste stormvloedden die in de laatste 30 jaren zijn voorgekomen n.l. die van 22/23 December 1894, 12/13 Maart 1906 en 13/14 Januari 1916, voorts voor den zeer langdurigen storm van December 1895 waarvoor reeds alle uurwaarnemingen waren verzameld voor een ander onderzoek als het onderhavige en ten slotte voor alle perioden in de jaren 1908—1914 waarbij de windsnelheid te Helder grooter was dan 10 M./sec. volgens de opgaven in de jaarboeken van het Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut.

Voor elk uur werden bepaald H_2 , H_1 , windrichting en wind-

kracht te Helder volgens Beaufortschaal en de stijging ΔH_1 in het volgende uur, totaal voor 2684 waarnemingen bij 210 stormvloed en uit deze gegevens de δ 's berekend.

Voor elke windrichting werden de berekende δ 's gerangschikt volgens de windkrachten en de gemiddelden bepaald voor kracht 5 en kleiner, kracht 6, 7, 8 en kracht 9 en grooter.

De uitkomsten der op deze wijze berekende gemiddelde δ 's voor de diverse groepen zijn in hiernevenstaande tabel 3 opgegeven, waarbij n het aantal waarnemingen aangeeft, waaruit de gemiddelden zijn bepaald.

Ten einde uit de in tabel 3 opgegeven cijfers een algemeen verband af te leiden, werd uitgegaan van de onderstelling dat de verhouding van den windinvloed bij verschillende krachten tot dien bij een bepaalde kracht, waarvoor werd genomen kracht 7, voor verschillende windrichtingen hetzelfde is, welke onderstelling, zooals later uit de cijfers van tabel 5 blz. 32 zal blijken, geoorloofd is.

Om nu de verhouding van den windinvloed bij een kracht n tot dien bij kracht 7, welke verhouding door $\frac{k n}{k_7}$ zal worden aangeduid, uit de gemiddelde waarden van δ te bepalen, werden de windrichtingen in 4 groepen ingedeeld, n. l.

groep 1	Z	ZZW	en	ZW
„ 2	WZW	W	en	WNW
„ 3	NW	NNW	en	N
„ 4	NNO	NO	en	ONO.

In elke groep werden aan de δ 's voor de verschillende richtingen gewichten toegekend volgens het aantal waarnemingen.

Ten einde gemakkelijk te kunnen beoordeelen, of, bij het rangschikken naar de windkrachten, de windrichtingen voldoende gelijkmatig over de diverse groepen waren verdeeld, werden de richtingen van Z rondgaande volgens de wijzers van een uurwerk genummerd en wel

$$\begin{aligned} Z &= 0 \\ ZZW &= 1 \\ ZW &= 2 \text{ enz.} \end{aligned}$$

zoodat eenvoudig de gemiddelde richting in elke groep was te bepalen.

Tabel 3.

Windrichting . . .	Z		ZZW		ZW		WZW		W		WNW		NW								
	Windkracht.	δ	kr	δ	n	kr	δ	n	kr	δ	n	kr	δ	n							
INDEELING.																					
Kracht 5 en kleiner.	4.8	-0.7	31	4.5	-0.6	55	4.6	-0.3	101	4.3	0.8	24	4.8	0.4	50	4.9	-0.2	27	4.8	0.8	35
Kracht 6	6	-0.7	41	6	-0.8	65	6	-0.5	90	6	0.8	43	6	1.3	70	6	1.1	49	6	2.0	107
"	7	-2.4	74	7	-1.2	98	7	-0.9	94	7	0.7	57	7	1.5	101	7	2.5	36	7	3.2	85
"	8	-2.1	61	8	-1.9	63	8	-1.3	50	8	1.4	18	8	2.4	53	8	4.3	20	8	5.1	29
Kracht 9 en grooter.	10.1	-1.9	19	9.4	-2.0	16	9.3	-0.9	18	9.1	0.8	18	9.3	3.5	70	9.8	5.0	19	9.2	5.3	29
Totaal gemiddeld .	7.0	-1.7	226	6.7	-1.2	297	6.3	-0.7	353	6.7	0.8	160	7.1	1.8	344	6.8	2.1	151	6.7	2.8	285

Windrichting . . .	NNW		N		NNO		NO		ONO		O							
	Windkracht.	δ	n	kr	δ	n	kr	δ	n	kr	δ	n						
INDEELING.																		
Kracht 5 en kleiner.	4.9	1.0	37	4.8	1.0	32	4.9	1.0	13	4.9	0.5	25	4.9	-0.1	24	4.8	-0.4	38
Kracht 6	6	1.5	52	6	1.7	60	6	1.0	60	6	0.4	74	6	-0.3	65	6	0.0	36
"	7	2.9	46	7	3.3	27	7	1.1	35	7	0.5	93	7	-0.5	28	7.1	-0.3	13
"	8	2.5	27	8	4.9	12	8	2.8	9	8	1.3	36	9					
Kracht 9 en grooter.	9.5	7.3	8	9.3	6.3	9				9	0.6	9						
Totaal gemiddeld .	6.5	2.3	170	6.3	2.5	140	6.3	1.1	117	6.7	0.5	237	6.0	-0.2	117	5.7	-0.2	87

Voor de gemiddelde waarden van δ werden de in tabel 4 opgegeven uitkomsten verkregen.

Tabel 4.

Groep 1.			Groep 2.			Groep 3.			Groep 4.		
windkracht.	windrichting.	δ	kr	r	δ	kr	r	δ	kr	r	δ
4.62	1.4	- 0.51	4.71	4.0	0.35	4.83	7.0	0.91	4.9	10.0	0.52
6	1.3	- 0.65	6	4.0	1.14	6	6.8	1.78	6	10.0	0.53
7	1.1	- 1.39	7	3.9	1.55	7	6.6	3.14	7	10.0	0.66
8	0.9	- 1.71	8	4.0	2.61	8	6.8	4.29	8	9.8	1.52
9.54	1.0	- 1.53	9.37	4.0	3.22	9.31	6.6	6.13			

De in tabel 4 opgenomen waarden voor de gemiddelde δ 's zijn voor elke groep graphisch uitgezet op bijlage B, waarna door de diverse punten vloeiende krommen werden getrokken.

Uit deze krommen werd de verhouding $\frac{k n}{k_7}$ van windinvloed δ bij kracht n tot dien bij kracht 7 afgelezen, hetgeen het in tabel 5 opgegeven resultaat gaf.

Tabel 5.

Windkracht.	Verhouding $\frac{k n}{k_7}$			
	groep 1.	groep 2.	groep 3.	groep 4.
4	0.28	0.23	0.20	0.25
5	0.48	0.37	0.35	0.42
6	0.70	0.62	0.62	0.64
7	1.—	1.—	1.—	1.—
8	1.40	1.43	1.42	1.44
9	1.90	1.92	1.90	1.97
10	2.50	2.45	2.43	2.50
Totaal aantal waarnemingen voor elke groep.	876	655	595	471

Uit de cijfers van tabel 5 blijkt, dat de verhoudingen $\frac{k n}{k_7}$ in de verschillende groepen slechts weinig verschillen, zoodat de onderstelling, dat die verhouding voor verschillende windrichtingen dezelfde mag worden genomen, voldoende juist blijkt te zijn.

Rekening houdende met de gewichten voor elk der groepen, werden uit de in tabel 5 opgegeven cijfers als algemeen geldende verhouding $\frac{k n}{k_7}$ de in de tweede kolom van tabel 6 gegeven waarden afgeleid, terwijl in de derde kolom de voor praktisch gebruik afgeronde waarden zijn opgegeven.

Tabel 6.

Windkracht.	Verhouding $\frac{k n}{k_7}$	
	afgeleid uit tabel 5.	afgerond.
4	0.24 ± 0.03	0.25
5	0.41 ± 0.04	0.40
6	0.65 ± 0.02	0.65
7	1.—	1.—
8	1.42 ± 0.02	1.40
9	1.92 ± 0.05	1.90
10	2.47 ± 0.05	2.50

In achterstaande figuur 4 is volgens de cijfers van de laatste kolom van tabel 6 de kromme geteekend, die het voor alle windrichtingen geldende verband tusschen windkracht en verhouding van windinvloed bij kracht n tot dien bij kracht 7 weergeeft.

De verhouding $\frac{kn}{k_7}$ van windinvloed bij kracht n tot windinvloed bij kracht 7 bepaald zijnde, kunnen nu voor elke windrichting uit de in tabel 3 blz. 31 opgegeven waarden voor den windinvloed δ bij verschillende krachten, de windinvloeden bij eenzelfde kracht, waarvoor genomen is kracht 7, worden afgeleid.

Verhouding $\frac{kn}{k_7}$ van windinvloed bij kracht n tot windinvloed bij kracht 7.

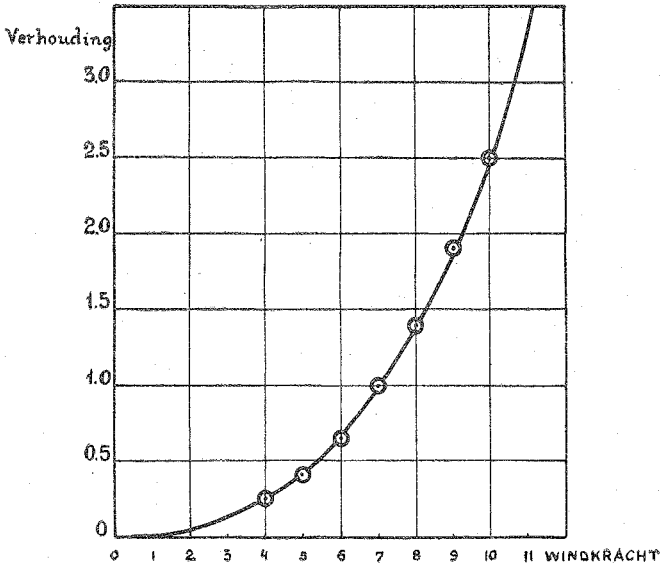


Fig. 4.

Voor elke windrichting werden bij het bepalen der gemiddelde windinvloeden bij kracht 7 uit de gemiddelde δ 's voor de verschillende krachten, de gewichten genomen evenredig met het aantal waarnemingen waaruit de verschillende δ 's zijn bepaald en met het vierkant van het verhoudingsgetal $\frac{kn}{k_7}$.

Als toch m de middelbare fout in de enkele waarneming is en wordt aangenomen, dat de waarnemingen alle met dezelfde nauwkeurigheid zijn geschied, dan is de middelbare fout in de waarde, welke voor het bepalen van den gemiddelden windinvloed bij kracht 7 dient, afgeleid uit a waarnemingen bij een windkracht n , waarbij de windinvloed $\frac{kn}{k_7}$ maal zoo groot is als

bij kracht 7, $\frac{1}{kn} \frac{m}{k_7 \sqrt{a}}$, zoodat voor de gewichten is te nemen $a \left(\frac{kn}{k_7}\right)^2$.

In tabel 7 zijn de aldus verkregen uitkomsten voor de windinvloeden bij kracht 7 voor de verschillende windrichtingen uitgedrukt in c.M. per uur stijging van H_1 opgegeven, met de middelbare fouten.

Tabel 7.

Wind-richting.	Aantal waarnemingen.	Windinvloed δ bij kracht 7.	Middelbare fout.
		c.M./uur stijging H_1	
Z. . . .	226	— 1.39	± 0.31
ZZW. . . .	297	— 1.20	± 0.06
ZW. . . .	353	— 0.77	± 0.10
WZW. . . .	160	0.71	± 0.18
W. . . .	344	1.65	± 0.07
WNW. . . .	151	2.25	± 0.28
NW. . . .	285	2.99	± 0.19
NNW. . . .	170	2.53	± 0.31
N. . . .	140	3.06	± 0.15
NNO. . . .	117	1.46	± 0.18
NO. . . .	237	0.61	± 0.10
ONO. . . .	117	— 0.46	± 0.03
O. . . .	87	— 0.35	± 0.18

De in bovenstaande tabel 7 vermelde waarden voor den windinvloed δ bij kracht 7 zijn in fig. 5 graphisch uitgezet en is door de punten, rekening houdende met de grootte der middelbare fouten, een vloeiende kromme getrokken, daar wel met zekerheid kan worden ondersteld, dat het verloop van den windinvloed bij verschillende windrichtingen volgens een vloeiende kromme zal plaats vinden.

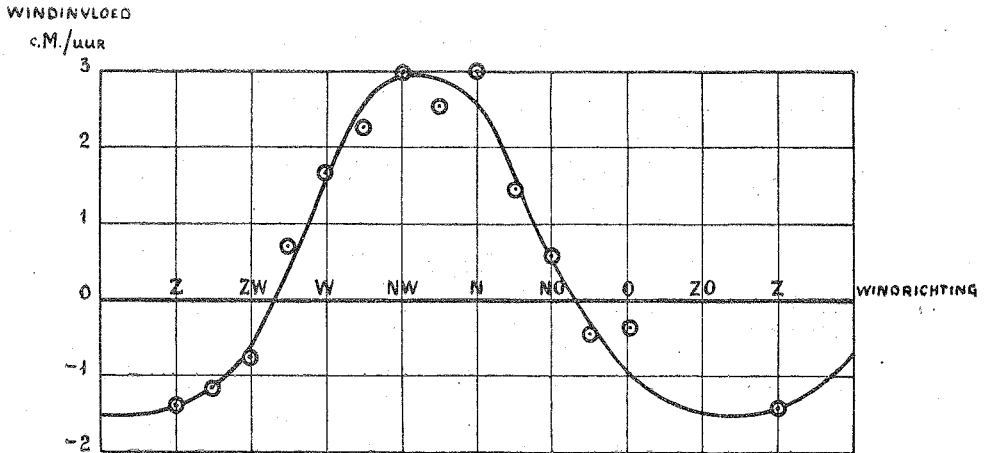
Windinvloed δ bij kracht 7.

Fig. 5.

Uit fig. 5 blijkt, dat bij een windrichting tusschen ZW. en WZW. en tusschen NO. en ONO. de windinvloed op de stijging van den Zuiderzeestand = 0 is en dat de windinvloed maximum is bij een richting tusschen NW. en NNW.

Die maximum windinvloed bij een richting NW. t N bedraagt ongeveer 3 c.M. stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand per uur; dit is dus, bij een oppervlakte van 360 000 H.A., een strooming van de Waddenzee naar de Zuiderzee van gemiddeld $\frac{360\,000 \times 10\,000 \times 0.03}{3\,600} = 30\,000 \text{ M}^3/\text{sec.}$ bij een windkracht 7.

Bij windkracht 8 wordt dit 42 000 $\text{M}^3/\text{sec.}$, bij kracht 9 57 000 $\text{M}^3/\text{sec.}$ en bij kracht 10 75 000 $\text{M}^3/\text{sec.}$

Uit de in fig. 5 geteekende kromme kunnen de in tabel 8 opgegeven waarden van den windinvloed δ bij kracht 7 worden afgeleid.

Tabel 8.

Windrichting.	Windinvloed δ bij kracht 7 in c.M. stijging van H_1 per uur.
Z.	— 1.4
ZZW.	— 1.2
ZW.	— 0.7
WZW.	0.5
W.	1.8
WNW.	2.5
NW.	2.9
NNW.	2.9
N.	2.6
NNO.	1.7
NO.	0.6
ONO.	— 0.3
O.	— 0.9
OZO.	— 1.3
ZO.	— 1.5
ZZO.	— 1.5

Met de cijfers voor de verhouding van windinvloed bij kracht n tot windinvloed bij kracht 7, als in de laatste kolom van tabel 6 blz. 33 opgegeven en daarbij geëxtrapoleerd voor kracht 11 als verhoudingsgetal 3.25, worden dan voor windkrachten 4 tot en met 11 de in tabel 9 op blz. 38 opgegeven waarden voor den windinvloed in c.M. per uur stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand verkregen.

Zooals reeds te voren is gezegd, kan de windinvloed δ gelijk gesteld worden aan den invloed van een verschil in stand dat eenzelfde stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand zou veroorzaken.

Vergelijking (8) blz. 28 kan als volgt worden geschreven ;

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= 0.063 \left\{ \left(H_2 - H_1 + \frac{0.4}{0.063} \right) + \frac{\delta}{0.063} \right\} \\ &= 0.063 \left\{ (H_2 - H_1 + 6) + \frac{\delta}{0.063} \right\}. \end{aligned}$$

Tabel 9.

Wind- richting.	Windinvloed δ in c.M. per uur stijging van H_1 voor windkracht :							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Z . . .	-0.35	-0.56	-0.91	-1.4	-1.96	-2.66	-3.50	-4.55
ZZW . . .	-0.30	-0.48	-0.78	-1.2	-1.68	-2.28	-3.00	-3.90
ZW . . .	-0.17	-0.28	-0.45	-0.7	-0.98	-1.33	-1.75	-2.28
WZW . . .	0.12	0.20	0.32	0.5	0.70	0.95	1.25	1.63
W . . .	0.40	0.64	1.04	1.6	2.24	3.04	4.00	5.20
WNW . . .	0.62	1.00	1.62	2.5	3.50	4.75	6.25	8.13
NW . . .	0.72	1.16	1.88	2.9	4.06	5.51	7.25	9.43
NNW . . .	0.72	1.16	1.88	2.9	4.06	5.51	7.25	9.43
N . . .	0.65	1.04	1.69	2.6	3.64	4.94	6.50	8.45
NNO . . .	0.42	0.68	1.10	1.7	2.38	3.23	4.25	5.53
NO . . .	0.15	0.24	0.39	0.6	0.84	1.14	1.50	1.95
ONO . . .	-0.07	-0.12	-0.19	-0.3	-0.42	-0.57	-0.75	-0.98
O . . .	-0.22	-0.36	-0.58	-0.9	-1.26	-1.71	-2.25	-2.93
OZO . . .	-0.32	-0.52	-0.84	-1.3	-1.82	-2.47	-3.25	-4.23
ZO . . .	-0.37	-0.60	-0.97	-1.5	-2.10	-2.85	-3.75	-4.88
ZZO . . .	-0.37	-0.60	-0.97	-1.5	-2.10	-2.85	-3.75	-4.88

Wordt nu ingevoerd :

$$H_2 - H_1 + 6 = V_s$$

en
$$\frac{\delta}{0.063} = V_w$$

dan wordt de laatste vergelijking :

$$\Delta H_1 = 0.063 (V_s + V_w) \dots \dots \dots (9)$$

In vergelijking (9) is dan V_s het verschil in stand tusschen Zuiderzee en Waddenzee vermeerderd met 6 c.M., dit is dus de afwijking van den Zuiderzeestand van den evenwichtsstand onder normale omstandigheden zonder wind, waarbij de gemiddelde Zuiderzeestand ongeveer 6 c.M. hooger is dan de gemiddelde Waddenzeestand en V_w een verschil in stand waarmede, wat den invloed op de stijging van den Zuiderzeestand betreft, de windinvloed is gelijk te stellen. Eenvoudigheidshalve zal in het vervolg V_s kortweg niveauverschil worden genoemd en de 6 c.M. niet telkens daarbij worden opgegeven.

De waarden van V_w voor verschillende windrichtingen en windkrachten zijn in tabel 10 opgegeven.

Tabel 10.

Wind- richting.	Waarde van V_w in c.M. voor verschillende windrichtingen bij windkracht:							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Z . . .	- 6	- 9	-15	-22	-31	-43	-56	-73
ZZW . . .	- 5	- 8	-11	-19	-27	-37	-48	-62
ZW . . .	- 3	- 5	- 8	-12	-16	-21	-28	-37
WZW . . .	2	3	5	8	11	15	19	25
W . . .	6	10	16	25	35	48	63	82
WNW . . .	10	16	25	39	55	75	99	129
NW . . .	11	18	30	46	64	87	115	149
NNW . . .	11	18	30	46	64	87	115	149
N . . .	10	16	26	41	57	78	103	134
NNO . . .	6	10	17	26	37	51	67	87
NO . . .	2	3	6	9	13	18	24	25
ONO . . .	- 1	- 2	- 3	- 5	- 7	- 9	-12	-14
O . . .	- 4	- 6	-10	-15	-20	-27	-36	-47
OZO . . .	- 5	- 9	-14	-21	-29	-40	-52	-67
ZO . . .	- 6	-10	-16	-24	-34	-46	-60	-78
ZZO . . .	- 6	-10	-16	-24	-34	-46	-60	-78

Om een globaal denkbeeld te krijgen, welke helling ongeveer de waterspiegel van Waddenzee naar Zuiderzee in de richting van den wind zal aannemen, wanneer een stationnaire toestand is ingetreden, zijn de richting en afstand van het zwaartepunt van de Waddenzee naar dat van de Zuiderzee bepaald en werd gevonden als richting ongeveer NNW. en als afstand ongeveer 63 K.M.

De evenwichtstoestand zal intreden wanneer bijv. bij wind NNW. kracht 10, waarvoor volgens tabel 10 $V_{20} = 115$ c.M., voor de gemiddelde waterstanden in Waddenzee en Zuiderzee het niveauverschil $V_s = -115$ c.M. of $H_2 - H_1 = -121$ c.M. d. w. z. de gemiddelde stand in de Zuiderzee 121 c.M. hooger is dan in de Waddenzee. Bij een afstand van 63 K.M. zou dus bij wind NNW. met kracht 10 bij den stationnair toestand het water van de Waddenzee naar de Zuiderzee gemiddeld ongeveer onder een helling van 2 c.M. per K.M. staan.

HOOFDSTUK IV.

BEPALING VAN DE OPWAAIING EN VAN DEN VERLAGENDEN INVLOED VAN DE ZUIDERZEE OP DE STORMVLOEDSTANDEN TE HARLINGEN, HINDELOOPEN EN STAVOREN.

Wanneer de Zuiderzee een verlagenden invloed uitoefent op de stormvloedstanden langs de Friesche kust, dan zal die verlagende invloed moeten kunnen blijken uit het vergelijken van stormvloedstanden bij dezelfde windomstandigheden en eenzelfde Noordzeestand, doch met verschillende hoogten van het gemiddeld Zuiderzeepil tijdens HW. langs de Friesche kust; of m. a. w. bij verschillende waarden voor het niveauverschil tusschen Waddenzee en Zuiderzee.

In de werkelijkheid komen stormvloedstanden onder volkomen dezelfde windomstandigheden en overige op den stormvloedstand invloed uitoefenende factoren, behalve alleen bij verschillende hoogten van den gemiddelden Zuiderzeestand, zelden voor. Wel is de gemiddelde Zuiderzeestand bij vele stormen anders, daar de Zuiderzeestand belangrijk achter is bij den Noordzeestand en de stijging van den Zuiderzeestand o.a. van de snelheid van stijging van het water in de Noordzee en van den duur van den stormvloed afhangt. Ook zal het aan een stormvloed voorafgaande getij een belangrijken invloed op den Zuiderzeestand kunnen uitoefenen en oorzaak zijn, dat bij den éénen storm de gemiddelde Zuiderzeestand hooger is dan bij een anderen storm.

Door die omstandigheid dat tijdens H.W. langs de Friesche kust bij stormvloedden het niveauverschil tusschen Waddenzee en Zuiderzee niet hetzelfde is, zal het mogelijk zijn den verlagenden invloed van de Zuiderzee op de stormvloedstanden langs de Friesche kust te bepalen.

De verlagende invloed van de Zuiderzee wordt echter niet alleen bepaald door de waarde $V_s = H_2 - H_1 + 6$ doch ook door den windinvloed. In het vorige Hoofdstuk is de windinvloed op de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand afgeleid en aangetoond dat die invloed gelijk te stellen is met

een niveauverschil door V_w aangeduid, zoodat de totale stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand onder invloed van wind en verschil in waterstand, afhankelijk is van de som der niveauverschillen $V_s + V_w$. (Zie vergelijking 9 blz. 38).

De totale verlagende invloed wordt dus ook beheerscht door de som der beide niveauverschillen, welke som door S zal worden aangeduid, zoodat dus

$$S = V_s + V_w.$$

Om den verlagenden invloed op de stormvloedstanden langs de Friesche kust te bepalen, zullen die standen worden vergeleken met den stand te Vlieland; daarbij uitgaande van de onderstelling dat de Zuiderzee op den H. W.-stand te Vlieland geen noemenswaardigen invloed meer uitoefent en die stand nagenoeg geheel bepaald wordt door den Noordzeestand.

Als voorbeeld ter nadere verklaring van de gevolgde methode zal de H. W.-stand te Hindeloopen met dien te Vlieland worden vergeleken.

Onder normale omstandigheden zonder wind is het gemiddeld verschil s tusschen H. W. Hindeloopen en H. W. Vlieland $- 26$ c.M.

Voor dit normale geval is $V_w = 0$.

Bij gemiddeld H. W. in de Waddenzee is de gemiddelde Zuiderzeestand ongeveer 40 c.M. lager dan de gemiddelde Waddenzeestand. Het H. W. langs de Friesche kust treedt echter iets later op dan gemiddeld H. W. in de Waddenzee, zoodat onder normale omstandigheden bij H. W. langs de Friesche kust het verschil in gemiddelde standen van Waddenzee en Zuiderzee $H_2 - H_1$ op 35 c.M. kan worden gesteld en dus $V_s = 41$ c.M.

Voor het normale geval zonder wind heeft men dus:

$$V_w = 0$$

$$V_s = 41 \text{ c.M.}$$

$$S = V_s + V_w = 41 \text{ c.M.}$$

H. W. Hindeloopen—H. W. Vlieland $= s = - 26$ c.M.

Beschouwt men thans een geval bij wind.

Er heeft dan een opwaaiing plaats van de Noordzee naar de Friesche kust en een afstroming naar de Zuiderzee, waardoor de H. W.-stand langs de Friesche kust lager blijft dan die zou zijn, indien de Zuiderzee er niet was.

De verhooging van den waterstand langs de Friesche kust bestaat dus uit een opwaaiing of directen windinvloed op de kust, die onafhankelijk van den Zuiderzeestand is en een verlagings tengevolge van de afstroming naar de Zuiderzee, die afhankelijk is van den Zuiderzeestand en van den wind.

Noemt men nu y de opwaaiing of directe windinvloed op de kust onafhankelijk van den Zuiderzeestand, dan is, voor het geval waarbij $S = V_s + V_w = 41$ c.M., d. w. z. het totale niveauverschil gelijk is aan dat onder normale omstandigheden, voor het geval met wind en $S = 41$ c.M. :

$$s = -26 + y.$$

De opwaaiing of directe windinvloed op de kust y zal voor elke windrichting en windkracht anders zijn. Als $\frac{kn}{k_7}$ de verhouding weergeeft voor windinvloed bij kracht n tot dien bij kracht 7, welke verhouding voor verschillende windrichtingen, evenals bij het in hoofdstuk III beschreven onderzoek is gebleken als gelijk zal kunnen worden aangenomen, dan kan dus voor elke windrichting de [windinvloed in dien bij kracht 7 worden uitgedrukt.

Geeft men nu voor aanduiding bij den windinvloed y bij kracht 7 als indice de richting aan, dan is dus de windinvloed bij richting r en kracht n aan te duiden als :

$$\frac{kn}{k_7} y_r.$$

Voor het geval met wind, richting r en kracht n , en zoodanig dat $S = V_s + V_w = 41$ c.M. wordt dus de vergelijking voor het verschil H.W. Hindeloopen—H.W. Vlieland :

$$s = -26 + \frac{kn}{k_7} y_r.$$

Beschouwt men thans het geval dat het totale niveauverschil S niet meer gelijk is aan 41 c.M., zooals onder normale omstandigheden, doch daarvan met h c.M. afwijkt, zoodat $S = 41 + h$. In dit geval is bij wind van richting r en kracht n het verschil H.W. Hindeloopen—H.W. Vlieland niet meer gelijk aan de waarde volgens bovenstaande vergelijking, doch zal dat verschil s , onder den invloed van de afwijking h van het normale niveauverschil, een afwijking vertoonen die van de grootte van h afhankelijk

zal zijn en daarmee in lineair verband zal worden aangenomen.

Binnen niet al te ver uiteenlopende grenzen zal een lineair verband voldoende betrouwbaar zijn te achten om den invloed van de afwijking h op het verschil H.W. Hindeloopen—H.W. Vlieland te benaderen, zoodat die invloed $= ah$ zal worden gesteld, waarbij de coëfficiënt a een negatieve waarde zal hebben.

Voor het algemeen geval :

$$S = 41 + h$$

windrichting r en windkracht n ,

wordt dus de vergelijking voor verschil H.W. Hindeloopen—H.W. Vlieland :

$$s = -26 + \frac{kn}{k_7} y_r + ah \dots \dots \dots (10)$$

Voor Harlingen en Stavoren gelden soortgelijke betrekkingen met anderen constanten term, n.l. voor Harlingen is het gemiddeld verschil met H. W. te Vlieland onder normale omstandigheden $= 0$ en voor Stavoren $= -35$ c.M.

Opgemerkt zij, dat men ook van den evenwichtsstand zonder wind, waarbij de Zuiderzee gemiddeld 6 c.M. hooger staat dan de Waddenzee, had kunnen uitgaan in plaats van het normale geval, waarbij de Zuiderzee gemiddeld 35 c.M. lager staat dan de Waddenzee.

Voor de berekening van den directen windinvloed op de kust y_r en den coëfficiënt a maakt dit natuurlijk geen verschil uit.

Bij den evenwichtsstand zonder wind is het verschil s van H. W. te Hindeloopen met H. W. te Vlieland niet meer -26 , doch is door den 41 c.M. hoogeren Zuiderzeestand het H. W. te Hindeloopen met $-41a$ verhoogd, zoodat dan $s = -26 - 41a$.

Voor het algemeene geval, waarbij het totale niveauverschil $S = V_s + V_w$ van den evenwichtsstand zonder wind afwijkt, wordt dan het verschil H. W. Hindeloopen—H. W. Vlieland :

$$s = -26 - 41a + \frac{kn}{k_7} y_r + aS$$

of
$$s = -26 + \frac{kn}{k_7} y_r + a(S - 41)$$

en daar $S - 41 = h$ is gesteld, krijgt men hier weer de vergelijking 10 terug.

Voor de berekening van den coëfficiënt a is het dus aange-
wezen van het normale geval uit te gaan, omdat voor dat geval
de verschillen tusschen H.W. te Harlingen, Hindeloopen, Sta-
voren met H.W. te Vlieland bekend zijn.

Ten einde de verhooging te bepalen, welke bij een stormvloed
de H.W.-stand in de Waddenzee tengevolge van de afsluiting
van de Zuiderzee zou ondergaan, stelle men zich voor, dat de
storm zoo lang duurt, dat de waterspiegel den evenwichtsstand
bereikt, waarbij het water in de Zuiderzee V_w stijgt boven den
evenwichtsstand zonder wind of $S = V_s + V_w$ boven den be-
treffenden stormvloedstand in de Zuiderzee tijdens H.W. in de
Waddenzee.

De te bepalen verhooging is dan $-a S$ of $-a (41 + h)$
aangezien $S = 41 + h$.

Het komt dus op hetzelfde neer alsof men eerst de verhooging
 $-41a$ van het H.W. zonder wind berekende en dan daarbij
optelde de verhooging $-ah$ tengevolge van een stijging van
het Zuiderzeepeil met h c.M., met welk bedrag het totale niveau-
verschil bij stormvloed van het normale niveauverschil afwijkt.

Indien men inplaats van het verschil s met H.W. te Vlieland
de afwijking Δ van de onder normale omstandigheden bestaande
verschillen tusschen de H.W.'s invoert, dan wordt de algemeene
vergelijking voor de afwijking Δ voor eene plaats langs de
Friesche kust:

$$\Delta = \frac{kn}{k_7} y_r + ah \dots \dots \dots (11)$$

In vergelijking (11) zijn de waarden van Δ voor Harlingen,
Hindeloopen en Stavoren voor elken stormvloed bekend uit de
waargenomen waterstanden.

De waarde van $h = S - 41 = V_s + V_w - 41$ is voor elken
stormvloed bekend uit de waargenomen waterstanden en uit den
wind. Uit de waargenomen waterstanden volgt n.l. $V_s = H_2 -$
 $H_1 + 6$, terwijl V_w met behulp van tabel 10 blz. 39 voor elke
windrichting en windkracht bepaald is. Voor de verhouding $\frac{kn}{k_7}$
van directen windinvloed bij kracht n tot dien bij kracht 7, zullen
worden gebruikt de cijfers opgegeven in tabel 6 blz. 33 voor de
verhouding $\frac{kn}{k_7}$ van den windinvloed op de stijging van den

gemiddelden Zuiderzeestand, hetgeen, zooals hieronder nader zal worden aangetoond, geoorloofd is.

Indien nu voor een groot aantal stormvloeden de waarden van Δ , h en $\frac{kn}{k_7}$ bekend zijn, zal het mogelijk zijn uit vergelijking (11) door opvolgende benadering de onbekenden y_r en a te berekenen.

Voor de verhouding $\frac{kn}{k_7}$ van den directen windinvloed bij kracht n tot dien bij kracht 7, zullen, zooals gezegd, worden gebruikt de in tabel 6 van Hoofdstuk III opgegeven waarden, betrekking hebbende op den windinvloed op de stijging van den Zuiderzeestand. Weliswaar betrof het daar een anderen windinvloed dan hier, doch waar het in beide gevallen een soortgelijken invloed betreft, is er voldoende reden om te mogen aannemen, dat de cijfers van tabel 6 ook op de onderhavige windinvloeden kunnen worden toegepast.

Daar voor Harlingen, zooals later zal blijken, de coëfficiënt a ongeveer gelijk 0 is, was het mogelijk voor die plaats uit de verschillen van het H. W. met H. W. te Vlieland de verhouding $\frac{kn}{k_7}$ globaal af te leiden, zoodat kon worden beoordeeld of het gebruiken der cijfers van tabel 6 geoorloofd is.

Hiertoe werden de verschillen H. W. Harlingen—H.W. Vlieland voor de op blz. 29 genoemde stormvloeden, 210 in aantal, volgens windkracht gerangschikt. Deze verschillen toch zullen, als $a=0$, in hoofdzaak den directen windinvloed y_r moeten weergeven, aangezien voor het gemiddeld normaal geval ook H. W. Harlingen—H.W. Vlieland gelijk aan 0 is.

Bij die rangschikking werden de windrichtingen in 3 groepen ingedeeld en samengenomen:

1e.	Z	ZZW	ZW	en	WZW
2e.	W	WNW	NW	en	NNW
3e.	N	NNO	NO	en	ONO

Om in elk der groepen te kunnen beoordeelen, of bij de verschillende windkrachten de verschillende windrichtingen op voldoende gelijkmatige wijze zijn vertegenwoordigd, werden, evenals in Hoofdstuk III is geschied, de richtingen weer op de daar aangegeven wijze genummerd, te beginnen met $Z=0$.

De rangschikking volgens windkracht gaf de in tabel 11 opgegeven uitkomsten.

Tabel 11.

Groep.	Aantal waarne- mingen.	Gem. wind- richting.	Gem. wind- kracht.	Gem. verschil H. W. Harlingen— H. W. Vlieland.
				c.M.
I	15	1.3	4.8	— 0.5
	44	1.7	6.5	8.3
	21	1.0	7.7	8.0
	5	1.6	9.5	27.8
II	11	5.3	5.0	5.4
	45	5.4	6.5	13.3
	12	5.0	8.0	21.3
	10	4.7	9.7	38.3
III	8	10.1	5.2	— 11.9
	36	9.9	6.4	— 12.5
	7	9.3	7.8	— 15.1

De cijfers in de laatste kolom zijn op bijlage C graphisch voorgesteld en door de punten vloeiende krommen getrokken. Daar de punten van groep III te weinig uiteenlopend zijn wat windkracht betreft, zoodat de kromme niet voldoende nauwkeurig is om daaruit met vertrouwen cijfers af te leiden, is deze kromme verder buiten beschouwing gelaten.

Volgens de krommen voor groep I en groep II worden gevonden voor het verschil H. W. Harlingen—H. W. Vlieland bij windkrachten 4 tot en met 10 de in tabel 12 opgegeven waarden, waarbij tevens voor elke groep de uit die waarden volgende verhoudingen $\frac{k_n}{k_7}$ zijn vermeld.

Tabel 12.

Wind- kracht.	Groep I.		Groep II.	
	H.W. Harlingen— H.W. Vlieland uit bijlage C.	$\frac{k n}{k_7}$	H.W. Harlingen— H.W. Vlieland uit bijlage C.	$\frac{k n}{k_7}$
	c.M.		c.M.	
4	2	0.25	4	0.27
5	3	0.38	6	0.40
6	5	0.63	10	0.67
7	8	1.—	15	1.—
8	12	1.50	22	1.47
9	16	2.—	30	2.—
10	22	2.75	38	2.53

Indien de in tabel 12 afgeleide waarden voor de verhoudingsgetallen $\frac{k n}{k_7}$ worden vergeleken met die van tabel 6 Hoofdstuk III blz. 33, dan blijkt daaruit voldoende overeenstemming, zoodat de in tabel 6 opgegeven cijfers ook als geldend voor den directen windinvloed op de kust zullen worden gebezigd.

Thans moeten bij opvolgende benadering de waarden van den directen windinvloed y_r bij verschillende windrichtingen worden bepaald, om daarna de coëfficiënten a voor Harlingen, Hinde-loopen en Stavoren te kunnen berekenen.

Om deze onbekenden te bepalen is als volgt te werk gegaan.

De afwijkingen Δ van het onder normale omstandigheden bestaande verschil tusschen H. W. op de drie plaatsen met H. W. te Vlieland, werden voor de meergenoemde 210 stormen gerangschikt in 6 groepen volgens de windrichtingen, waarbij telkens 2 richtingen n.l. Z en ZZW, ZW en WZW, W en

WNW. enz. werden samengenomen en de gemiddelden bepaald.

Aangezien er een zekere tijd noodig is, ook nadat de wind de volle snelheid die hij kan voortbrengen aan het water heeft gegeven, voordat een opstuwing op de kust hare definitieve grootte heeft bereikt, zijn de Δ 's bepaald met den wind van ongeveer één uur te voren.

In tabel 13 zijn de uitkomsten van genoemde rangschikking opgegeven.

Ter onderscheiding zullen in het volgende de Δ 's en de coëfficiënten a voor Harlingen, Hindeloopen en Stavoren met indices 1, 2 en 3 worden aangegeven.

Tabel 13.

Wind- richting.	Gemid- delde richting.	Gemid- delde wind- kracht.	Aantal waarne- mingen.	Δ_1 (Har- lingen).	Δ_2 (Hinde- loopen).	Δ_3 (Sta- voren).	h .	$\frac{kn}{k_7}$
				c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	
Z en ZZW	0.5	6.9	39	0.9	— 3.3	— 5.4	— 3	0.95
ZW en WZW	2.3	6.5	46	13.7	9.5	3.9	5	0.80
W en WNW	4.2	7.2	40	21.4	13.4	4.4	37	1.08
NW en NNW	6.3	6.6	38	11.7	9.9	6.4	31	0.83
N en NNO	8.5	6.3	19	— 1.7	9.3	14.2	— 3	0.74
NO en ONO	10.4	6.5	28	— 17.9	— 4.0	4.6	— 26	0.80

Voorts werden alle windrichtingen te zamen genomen en de afwijkingen Δ gerangschikt in drie groepen volgens de grootte van h , hetgeen de in tabel 14 opgegeven uitkomsten gaf. De verlagende invloed van de Zuiderzee blijkt voor Hindeloopen en Stavoren duidelijk uit het afnemen der Δ 's als h toeneemt.

Tabel 14.

Gem. h	Gem. wind- richting.	Gem. wind- kracht.	Aantal waar- nemingen.	Δ_1	Δ_2	Δ_3
				c.M.	c.M.	c.M.
- 21.2	4.6	6.5	55	4.8	17.2	21.0
4.6	5.2	6.6	89	5.1	5.9	5.3
31.7	4.1	7.0	66	10.7	- 2.7	- 12.7

Uit deze cijfers werd als 1ste benadering een waarde voor de coëfficiënten a bepaald, door het verschil van de uiterste groepen te nemen en de waarden van y_r , die bij deze rangschikking niet veel zullen kunnen verschillen, daar de gemiddelde windrichtingen en windkrachten voor de drie groepen weinig uiteenloopen, als gelijk aan te nemen, zoodat zij in het verschil der uiterste groepen wegvallen.

Men vindt dan:

$$\begin{aligned} \text{voor Harlingen} \dots & 4.8 - 10.7 = (-21.2 - 31.7) a_1 \text{ of } a_1 = 0.1 \\ \text{voor Hindeloopen} & 17.2 - (-2.7) = (-21.2 - 31.7) a_2 \text{ of } a_2 = -0.3 \\ \text{voor Stavoren} \dots & 21 - (-12.7) = (-21.2 - 31.7) a_3 \text{ of } a_3 = -0.5 \end{aligned}$$

Met deze globaal benaderde waarden voor de coëfficiënten a werden nu als 1ste benadering uit de cijfers van tabel 13 de waarden van y_r bij windkracht 7 berekend, voor de diverse windrichtingen 0.5, 2.3, enz. als in de 2e kolom zijn aangegeven.

Uit vergelijking (11) blz. 44 volgt voor Harlingen bij windrichting r kracht 7:

$$y_r = \frac{(\Delta_1 - a_1 h)}{\frac{kn}{k_7}}$$

Uit de cijfers van tabel 13 volgt dan voor de windinvloeden bij kracht 7 voor Harlingen, met een benaderde waarde $a_1 = 0.1$, voor de windrichtingen als in de 2de kolom van die tabel aangegeven:

$$y_{0.5} = \frac{0.9 - 0.1 \times -3}{0.95} = \frac{1.2}{0.95} = 1.3$$

$$y_{2.3} = \frac{13.7 - 0.1 \times 5}{0.80} = \frac{13.2}{0.8} = 16.5$$

$$y_{4.2} = \frac{21.4 - 0.1 \times 37}{1.08} = \frac{17.7}{1.08} = 16.5$$

$$y_{6.3} = \frac{11.7 - 0.1 \times 31}{0.83} = \frac{8.6}{0.83} = 10.4$$

$$y_{8.5} = \frac{-1.7 - 0.1 \times -3}{0.74} = \frac{-1.4}{0.74} = -1.9$$

$$y_{10.4} = \frac{-17.9 - 0.1 \times -26}{0.80} = \frac{-15.3}{0.80} = -19.1$$

Op dezelfde wijze werden de waarden voor de windinvloeden y_r bij kracht 7 voor Hindeloopen en Stavoren uit de cijfers van tabel 13 berekend, met de benaderde waarden $a_2 = -0.3$ en $a_3 = -0.5$.

In onderstaande tabel 15 zijn de uitkomsten voor de drie plaatsen opgegeven.

Tabel 15.

Uitkomsten eerste benadering van den directen windinvloed y_r .

Aanduiding windrichting.	Harlingen.	Hindeloopen.	Stavoren.
	c.M.	c.M.	c.M.
0.5	1.3	- 4.4	- 7.3
2.3	16.5	13.7	8.0
4.2	16.5	22.7	21.2
6.3	10.4	23.1	26.4
8.5	- 1.9	11.4	17.2
10.4	- 19.1	- 14.7	- 10.5

De in tabel 15 gegeven cijfers zijn op bijlage D grafisch uitgezet en door de punten vloeiende krommen getrokken.

Om nu de waarden van a_1 , a_2 en a_3 te berekenen, werden de gegevens van de 210 gebezigde stormen in 4 groepen verdeeld volgens de windrichtingen en wel:

groep I	Z	ZZW	en	ZW
groep II	WZW	W	en	WNW
groep III	NW	NNW	en	N
groep IV	NNO	NO	en	ONO

Elk der 4 groepen werd weer onderverdeeld in 3 groepen volgens de grootte van h en daarna werden voor de aldus verkregen 12 groepen de gemiddelden bepaald. De uitkomsten zijn in tabel 16 opgegeven.

Tabel 16.

Indeeling der groepen.		Gemiddelde windrichting.	Gemiddelde windkracht.	Gemiddelde afwijking van normale verschil met H.W. te Vlieland voor:			Aantal waarnemingen.
Windrichting	h			Harlingen- Δ_1	Hindeloopen- Δ_2	Stavoren- Δ_3	
	c.M.			c.M.	c.M.	c.M.	
I. Z, ZZW, ZW	- 27.0	1.1	6.6	2.6	9.5	12.1	19
	- 5.3	1.1	6.7	8.5	5.6	2.3	27
	18.2	1.3	6.6	5.1	- 6.3	- 13.2	26
II. WZW, W, WNW	- 4.3	3.9	6.5	17.7	22.9	22.5	15
	26.1	4.0	7.0	16.9	10.8	4.6	21
	75.0	3.9	7.9	28.1	6.2	- 14.1	17
III. NW, NNW, N	- 11.5	7.0	6.1	11.7	29.6	34.2	12
	21.1	6.5	6.5	8.2	9.6	9.8	19
	58.7	6.6	6.8	10.2	- 1.9	- 11.7	16
IV. NNO, NO, ONO	- 50.1	10.3	6.9	- 21.2	7.6	19.7	9
	- 18.1	10.1	6.2	- 13.2	- 1.5	5.8	22
	9.3	9.4	6.6	- 9.9	- 13.3	- 10.0	7

Om nu uit de in tabel 16 gegeven cijfers van Δ_1 , Δ_2 en Δ_3 de waarden van a_1 , a_2 en a_3 te berekenen, moeten de Δ^s eerst verminderd worden met de directe windinvloeden y_r behorende bij de gemiddelde kracht en bij de gemiddelde richting van elke groep. De waarden van die directe windinvloeden y_r bij kracht 7 kunnen thans uit de krommen van bijlage D worden afgelezen, deze waarden vermenigvuldigd met $\frac{kn}{k_7}$, volgens tabel 6 blz. 33, geven dan de van de Δ^s af te trekken windinvloeden. De na aftrekking overblijvende waarden geven de producten $a_1 h$, $a_2 h$ en $a_3 h$. In elke der 4 groepen, I, II, III en IV werden dus 3 waarden voor die producten $a h$ verkregen, waaruit a kan worden bepaald. Aangezien daarbij door h moet worden gedeeld en de gemiddelde waarde van h toevallig in een der groepen nagenoeg gelijk 0 kan zijn, werd het beter geoordeeld de coëfficiënten a uit de producten $a h$ te bepalen, door voor elk der vier stellen van 3 groepen de verschillen te nemen telkens van de 1e en 2e, en 2e en 3e waarde en die verschillen te deelen door de verschillen van h . Zoodoende werden dus 8 waarden voor elken coëfficiënt a verkregen, welke tot één uitkomst vereenigd werden met inachtneming der gewichten, die gelijk aan het product van het aantal waarnemingen van 2 groepen gedeeld door de som van het aantal zijn genomen.

Een volledig overzicht van de berekening is gegeven op bijlage I.

Als uitkomst werd voor de coëfficiënten verkregen :

Harlingen	$a_1 = -0.003 \pm 0.06$
Hindeloopen	$a_2 = -0.45 \pm 0.07$
Stavoren	$a_3 = -0.66 \pm 0.05$

Voor bepaling van de eerste berekening van den directen windinvloed y_r bij kracht 7, waarvan de uitkomsten in tabel 15 blz. 50 zijn opgegeven, was uitgegaan van de waarden :

$$a_1 = + 0.1$$

$$a_2 = - 0.3$$

$$a_3 = - 0.5.$$

Met de nu gevonden waarden voor de coëfficiënten a , dient thans dus een tweede berekening van den directen windinvloed y_r bij kracht 7 te worden uitgevoerd, geheel op dezelfde wijze

als voor de eerste berekening hierboven is beschreven, uit de in tabel 13 blz. 48 opgegeven cijfers.

De uitkomsten van deze tweede berekening van den directen windinvloed y_v bij kracht 7 met de coëfficiënten $a_1 = 0.0$, $a_2 = -0.45$ en $a_3 = -0.66$ zijn in tabel 17 opgegeven.

Tabel 17.

Uitkomsten tweede benadering van den directen windinvloed y_v .

Aan- duiding wind- richting.	Harlingen.	Hindeloopen.	Stavoren.
0.5	$\frac{0.9}{0.95} = 1.0$	$\frac{-3.3 - (-0.45 \times -3)}{0.95} = -4.9$	$\frac{-5.4 - (-0.66 \times -3)}{0.95} = -7.8$
2.3	$\frac{13.7}{0.80} = 16.1$	$\frac{9.5 - (-0.45 \times 5)}{0.80} = 14.6$	$\frac{3.9 - (-0.66 \times 5)}{0.80} = 9.0$
4.2	$\frac{21.4}{1.08} = 19.8$	$\frac{13.4 - (-0.45 \times 37)}{1.08} = 27.8$	$\frac{4.4 - (-0.66 \times 37)}{1.08} = 26.6$
6.3	$\frac{11.7}{0.83} = 14.1$	$\frac{9.9 - (-0.45 \times 31)}{0.83} = 29.9$	$\frac{6.4 - (-0.66 \times 31)}{0.83} = 32.4$
8.5	$\frac{-1.7}{0.74} = -2.3$	$\frac{9.3 - (-0.45 \times -3)}{0.74} = 10.8$	$\frac{14.2 - (-0.66 \times -3)}{0.74} = 1.65$
10.4	$\frac{-17.9}{0.80} = -22.4$	$\frac{-4.0 - (-0.45 \times -26)}{0.80} = -19.6$	$\frac{4.6 - (-0.66 \times -26)}{0.80} = -15.7$

De in bovenstaande tabel 17 gevonden cijfers zijn op bijlage E grafisch uitgezet en weer door de punten vloeiende krommen getrokken.

Met deze volgens de tweede berekening verkregen uitkomsten voor den directen windinvloed y_v , werden nu, geheel op dezelfde wijze als hierboven beschreven, opnieuw de coëfficiënten a berekend, welke berekening op bijlage II is gegeven.

Als uitkomst wordt dan gevonden voor:

Harlingen	$a_1 = -0.004$	± 0.06
Hindeloopen	$a_2 = -0.47$	± 0.07
Stavoren	$a_3 = -0.69$	± 0.05

Deze uitkomsten geven nagenoeg geen verschil met die der eerste benadering dier coëfficiënten. De verschillen zijn niet van eenige beteekenis en blijven geheel binnen de grens der te bereiken nauwkeurigheid, zoodat deze waarden voor de coëfficiënten kunnen worden aangehouden.

Ten einde na te gaan in hoeverre de in tabel 16 blz. 51 uit de waarnemingen afgeleide Δ 's door de formule 11 blz. 44 worden weergegeven, zijn met de hierboven gevonden waarden voor de coëfficiënten a en de waarden van y_r , afgeleid uit de grafieken van bijlage E, de Δ 's berekend. In tabel 18 zijn de aldus berekende Δ 's naast de uit de waarnemingen afgeleide Δ 's, benevens de onderlinge verschillen van waarneming—berekening, opgegeven.

Tabel 18.

Groep.	Aantal waarnemingen.	h	Harlingen :			Hindeloopen :			Stavoren :		
			Δ_1 waargenomen (tabel 16).	Δ_1 berekend (formule 11).	Ver-schil.	Δ_2 waargenomen.	Δ_2 berekend.	Ver-schil.	Δ_3 waargenomen.	Δ_3 berekend.	Ver-schil.
I.	19	c.M. — 27.0	c.M. 2.6	c.M. 5.5	c.M. — 2.9	c.M. 9.5	c.M. 13.5	c.M. — 4.0	c.M. 12.1	c.M. 16.1	c.M. — 4.0
	27	— 5.3	8.5	5.7	2.8	5.6	3.4	2.2	2.3	1.1	1.2
	26	18.2	5.1	6.5	— 1.4	— 6.3	— 6.1	— 0.2	— 13.2	— 12.6	— 0.6
II.	15	— 4.3	17.7	16.0	1.7	22.9	22.8	0.1	22.5	22.6	— 0.1
	21	26.1	16.9	20.4	— 3.5	10.8	14.7	— 3.9	4.6	7.0	— 2.4
	17	75.0	28.1	27.5	0.6	6.2	0.9	5.3	— 14.1	— 17.6	3.5
III.	12	— 11.5	11.7	7.0	4.7	29.6	22.2	7.4	34.2	26.7	7.5
	19	21.1	8.2	10.7	— 2.5	9.6	12.9	— 3.3	9.8	10.6	— 0.8
	16	58.7	10.2	11.2	— 1.0	— 1.9	— 2.6	0.7	— 11.7	— 12.3	0.6
IV.	9	— 50.1	— 21.2	— 12.6	— 9.6	7.6	5.9	1.7	19.7	21.3	— 1.6
	22	— 18.1	— 13.2	— 8.3	— 4.9	— 1.5	— 2.7	1.2	5.8	4.8	1.0
	7	9.3	— 9.9	— 6.6	— 3.3	— 13.3	— 9.4	— 3.9	— 10.0	— 6.8	— 3.2

Uit de verschillen, waarneming—berekening, blijkt dat de overeenstemming tusschen formule en werkelijkheid over het algemeen voldoende is.

Een bepaalde gang van grootte of teeken der verschillen, in vergelijking tot de grootte of het teeken van de grootte h , valt niet waar te nemen. De gemiddelde grootte der verschillen, zonder op het teeken te letten, bedraagt voor Harlingen, Hindeloopen en Stavoren respectievelijk 3.2, 2.8 en 2.2 c.M., terwijl de gemiddelde waarde, daarbij rekening houdende met het aantal waarnemingen waaruit de Δ 's zijn afgeleid, voor de drie plaatsen bedraagt — 1.3 c.M., 0.2 c.M. en 0.1 c.M.

Rekening houdende met de middelbare fouten en de zeer groote zekerheid dat de coëfficiënt a voor Harlingen niet positief kan zijn, in welk geval toch de Zuiderzee een verhoogenden inplaats van een verlagenden invloed op de stormvloedstanden te Harlingen zou uitoefenen, kan voor de coëfficiënten als waarschijnlijke grenzen worden aangenomen:

voor Harlingen	$a_1 =$	0.00 à — 0.10
„ Hindeloopen	$a_2 =$	— 0.40 à — 0.55
„ Stavoren	$a_3 =$	— 0.60 à — 0.75

HOOFDSTUK V.

BEPALING VAN DEN VERLAGENDEN INVLOED VOOR SURICH, MAKKUM
EN PIAAM EN NADERE BESCHOUWINGEN OMTRENT DEN
VERLAGENDEN INVLOED.

Thans zal nader worden aangegeven wat met de in het voorgaande Hoofdstuk verkregen uitkomsten is bereikt.

De coëfficiënten a_1 , a_2 en a_3 geven een maat aan voor den verlagenden invloed van de Zuiderzee op de stormvloedstanden te Harlingen, Hindeloopen en Stavoren.

Aangezien Hindeloopen en Stavoren binnen den afsluitdijk vallen, is het voor die plaatsen niet van belang den verlagenden invloed te kennen, doch wel voor Piaam, Makkum, Surich en Harlingen. Voor Piaam, Makkum en Surich konden de berekeningen niet worden uitgevoerd, omdat bij die plaatsen geen registreerende peilschalen zijn, waarvan de uurstanden kunnen worden verkregen. De kennis van de coëfficiënten a voor Stavoren, Hindeloopen en Harlingen maakt het evenwel mogelijk om ook voor de drie genoemde plaatsen, tusschen Hindeloopen en Harlingen gelegen, den coëfficiënt a bij benadering te bepalen.

Van Stavoren naar het Noorden gaande, moet de verlagende invloed steeds afnemen, hetgeen zeer waarschijnlijk niet anders dan vrij geleidelijk kan gaan, totdat op zeker punt de invloed 0 is en dus de coëfficiënt $a = 0$. Indien nu de in Hoofdstuk IV gevonden grenswaarden voor den coëfficiënt a worden uitgezet naast de plaatsen op een verticale as, dan zal de vloeiende lijn, die de alzoo verkregen punten verbindt, ongeveer het verloop van den coëfficiënt aangeven en daaruit de waarden van a voor Piaam, Makkum en Surich bij benadering kunnen worden afgeleid.

In fig. 6 is dit geschied, waarbij de twee lijnen de twee grenswaarden aangeven.

Grafische voorstelling grenswaarden coëfficiënt α .

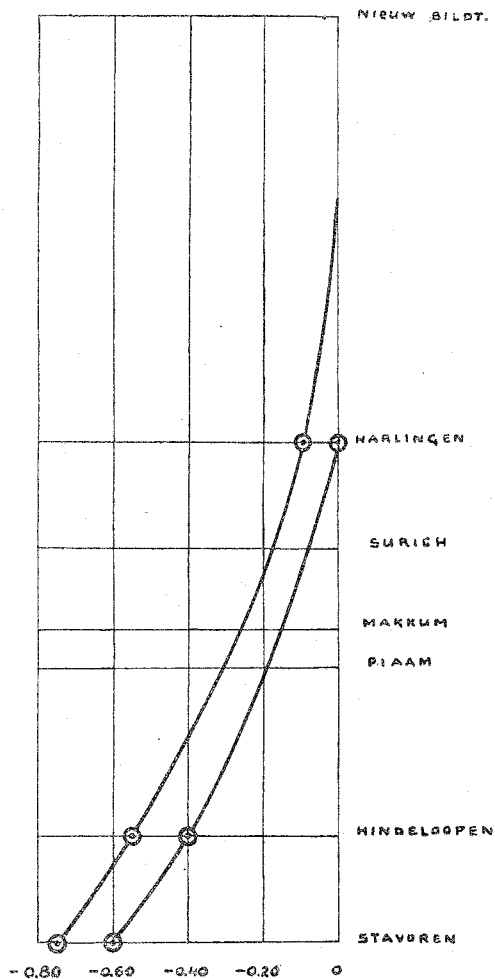


Fig. 6.

Hoogteschaal 1 c.M. = 5 K.M.

Met de in Hoofdstuk IV berekende waarden voor Stavoren, Hindeloopen en Harlingen en de uit fig. 6 afgeleide waarden voor de tusschengelegen plaatsen, worden dan de volgende grenswaarden voor α verkregen:

Stavoren	— 0.60 à — 0.75
Hindeloopen	— 0.40 à — 0.55
Piaam	— 0.20 à — 0.30
Makkum	— 0.15 à — 0.25
Surich	— 0.05 à — 0.15
Harlingen	0.0 à — 0.10.

Voorts blijkt uit fig. 6 dat bij de vloeiende lijn gaande door de grootste negatieve waarden voor a , dus bij den grootsten verlagenden invloed, $a = 0$ wordt op ongeveer 15 K.M. benoorden Harlingen, dit is ongeveer halverwege Harlingen en Nieuw Bildt, terwijl bij de kleinste negatieve waarden a reeds bij Harlingen 0 is.

De verlagende invloed van de Zuiderzee is dus bij Harlingen nog maar zeer gering en ongeveer halverwege Harlingen en Nieuw Bildt met vrij groote zekerheid totaal niet meer merkbaar.

Ter nadere verduidelijking van den verlagenden invloed van de Zuiderzee, welke door den coëfficiënt a wordt aangegeven, zullen hier nog twee getallen-voorbeelden worden gegeven.

1e. Stel twee stormvloeden met denzelfden gemiddelden stand in de Waddenzee en dezelfde windrichting en windkracht, doch met verschillende gemiddelden Zuiderzeestand. Zij bij den eersten storm $h = S - 41 = 0$ en bij den tweeden $h = S - 41 = 100$, zoodat dus, daar de wind en de stand in de Waddenzee hetzelfde zijn, dit verschil in grootte van h alleen veroorzaakt wordt, doordat bij den tweeden storm tijdens H.W. in de Waddenzee de gemiddelde stand in de Zuiderzee 100 c.M. lager is dan bij den eersten storm.

De vergelijking die de afwijking aangeeft van het normale verschil met H.W. te Vlieland is

$$\Delta = \frac{kn}{k_7} y_r + a h.$$

Voor beide stormen is de term $\frac{kn}{k_7} y_r$, waarin y_r den directen windinvloed bij richting r kracht 7 voorstelt, hetzelfde, zoodat de afwijking van het normale verschil met H.W. te Vlieland bij den tweeden storm met een 100 c.M. lageren gemiddelden Zuiderzeestand, 100 a grooter is dan bij den eersten storm. Dit wil dus zeggen dat bij eenzelfde H.W. te Vlieland, bij den tweeden storm het H.W. lager zal zijn dan bij den eersten:

te Stavoren	60 à 75	c.M.
„ Hindeloopen	40 „ 55	„
„ Piaam	20 „ 30	„
„ Makkum	15 „ 25	„
„ Surich	5 „ 15	„
„ Harlingen	0 „ 10	„

2e. Stel twee stormen, beide windkracht 8, doch de eene uit richting Z.W. en de andere uit richting N.W. en voor beide stormen den gemiddelden stand in Waddenzee en Zuiderzee gelijk.

Volgens bijlage E is voor Harlingen de directe windinvloed y_v bij de richtingen Z.W. en N.W. ongeveer gelijk, zoodat de term $\frac{kn}{k_7} y_v$ voor elk der stormen voor Harlingen gelijk kan worden gesteld. Aangezien in beide gevallen de gemiddelde standen in Waddenzee en Zuiderzee gelijk zijn, wordt het verschil van de waarden Δ voor beide gevallen bepaald door het verschil der termen $a h$ ten gevolge van den wind. Nu is voor wind Z.W. kracht 8 volgens tabel 10 van Hoofdstuk III blz. 39 $V_w = -16$ c.M. en voor wind N.W. kracht 8 is $V_w = 64$ c.M., een verschil dus van 80 in de waarden van h , daar $H_2 - H_1$ in beide gevallen gelijk is. De stormvloedstand te Harlingen blijft derhalve door de afstroming naar de Zuiderzee bij den N.W.-storm $-80 a$ lager dan bij den Z.W.-storm, dit is dus 0 à 8 c.M.

Voor de andere plaatsen zijn de directe windinvloeden bij Z.W. en N.W. niet gelijk, zooals uit bijlage E kan blijken, zoodat de absolute hoogten niet kunnen worden vergeleken. De verlagende invloed van de aanwezigheid der Zuiderzee wordt echter voor alle plaatsen door den term $a h$ of hier $-80 a$ bepaald, dit is dus $\frac{4}{5}$ van de in het 1e geval opgegeven bedragen.

HOOFDSTUK VI.

BEPALING VAN DE BIJ AFSLUITING DER ZUIDERZEE TE VERWACHTEN
VERHOOGING VAN DE H.W.-STANDEN LANGS DE FRIESCHE KUST,
ONDER NORMALE OMSTANDIGHEDEN EN BIJ STORMVLOEDEN.

Is thans bepaald welken verlagenden invloed de Zuiderzee op de stormvloedstanden langs de Friesche kust uitoefent en gevonden dat die invloed zich niet verder dan ongeveer 15 K.M. benoorden Harlingen doet gevoelen, dan kan nu ook uit de gevonden uitkomsten worden afgeleid met een redelijke mate van juistheid, welke verhooging die stormvloedstanden zullen ondergaan, wanneer de Zuiderzee wordt afgesloten en de verlagende invloed daardoor komt te vervallen.

In die verhooging is dan niet begrepen:

- 1°. een verhooging van het geheele gemiddelde peil in de Waddenzee, dus ook te Vlieland, door eventueele vermindering der afzuiging door de zeegaten, en
- 2°. een verhooging welke als gevolg van wijziging van den directen windinvloed zou kunnen optreden door gewijzigde situatie en mogelijke wijzigingen in de diepten en stroomgeulen voor de kust.

Wat het sub 1°. genoemde punt betreft, zij opgemerkt dat, indien bij een daarnaar in te stellen onderzoek zou blijken, dat thans door den invloed van de Zuiderzee een afzuiging door de zeegaten plaats vindt, welke na de afsluiting van de Zuiderzee zoodanig zal verminderen, dat daardoor ook de H.W.-standen te Vlieland merkbaar zullen worden verhoogd, dan die verhooging ook langs de Friesche kust zal zijn te verwachten, en, zekerheids-halve ten volle, bij de hier berekende verhoogingen zal moeten worden opgeteld. Daar echter bij de hoogste stormvloeden, waar het uiteraard wat de verhooging tengevolge van de afsluiting der Zuiderzee betreft, alleen op aankomt, de Waddenzee niet alleen door de zeegaten met de Noordzee in verbinding staat, doch ook door de boven gewoon H.W. doch onder hoog storm-

vloedspeil liggende platen als de Vliehors en Noordsvaarder, zoodat dan de toestrooming van Noordzee naar Waddenzee over belangrijke lengte kan plaats vinden, wordt eene beteekenende verhooging van het stormvloedspeil door vermindering van de afzuiging door de zeegaten niet verwacht.

Wat het sub 2^e. genoemde punt betreft, de wijziging van den directen windinvloed, wordt voor Harlingen geen noemenswaardige wijziging verwacht. Bij Piaam is op den duur mogelijk eenige aanslibbing en dus verondieping voor de kust te verwachten, waardoor de directe windinvloed wat grooter kan worden. Eenige bepaalde zekerheid bestaat hieromtrent niet.

De twee bovengenoemde omstandigheden zullen dan ook hier verder buiten beschouwing worden gelaten en dus alleen worden berekend welke verhooging is te verwachten bij de afsluiting van de Zuiderzee, als gevolg van het ophouden van den verlagenden invloed. Alvorens deze berekening voor enkele stormvloedden uit te voeren, zal hier eerst worden bepaald, welke wijziging het H. W. langs de Friesche kust onder normale omstandigheden, dus zonder wind, zal ondergaan volgens de voorafgaande berekeningen.

Volgens het in Hoofdstuk II afgeleide verband tusschen de stijging van den gemiddelden Zuiderzeestand en het verschil in waterstand van Waddenzee en Zuiderzee, zou de evenwichtstoestand ongeveer voorkomen bij een gemiddelden Zuiderzeestand die 6 c.M. hooger is dan de gemiddelde Waddenzeestand.

Thans is bij H. W. langs de Friesche kust de Zuiderzeestand gemiddeld 35 c.M. lager dan de stand in de Waddenzee. Globaal zal dus de afsluiting van de Zuiderzee kunnen worden vergeleken, wat de wijziging van de H. W.-standen in de Waddenzee onder normale omstandigheden betreft, met een verhooging van het gemiddeld Zuiderzeespeil van $35 + 6 = 41$ c.M. De H. W.-standen zullen dus door de afsluiting $- 41 a$ hooger worden.

Voor de bepaling van de verhooging zullen nu de grootste negatieve waarden van de coëfficiënten a , op blz. 58 aangegeven, worden aangehouden, dus voor :

Harlingen	— 0.10
Surich	— 0.15
Makkum	— 0.25
Piaam	— 0.30

zoodat de hiermede berekende verhoogingen als maxima zijn te beschouwen en in werkelijkheid de verhoogingen vermoedelijk iets kleiner zullen zijn.

Men vindt dan voor de verhooging — 41 *a* van het H. W. onder normale omstandigheden voor :

Harlingen	4 c.M.
Surich	6 „
Makkum	10 „
Piaam	12 „

Een verhooging tengevolge van vermindering van de afzuigende werking der zeegaten is in deze cijfers niet begrepen. In dit opzicht moge verwezen worden naar de aan het slot van Hoofdstuk II op blz. 27 gegeven beschouwingen, waarbij is gebleken dat onder normale omstandigheden de verandering van de waterbeweging van Noordzee naar Waddenzee niet van groote beteekenis zal kunnen zijn.

De berekening van de verhooging der stormvloedstanden langs de Friesche kust tengevolge van de afsluiting der Zuiderzee zal worden uitgevoerd voor de drie hevigste stormvloedten welke in de laatste 30 jaren zijn voorgekomen, dat zijn de stormvloedten van 22/23 December 1894, 12/13 Maart 1906 en 13/14 Januari 1916.

Bij deze stormen werd de evenwichtstoestand, waarbij de Zuiderzee tot zoodanig peil is opgestuwd dat er evenveel water terugstroomt van Zuiderzee naar Waddenzee onder invloed van het verschil in waterstand als er onder den invloed van den wind van Waddenzee naar Zuiderzee toestroomt, niet bereikt.

Voor dien evenwichtstoestand is het niveauverschil tusschen Waddenzee en Zuiderzee V_s gelijk en tegengesteld aan het niveauverschil V_w , waarmede de windinvloed is gelijk te stellen, zoodat dus het totale niveauverschil S , dat voor den verlagenden invloed in rekening moet worden gebracht, gelijk aan 0 is.

Indien bij genoemde stormen de Zuiderzee was afgesloten en de kleinere oppervlakte der Waddenzee vlug genoeg kan worden gevuld, zoodat dan in de Waddenzee de evenwichtstoestand *wel* zou zijn bereikt, dan komt de invloed van de afsluiting der Zuiderzee in het ongunstigste geval overeen met een verhooging van het Zuiderzeepeil tijdens H. W. langs de Friesche kust tot aan den evenwichtstoestand waarvoor $S = 0$, dus met een ver-

hooging van den gemiddelden Zuiderzeestand groot S c.M.

De stormvloedstanden langs de Friesche kust zullen dan een verhooging ondergaan — aS .

Wordt nu bij de berekening voor de verhooging — aS voor den coëfficiënt a , evenals in het voorafgaande, de grootste negatieve waarde genomen, dan zal de berekende verhooging zeker als een maximum zijn te beschouwen, als men daarbij bovendien in aanmerking neemt, dat het niet bepaald zeker is, dat bij een afgesloten Zuiderzee de evenwichtstoestand *wel* zal worden bereikt.

De berekeningen voor de drie stormen zijn weergegeven op de bijlagen III, IV en V.

Ter verduidelijking zullen hieronder voor den storm van 13/14 Januari 1916, waarbij tijdens het 1e H.W. de Zuiderzee belangrijk lager stond dan de Waddenzee en tijdens het 2e H.W. de Zuiderzee hooger stond dan de Waddenzee, doch voor beide gevallen de evenwichtstoestand niet was bereikt, de gemiddelde standen van Zuiderzee en Waddenzee en de niveauverschillen V_s en V_w schematisch worden voorgesteld.

Bij het 1e stormvloedshoogwater in de Waddenzee langs de Friesche kust op 13 Januari 1916 ongeveer 4 uur n.m. was de gemiddelde Zuiderzeestand ongeveer 104 c.M. lager dan de gemiddelde Waddenzeestand, zoodat dus toen $H_2 - H_1 = 104$ c.M., of het niveauverschil ten opzichte van den evenwichtsstand onder normale omstandigheden $V_s = H_2 - H_1 + 6 = 110$ c.M.

De wind was West kracht 10, en is dus volgens tabel 10 blz. 39 gelijk te stellen met een niveauverschil $V_w = 63$ c.M.

De som der niveauverschillen $S = V_s + V_w$, welke som een maat is voor den verlagenden invloed, was derhalve

$$S = 110 + 63 = 173 \text{ c.M.}$$

Dat wil zeggen: de toestand met een 104 c.M. lagere Zuiderzeestand en wind West kracht 10 zou, wat den verlagenden invloed van de Zuiderzee betreft, ongeveer overeenkomen met een toestand, waarbij de Zuiderzee 173 c.M. lager stond dan de Waddenzee, zonder wind.

Voor het normale geval, waarvan bij de afleiding der coëfficiënten a is uitgegaan, staat de Zuiderzee 35 c.M. lager dan de Waddenzee en is $V_s = 35 + 6 = 41$ c.M.

De afwijking h van het normale geval bedraagt voor 13 Januari 1916 dus $173 - 41 = 132$ c.M.

De verlaging tengevolge van de aanwezigheid der Zuiderzee wordt ten opzichte van het normale geval $a h$ en ten opzichte van den evenwichtstoestand:

$$a h + 41 a = a (h + 41) = a (V_s + V_w) = a S.$$

Op bijlage F zijn de verschillende standen schematisch voorgesteld. De evenwichtstoestand zou optreden, wanneer de Zuiderzee ten opzichte van den evenwichtsstand onder normale omstandigheden 63 c.M. hooger had gestaan, in welk geval $V_w = 63$ en $V_s = -63$ dus $S = V_s + V_w = 0$.

De verhooging tengevolge van de afsluiting van de Zuiderzee komt dus overeen met een verhooging van het Zuiderzeepeil van den waargenomen toestand tot aan den evenwichtstoestand voor den storm bij wind West kracht 10, dus zooals uit bijlage F is te zien, met een verhooging van het Zuiderzeepeil met S c.M.

Bijlage G geeft een voorstelling van de verschillende standen voor het 2e H.W. van den stormvloed, dit is op 14 Januari ongeveer 2.30 uur v.m.

De Zuiderzee stond toen bij H.W. in de Waddenzee langs de Friesche kust ongeveer 30 c.M. hooger dan de Waddenzee, zoodat $H_2 - H_1 = -30$ c.M. en $V_s = -24$ c.M.

De wind was N.N.W. kracht 10, waarvoor volgens tabel 10 blz. 39 $V_w = 115$ c.M.

Voor dit geval was dus $S = V_s + V_w = -24 + 115 = 91$ c.M.

Nadere toelichting van bijlage G zal na de voor bijlage F gegeven toelichting niet meer noodig zijn. Het uitzetten eischt alleen eenige oplettendheid wat de teekens betreft.

Op de bijlagen III, IV en V zijn de producten $- a S$ telkens een uur later gesteld. In de kolom opmerkingen zijn de tijdstippen van het stormvloeds-H. W. voor Harlingen en Makkum, volgens de opgaven voorkomende in de stormvloedsverslagen, opgegeven. De plaatsen Surich en Piaam worden daarin niet vermeld. Afgaande op de in die verslagen opgegeven tijden voor Harlingen, Makkum en Workum, kan wel worden aangenomen dat te Surich en Piaam het tijdstip van H. W. slechts weinig met dat te Makkum kan verschillen.

Uit de bijlagen III, IV en V blijkt, dat de grootste verhoogingen $- a S$ ongeveer bij of één uur voor H. W. te Harlingen en

Makkum voorkomen, zoodat veiligheidshalve kan worden aangehouden, dat die grootste verhoogingen ook ongeveer bij H. W. zullen optreden.

In onderstaande tabel 19 zijn de in de bijlagen III, IV en V berekende verhoogingen der stormvloedstanden te Harlingen, Surich, Makkum en Piaam, indien bij de 3 behandelde stormvloedden de Zuiderzee reeds was afgesloten, opgegeven.

Tabel 19.

P L A A T S.	22/23 Dec.	12/13 Maart	13/14 Jan.
	1894.	1906.	1916.
	c.M.	c.M.	c.M.
Harlingen	18	16	18
Surich	27	24	27
Makkum	45	40	45
Piaam	54	48	55

Aangezien deze verhoogingen zijn berekend met de voor de verhooging ongunstigste waarden van a en de verhoogingen tijdens H. W. mogelijk enkele c.M. minder zouden zijn dan die op ongeveer één uur vóór H. W., zullen de in tabel 19 gegeven cijfers met tamelijk groote zekerheid als maximum waarden kunnen worden beschouwd.

Van Harlingen naar het Noorden neemt de verhooging geleidelijk af tot 0 op een punt ongeveer halverwege Harlingen en Nieuw Bildt.

Zooals reeds te voren is uiteengezet, moet bij deze verhoogingen nog worden opgeteld een eventueele verhooging tengevolge van vermindering der afzuiging door de zeegaten en een eventueele verhooging van den directen windinvloed op de kust, tengevolge van verandering in de diepte voor de kust of wijziging der stroomgeulen.

Voor deze eventueele verhoogingen, die niet van veel be-

teekenis worden geacht, als afronding 2 à 5 c.M. stellende, wordt dus voor de verhooging der stormvloedstanden te Harlingen, Surich, Makkum en Piaam bij de drie hevigste stormvloedden welke in de laatste 30 jaren zijn voorgekomen, indien toen de Zuiderzee reeds was afgesloten, gevonden als maximum waarde :

voor Harlingen	20 c.M.
„ Surich	30 „
„ Makkum	50 „
„ Piaam	60 „

STELLINGEN.

I.

De verhooging van de stormvloedstanden in de Waddenzee langs de Friesche kust tengevolge van de afsluiting van de Zuiderzee zal, volgens maatstaf van de drie belangrijkste stormvloeden, die in de laatste 30 jaren zijn voorgekomen, nabij den afsluitdijk niet meer bedragen dan ongeveer 60 c.M. en noordwaarts geleidelijk afnemen tot omstreeks halverwege tusschen Harlingen en Nieuw Bildt, waar de verhooging niet meer merkbaar zal zijn.

II.

Tengevolge van de afsluiting der Zuiderzee zal de afzuiging door de zeegaten Marsdiep en Vlie tijdens H. W. bij stormvloed geen wijziging van groote beteekenis ondergaan.

III.

Na de afsluiting der Zuiderzee is geen beteekenende vermindering van de waterbeweging onder normale omstandigheden door de zeegaten Marsdiep en Vlie te verwachten.

IV.

Na afsluiting en droogmaking van de Zuiderzee zal de gelegenheid tot natuurlijke waterloozing van het Noordzeekanaal bij Schellingwoude belangrijk worden vergroot en wel zoodanig, dat er dan meer gelegenheid tot loozing zal bestaan te Schellingwoude dan te IJmuiden.

V.

Met het oog op de waterinlating zal het gewenscht zijn in tijden van droogte het peil van het toekomstige IJsselmeer tijdig tot N. A. P. op te zetten.

VI.

Inrichting van een voorspellingsdienst van hoge rivierstanden is mogelijk en met het oog op de handhaving van het peil op het toekomstige IJsselmeer gewenscht.

VII.

Het verloop van de waterstanden op de rivieren tijdens de hoogwaterperiode van Januari 1920 geeft, vergeleken met de waterstanden tijdens voorgaande hoogwaterperiodes, geen aanleiding om de oorzaak der hoge rivierstanden van 1920 in verband te brengen met ontbossching.

VIII.

De doorbraak van den Valuwschen dijk bij Cuyk in Januari 1920 stond niet in verband met de in den Beerschen Overlaat aangebrachte keerkade.

IX.

Het is gewenscht dat artikel 5 der Rivierenwet ook van toepassing wordt verklaard op afgravingen in het winterbed.

X.

De bepalingen der wet van 23 Juli 1885 (wrakkenwet) zijn bij berging van aan bederf onderhevige artikelen niet uitvoerbaar.

XI.

Kunstmatige ijsopruiming op de Nederlandsche rivieren bij vastzittend ijs heeft geen zin.

XII.

De Nieuwe Merwede kan niet geacht worden geschikt te zijn voor ijsafvoer.

Zowel met het oog op den ijsafvoer, als met het oog op een rationeeler waterverdeling tusschen Nieuwe Merwede en Beneden Merwede, zal het gewenscht zijn de Nieuwe Merwede te versmallen.

XIII.

In de Nederlandsche rivieren neemt in een bocht de bodem, loodrecht op de stroomrichting, gemiddeld een helling aan ongeveer omgekeerd evenredig met den kromtestraal.

XIV.

De grootste correlatie tusschen kromtestraal en dwarshelling van den bodem in de Nederlandsche rivieren, wordt gevonden stroomafwaarts op een afstand afhankelijk van de breedte der rivier.

XV.

Indien een door rivierversmalling te bereiken diepte moet worden berekend, is het gewenscht de snelheidscoëfficiënt C uit den bestaanden toestand van de rivier af te leiden.

XVI.

De nauwkeurigheid der afvoermetingen op de bovenrivieren is niet groot genoeg, om bij het gering aantal metingen,

dat jaarlijks wordt verricht, uit de uitkomsten van jaar op jaar veranderingen in de waterverdeeling, zooals die zich in de praktijk voordoen, te kunnen afleiden.

XVII.

Bij het maken van gevolgtrekkingen voor toepassing in de praktijk, gegrond op de uitkomsten van waterloopkundige proeven op kleine schaal, moet groote voorzichtigheid in acht worden genomen.

XVIII.

Het gebruik van betonijzeren bakken voor dichting van het sluitgat in den afsluitdijk van de Zuiderzee is niet aan te bevelen.

XIX.

Bij prijsopdrijving van basalt is toepassing van hoogovenslakken voor waterbouwkundige werken aan te bevelen.

XX.

Het valt zeer te betwijfelen, of uitvoering van groote openbare werken in eigen beheer voordeelijker voor het Rijk is dan uitvoering bij openbare aanbesteding.

Berekening verhooging storm

UUR:	H ₂	H ₁	$V_s = H_2 - H_1 + 6$	Wind-richting.	Wind-kracht.
22 Dec.	c.M. + N.A.P.	c.M. + N.A.P.	c.M.		
12 m.	3	— 11	20	Z.W.	9
1 n.m.	16	— 12	34	"	9
2	40	— 10	56	"	9 ½
3	70	— 7	83	Z.W.t.W.	10
4	89	— 2	97	W.Z.W.	9
5	111	6	111	W.	10
6	118	12	112	W.t.N.	10
7	120	20	106	"	10 ½
8	124	36	94	"	10 ½
9	127	52	81	"	9 ½
10	130	68	68	N.W.t.W.	9 ½
11	140	79	67	"	9
12	155	95	66	N.W.	9 ½
23 Dec. 1 v.m.	200	113	93	"	9
2	226	127	105	"	8 ½
3	253	145	114	"	8
4	261	169	98	N.W.t.W.	8
5	255	185	76	"	7 ½
6	235	198	43	"	7
7	199	206	— 1	"	7
8	162	213	— 45	"	6
9	127	211	— 78	"	6
10	99	205	— 100	"	5 ½
11	84	196	— 106	"	5 ½
12	78	187	— 103	"	5

vloed 22/23 December 1894.

V _w (tabel 10 blz. 39).	S.	Verhooging — aS (een uur later) voor:				Opmerkingen.
		Har- lingen.	Surich.	Mak- kum.	Piaam.	
c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	
— 21	— 1					
— 21	13	0	0	0	0	
— 24	32	1	2	3	4	
— 5	78	3	5	8	12	
15	112	8	12	20	23	
63	174	11	17	28	34	
80	192	17	26	44	52	
93	199	19	29	48	58	
93	187	20	30	50	60	
70	151	19	28	47	56	
94	162	15	23	38	45	
81	148	16	24	41	49	
101	167	15	22	37	44	
87	180	17	26	42	50	
76	181	18	27	45	54	
64	178	18	27	45	54	
62	160	18	27	45	53	H.W. Harlingen 4.30 v.m.
53	129	16	24	40	48	H.W. Makkum 5.— v.m.
43	86	13	19	32	39	
43	42	9	13	22	26	
28	— 17	4	6	11	13	
28	— 50	— 2	— 3	— 4	— 5	
23	— 77	— 5	— 8	— 13	— 15	
23	— 83	— 8	— 12	— 19	— 23	
17	— 86	— 8	— 12	— 21	— 25	

Berekening verhooging storm

UUR:	H ₂	H ₁	V _s = H ₂ - H ₁ + 6	Wind- richting.	Wind- kracht.
	c.M. + N.A.P.	c.M. + N.A.P.	c.M.		
12 Mrt. 0 v.m.	35	— 12	53	W.Z.W.	8½
1	18	— 8	32	W.	8
2	0	— 2	8	"	8
3	1	— 2	9	"	8
4	10	0	16	"	9
5	22	2	26	"	8
6	49	6	49	"	9
7	85	12	79	"	9
8	115	21	100	"	9
9	137	30	113	"	8
10	146	40	112	"	7
11	134	48	92	"	7
12	115	56	65	W.N.W.	5
1 n.m.	92	61	37	N.N.W.	5
2	71	68	9	"	7
3	60	69	— 3	N.W.	8
4	68	77	— 3	"	8
5	80	83	3	"	8
6	105	92	19	"	7
7	152	103	55	W.N.W.	8
8	191	117	80	"	9
9	222	134	94	N.W.	8
10	240	150	96	"	8
11	236	167	75	"	8
12	199	178	27	"	8
13 Mrt. 1 v.m.	158	189	— 25	"	7
2	116	190	— 68	"	6
3	83	190	— 101	"	7
4	73	184	— 105	"	6
5	87	179	— 86	W.N.W.	6
6	97	174	— 71	"	7

vloed 12/13 Maart 1906.

V _w (tabel 10 blz. 39).	S.	Verhooging — aS (een uur later) voor:				Opmerkingen.
		Har- lingen.	Surich.	Mak- kum.	Piaam.	
c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	
13	66					
35	67	7	10	17	20	
35	43	7	10	17	20	
35	44	4	6	11	13	
48	64	4	7	11	13	
35	61	6	10	16	19	
48	97	6	9	15	18	
48	127	10	15	24	29	
48	148	13	19	32	38	
35	148	15	22	37	44	
25	137	15	22	37	44	
25	117	14	21	34	41	
16	81	12	18	29	35	
18	55	8	12	20	24	
46	55	6	8	14	17	
64	61	6	8	14	17	
64	61	6	9	15	18	
64	67	6	9	15	18	
46	65	7	10	17	20	
55	110	7	10	16	20	
75	155	11	17	28	33	
64	158	16	23	39	47	
64	160	16	24	40	47	
64	139	16	24	40	48	
64	91	14	21	35	42	
46	21	9	14	23	27	
30	— 38	2	3	5	6	
46	— 55	— 4	— 6	— 10	— 11	
30	— 75	— 6	— 8	— 14	— 17	
25	— 61	— 8	— 11	— 19	— 23	
39	— 32	— 6	— 9	— 15	— 18	

H.W. Harlingen 11.— n.m.

„ Makkum 11.40 „

Berekening verhooging storm

UUR:	H ₂	H ₁	$V_s = H_2 - H_1 + 6$	Wind- richting.	Wind- kracht.
	c.M. + N.A.P.	c.M. + N.A.P.	c.M.		
13 Jan.					
6 v.m.	28	19	15	N.W.	7
7	31	22	15	"	8
8	30	25	11	"	7
9	42	30	18	W.N.W.	8
10	64	39	31	N.W.	7
11	97	45	58	"	8
12	136	60	82	W.	8
1 n.m.	170	72	104	"	10
2	199	86	119	"	10
3	212	102	116	"	10
4	218	121	103	"	10
5	205	134	77	N.W.	9
6	187	147	46	"	10
7	170	159	17	"	9
8	155	172	— 11	"	10
9	142	183	— 35	"	10
10	151	195	— 38	"	9
11	168	204	— 30	N.N.W.	9
12	188	216	— 22	"	10
14 Jan. 1 v.m.	199	226	— 21	"	10
2	203	233	— 24	"	10
3	195	246	— 45	"	10
4	180	252	— 66	"	9
5	158	256	— 92	"	8
6	137	254	— 111	"	8
7	108	246	— 132	"	8
8	87	234	— 141	"	6
9	72	223	— 145	"	6
10	64	210	— 140	"	6

vloed 13/14 Januari 1916.

V _w (tabel 10 blz. 39).	S.	Verhooging — aS (een uur later) voor:				Opmerkingen.
		Har- lingen.	Surich.	Mak- kum.	Piaam.	
c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	c.M.	
46	61					
64	79					
46	57	6	9	15	18	
55	73	8	12	20	24	
46	77	6	9	14	17	
64	122	7	11	18	22	
35	117	8	12	19	23	
63	167	12	18	31	37	
63	182	12	17	29	35	
63	179	17	25	42	50	
63	179	18	27	45	55	
63	166	18	27	45	54	
87	164	17	25	42	50	
115	161	16	25	41	49	
87	104	16	24	40	48	
115	104	10	16	26	31	
115	80	10	16	26	31	
87	49	8	12	20	24	
87	57	5	7	12	15	
115	93	6	9	14	17	
115	94	9	14	23	28	
115	91	9	14	23	28	
115	70	9	14	23	27	
87	21	7	11	18	21	
64	— 28	2	3	5	6	
64	— 47	— 3	— 4	— 7	— 8	
64	— 68	— 5	— 7	— 12	— 14	
30	— 111	— 7	— 10	— 17	— 20	
30	— 115	— 11	— 17	— 28	— 33	
30	— 110	— 12	— 17	— 29	— 35	

H.W. Harlingen 4.— u. d. m.

„ Makkum 3.30 „ „

Noord-

Zee.

Terschelling

Amelande.

Ameland

Schiermonikoog

Vlietstroom

Vlieland

Ezumayl

Nieuw Bildt

Wadden-

Zee.

Marlingen

Surck

Maklum

Praam

Texel

Marodiep.

Hilce

Wieringen

Hindeloopen

Stavoren

Lemmer

Zuider-

Enkhuizen

Urck

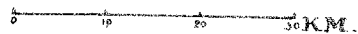
Kruggenburg

Zee.

Elburg

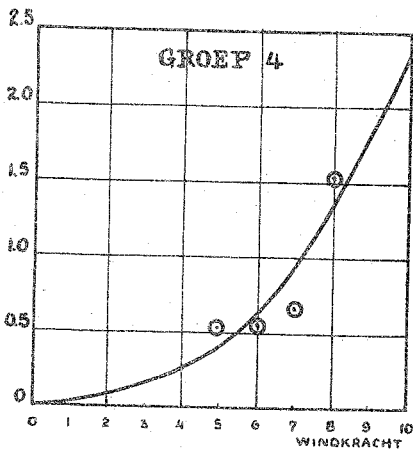
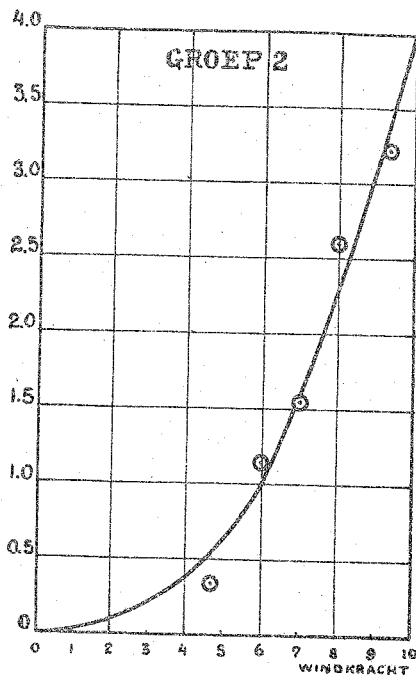
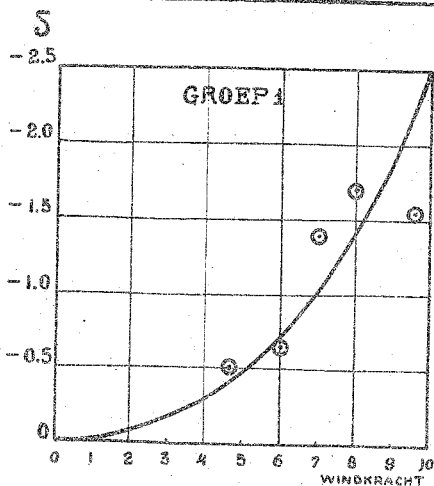
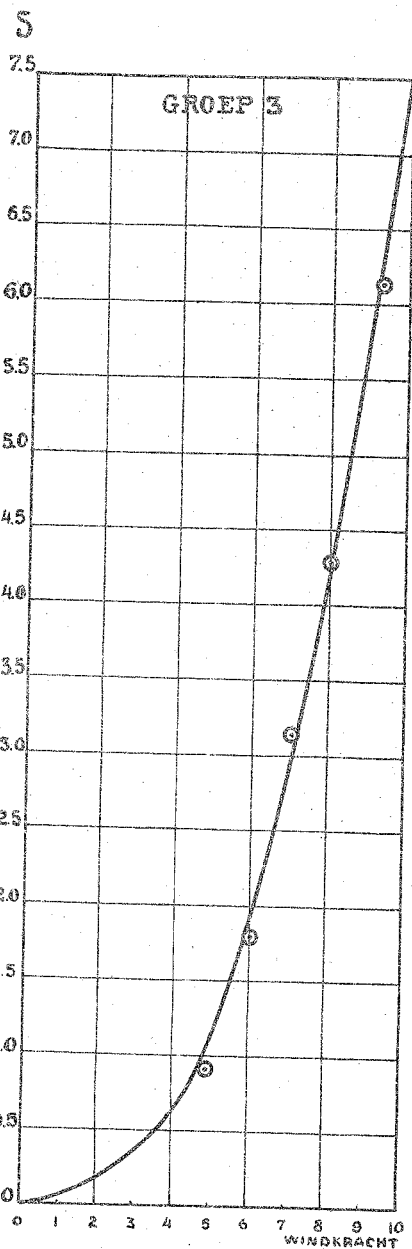
Oranjesluizen

Schaal



Nijkerk

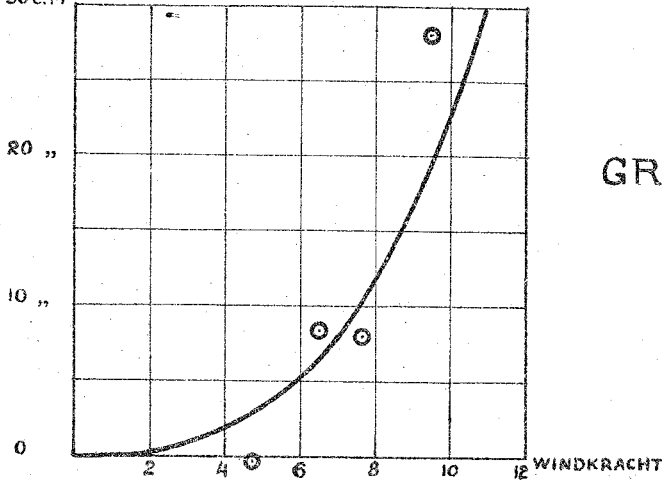
VERBAND
TUSSEN WINDINVLOED δ
IN c.M. STIJGING PER UUR VAN DE
ZUIDERZEE EN WINDKRACHT.



VERBAND TUSSEN VERSCHIL H.W. HARLINGEN -
H.W. VLIELAND EN WINDKRACHT.

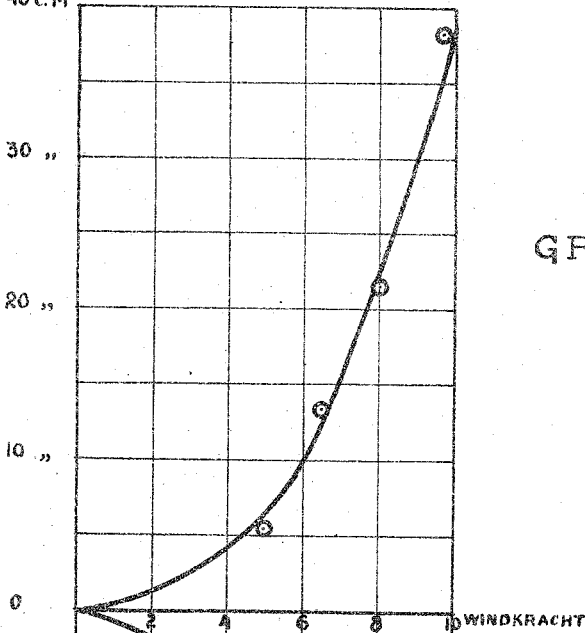
VERSCHIL H.W.
HARLINGEN - VLIELAND

30 c.M



GROEP I.

40 c.M



GROEP II.

- 10 "

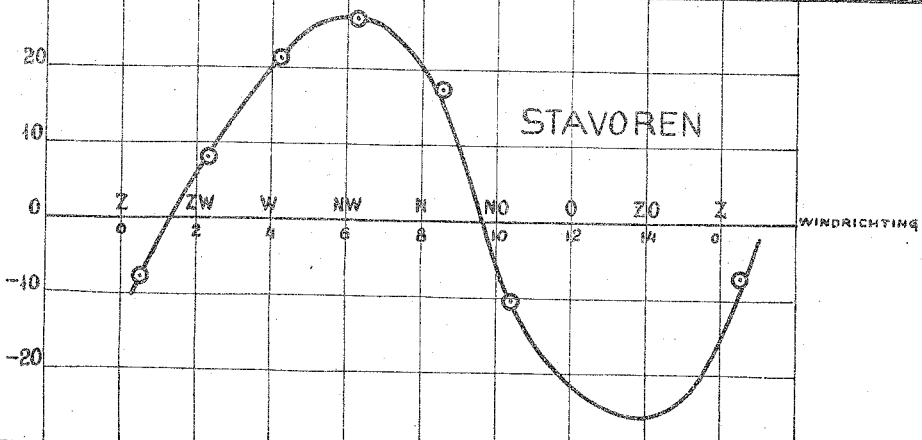
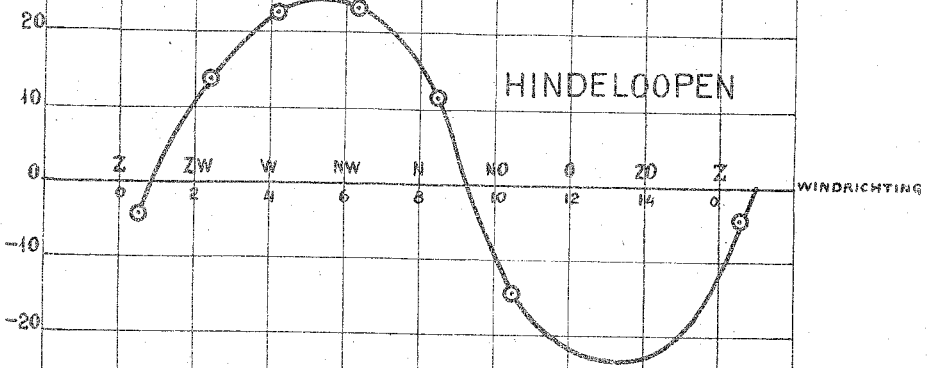
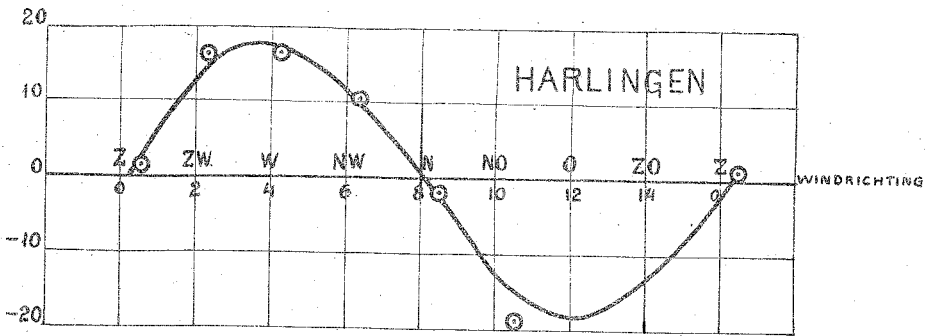
- 20 "

GROEP III.

DIRECTE WINDINVLOED yr BIJ KRACHT 7.

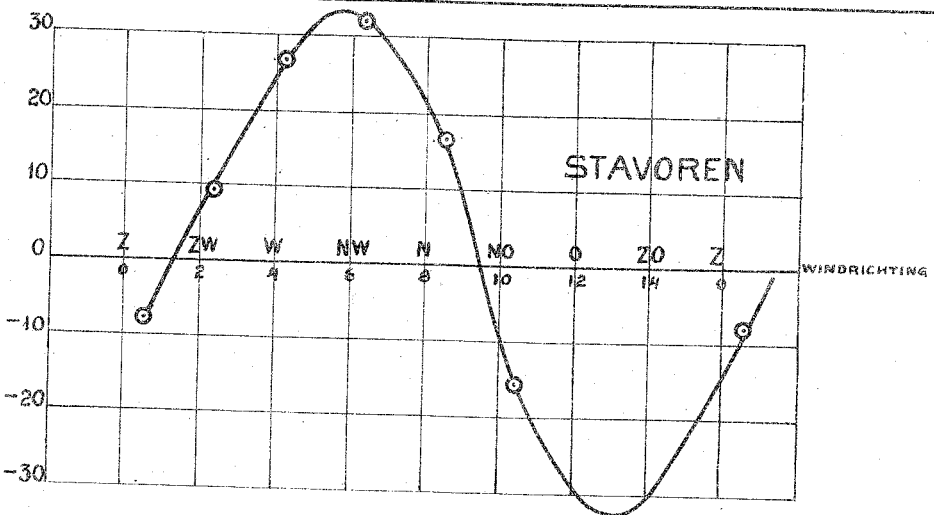
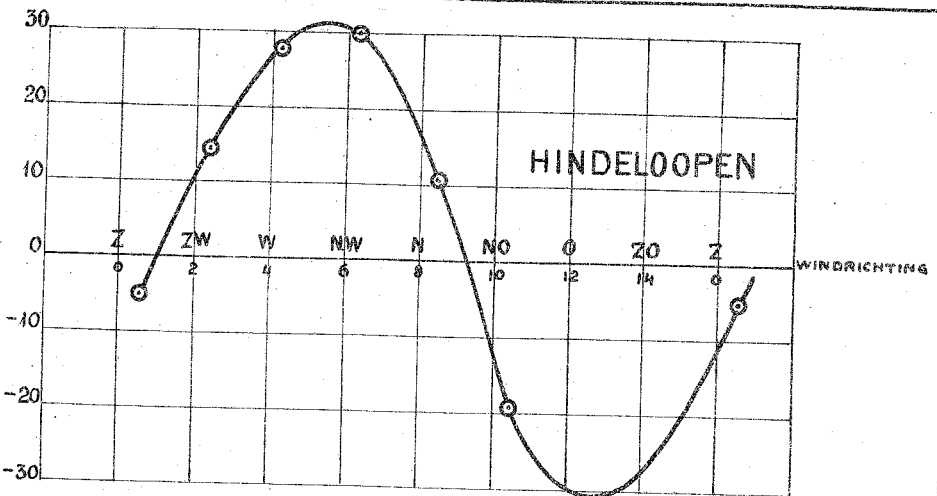
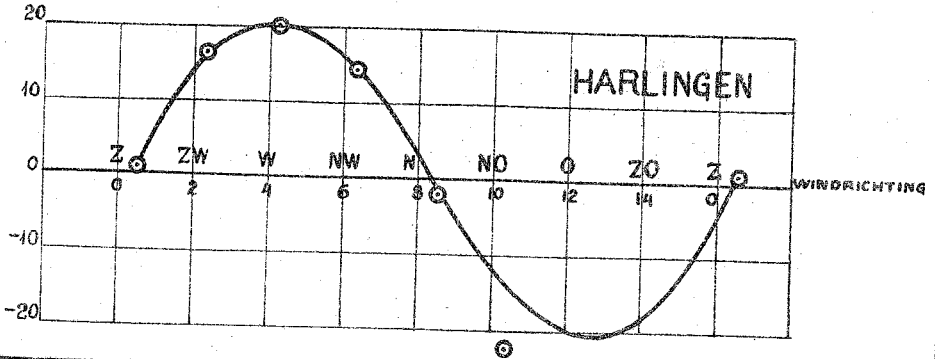
EERSTE BENADERING

c.M.



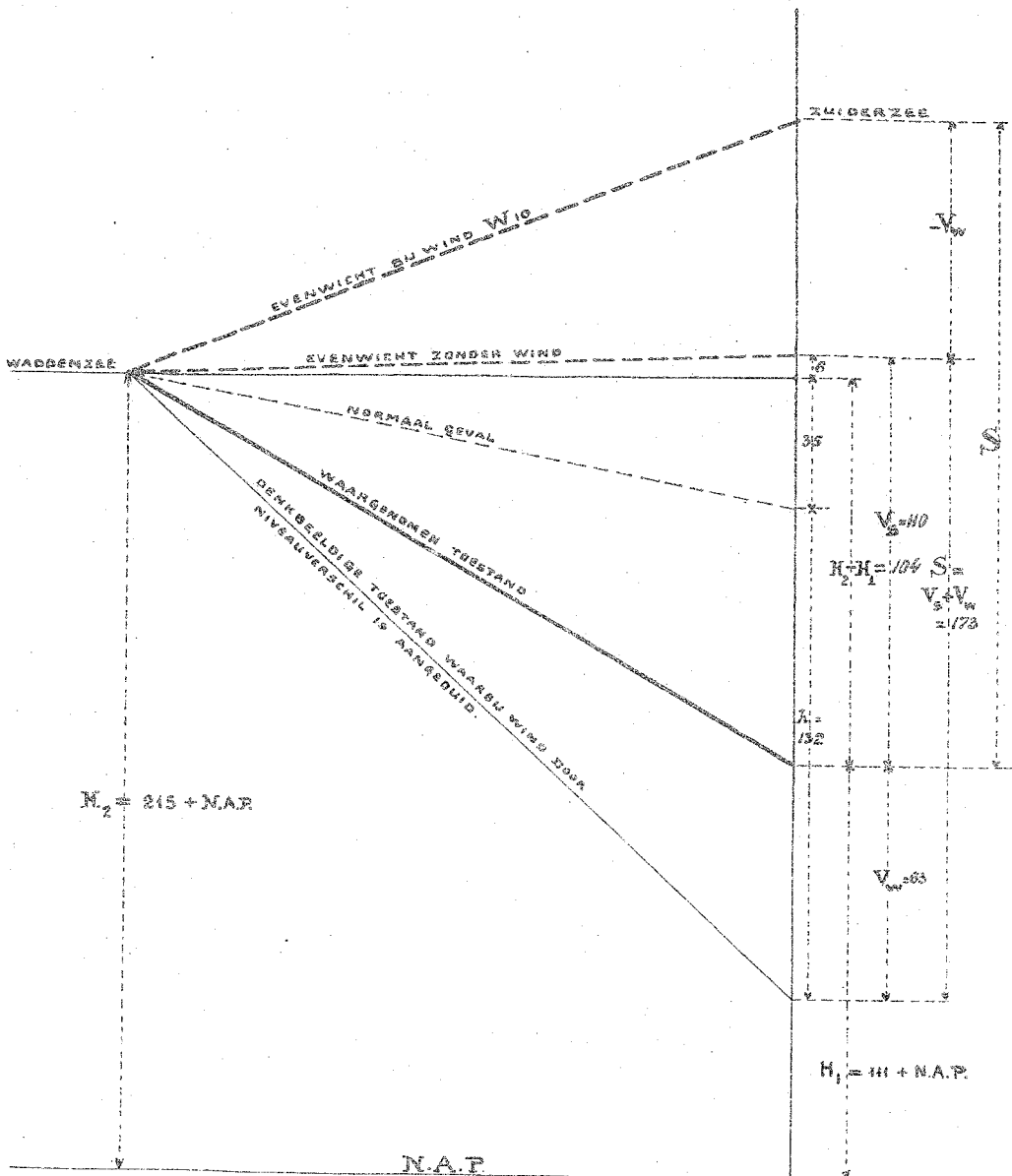
DIRECTE WINDINVLOED yr BIJ KRACHT 7.
TWEDE BENADERING.

c.M



SCHEMATISCHE VOORSTELLING.

STORMVLOED 13 JANUARI 1916 OMSTREEKS 4 uur n.m.

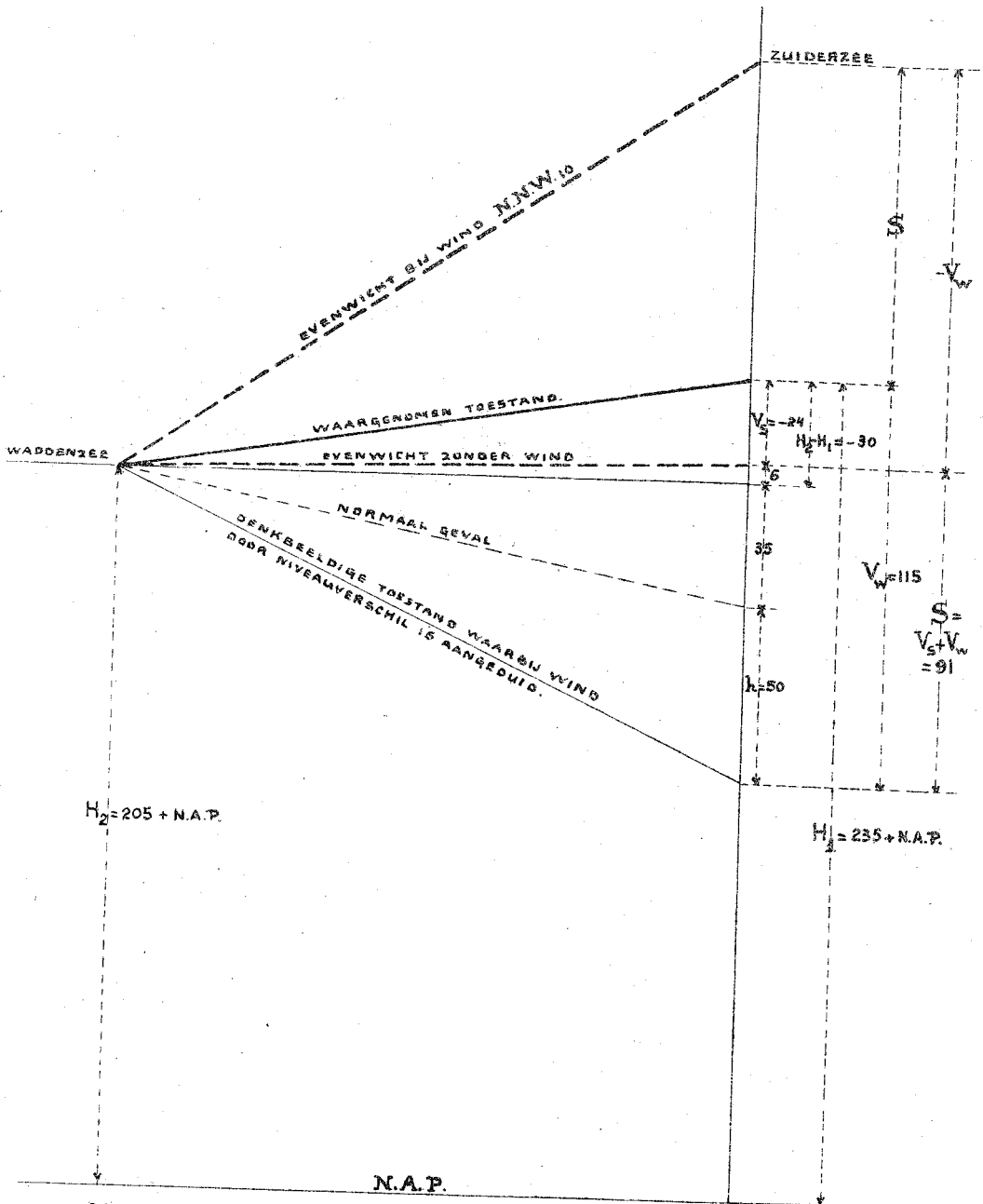


Hoogbeschaal 1:20.

$H_2 - H_1 = 104$ c.M.	$V_w = 63$ c.M.
$V_s = 110$ "	$S = 173$ "

SCHEMATISCHE VOORSTELLING.

STORMVLOED 14 JANUARI 1916 OMSTREEKS 2.30 uur v.m.



Hoogteschaal 1:20.

$$\begin{array}{ll} H_2 - H_1 = -30 \text{ c.M.} & V_w = 115 \text{ c.M.} \\ V_s = -24 \text{ " } & S = 91 \text{ " } \end{array}$$