

GETJBEREKENINGEN

AMELANDER DAM

p.h. van kuik

Inhoudsopgave

I	Inleiding.	1
I-1	Algemene beschouwing.	1
I-2	Berekeningsmethoden.	2
I-2 ^a	Numerieke methoden	2
I-2 ^b	Modelonderzoek.	3
I-3	Keuze van de berekeningmethode	5
I-4	Beschikbare gegevens	5
II	De Harmonische getijberekening	8
II-1	Principe van de methode	8
II-2	Afleiding van de differentiaalvergelijkingen	9
2 ^a	Continuïteitvergelijking	9
2 ^b	Bewegingvergelijking	9
2 ^c	Omwerking.	12
II-3 ^a	Het bepalen van de oplossingen der differentiaalvergelijking	19
3 ^a	geslotenintegratie	19
3 ^b	m.b.v. de middelwaarde stelling	21
3 ^c	Verpooelvergelijking zonder constant te afvoer	23
II-4	Wind	
III	Litvoering van de berekening	26
III-1	Vakindeling	26
III-2	Randvoorwaarden.	26 ^a
III-3	De loop van de berekening	27
III-4	Bespreking van de Formules	29
4 ^a	Vakcoëfficiënten	30
4 ^b	Aaneenschakelen van de vakken	34

3 ^c Middelnstandsverhaang	35
IV Berekeningswijze bij een verlaagde dam	37
IV-1 Algemene opzet	37
IV-2 Het verval boven de dam	38
IV-3 Uitvoering van de berekening	39
V-1 Resultaten van de berekening	42
V-2. Exacte methode in vergelijking tot de „ Harmonische methode	43

Bijlage lijst

1. Overzichtshaart, schematisatie van het geulen systeem
2. Gegevens over het windveld op 22-23 december 1954
3. Stormvloedskromme 22 december 1954.
4. Frequentie voorkomende waterstanden op de waddenzee.
4. Kombergingsrak 3
5. Kombergingsrak 1+2.
6. Kombergingsgrafiek vak M en N
7. " " G en H
8. " " E en F
9. " " D, K en L
10. " " A, B en C
11. " " 4 en 5.
12. Ingevoerde randvoorwaarden Amelandergat.
13. Schema geulenstelsel, vakgegevens.
14. Berekening vakcoëfficiënten afvoer = 0.
- 15a. " " vak N, K en F
- 15b. " " vak C, D en E
16. Formulier C. Aanwenschakeling vakken A en B en G en H
17. Formulier C " " L en M; C en D
18. Formulier D. Berekening grootheden bij stromende zijkanten.
19. Formulier E. Omwerking van de vierpoolvergelijkingen
20. Formulier F. Oplossen van de knooppuntsvergelijkingen
21. Formulier G. Bepalen middenstroomsverval.
22. Formulier H. Oplossen van de rondstromende corr. afvoeren
23. Versamelstaat berekende gegevens.
24. Grafische weergave van de berekende gegevens.

Gebruikte symbolen

- Q getijstroom op bepaalde tijd of gedurende tijdsinterval.
 h verheffing van de waterspiegel t.o.v. de middenstand.
 \hat{Q} amplitude horizontaal getij
 \hat{h} amplitude verticaal getij
 k faz hoek van het verticaal getij
 ψ faz hoek van het horizontaal getij
 μ contractiecoëfficiënt
 π 3,14
 ρ dichtheid
 ω hoeksmelheid
 T getijperiode
 g versnelling van de zwaartekracht $9,81 \text{ m/sec}^2$
 a_z by draaiende straal.
 B bergende breedte.
 b_0 gemiddelde bergende breedte over een getijperiode.
 b_s stroomvoerende breedte
 C coëfficiënt in de formule van Chézy
 h_m diepte van de middenstand
 x afstand langs de geulas.
 t tijd
 p waterdruk
 m dimensionele weerstandcoëfficiënt
 l lengte van een vak.
 A oppervlakte van een dwarsprofiel
 v snelheid
 d_w winddiepte
 α hoek tussen windrichting en windas.
 $M_2 \dots M_4$ dubbel daags getij ; 4 maal daags getij

I Inleiding

I-1 Algemene beschouwing.

Het doel van dit deelontwerp is na te gaan de stormvloedverhoging aan de westrijde van een aan te leggen dam van Ameland naar de Friese kust.

Bovengenoemde dam sluit aan op de veerdam te Holwerd en op Ameland bij de Kooiduinen (zie bijl. 1) Het tracé van de dam is gelegen in de omgeving van het huidige wantij. De lengte van de dam bedraagt circa 5500m.

In dit deelontwerp is speciale aandacht gewijd aan de verhogingen van de maximale stormvloedstand van de storm in februari 1954 langs de westrijde van de stormvloedvrije dam en aan de verhogingen langs de Friese kust ten gevolge van de aanleg van bovengescreven dam. In hoofdstuk II is aangegeven op welke wijze en in dit deelontwerp toegepaste berekeningen gaan verlopen, indien de dam bij stormvloed werkt als een verlaat.

Dit ontwerp dient gezien te worden als een onderdeel van een afstudeerontwerp aan de T. H. te Delft. Het zal duidelijk zijn dat de berekeningen in dit kader beperkt dienen te blijven, zodat met vereenvoudigingen en grove schematisaties is gewerkt. De verkregen resultaten moeten derhalve in dit licht worden gezien.

Voor een uitvoeriger beschrijving van de Amelandse dam wordt verwezen naar het ontwerp „Amelandse dam“ waarin ook de keuze van het tracé is belicht.

I-2 Berekeningsmethoden.

In de laatste 40 jaren zijn diverse berekeningsmethodes ontwikkeld, die achtereenvolgens zullen worden besproken ten einde een keuze te maken betreffende de in dit deelontwerp toe te passen berekeningsmethode.

A. De numerieke berekeningsmethodes.

1. De exacte methode

Bij deze methode wordt een oplossing gezocht van de $h(x, t)$ en $Q(x, t)$ functies door middel van een machtreeks in x . De nauwkeurigheid wordt bepaald door het aantal termen van bedoelde machtreeks en bovendien door het aantal tijdsstappen, waarmee de berekeningen worden uitgevoerd.

Het bezwaar van deze methode is, dat in een ingewikkeld gebied met veel splitsingspunten in het gebied veel ervaring is vereist. Voor het ons gestelde doel zou deze berekeningsmethode de voorkeur verdienen, daar deze toegepast kan worden in ieder continue verloopende stormvloedskromme.

Een beschrijving van deze methode is te vinden in het Rapport van de Deltacommissie deel 4 blz 136-137.

b. De karakteristieke methode.

Deze methode, welke zowel numeriek als grafisch kan worden opgelost is vooral in het gecompliceerd gebied niet eenvoudig. Dit hangt samen met de keuze van de

Daar traagheidskrachten en de berging ten gevolge van de getijbeweging geen constante grootte hebben, zal de looptijd voortdurend gewijzigd worden. Dit veroorzaakt veel voorbereidend werk en rekenwerk, daarom wordt deze methode voor gecompliceerde gebieden

maar zelden toegepast.

Een beschrijving van deze methode wordt gegeven in het rapport van de Delta-commissie deel 4, blz. 104-204.

c. De Harmonische methode

Bij deze methode wordt de voortplanting van een of meerdere harmonische componenten berekend, waaruit de stormvloedschromme wordt gedacht te zijn opgebouwd. Overheerst de grondtoon of 1^e harmonische dan kunnen in de regel de 2^e - 3^e harmonische wel buiten beschouwing worden gelaten, daar het gaat om een veranderings-toestand te berekenen. Deze methode kan voor een meer ingewikkeld gebied systematisch worden uitgevoerd. Het verloop van de ruidenstand wordt in de regel tevens berekend. In het geval, zoals bij een stormvloed is dit noodzakelijk om het windeffect in het beschouwde gebied te leren kennen.

De harmonische berekening wordt behandeld in Hoofdstuk II van dit rapport.

B. Modelonderzoek

Voor het modelonderzoek zijn twee methoden.

a. Het hydraulisch model

Het beschouwde gebied wordt op verkleinde schaal gebouwd. Alle afmetingen zijn echter niet op dezelfde schaal te verkleinen om aan de verschillende modelwetten te kunnen voldoen. Zo ontstaat een vertrokken model. Hierin kunnen de randvoorwaarden worden ingevoerd.

De stromen zijn niet rechtstreeks te bepalen, ze moeten worden afgeleid uit waarnemingen van plaatselijke snelheden.

Een voordeel boven de berekening is het natuurge-

trouwer kunnen nabootsen van de stroomgeulen, waardoor bijkomende gegevens kunnen worden ontleend. Hier tegenover staat de uiterste gevoeligheid van de vooral het kleine model, waardoor makkelijk afwijkingen kunnen ontstaan.

Een voordeel is tevens de mogelijkheid van het visuele waarnemen, wat vertrouwen en inzicht geeft.

De plaatselijke invloed van de wind is in te voeren, hoewel dit zeer grote complicaties te weeg brengt.

De opzet van het model is zeer kostbaar.

Een beschrijving over het hydraulisch model wordt gegeven in het rapport van de Deltacommissie deel 4 bl. 137-139 en deel 5 bl. 12-34.

b. Het elektrisch analoog.

By deze methode wordt er gebruik gemaakt van de analogie tussen de wetten van de vloeistofmechanica en de elektrische stromen.

Het grote voordeel, wat in geringe mate ook geldt voor het hydraulisch model is het gemakkelijk invoeren van veranderingen in de afmetingen als het model eenmaal gebouwd is. Bovendien moet als een van de belangrijkste voordelen genoemd worden de mogelijkheid tot het invoeren van windmelheid en windrichting.

Het elektrisch analoog is makkelijk om te bouwen voor een ander gebied en heeft dus een universeel karakter.

Een beschouwing over het elektrisch analoog van het Deltagebied „de deltar“ is gegeven in de „Drie-maandelijke berichten van de Deltawerken“ november 1961 nr. 10. bl. 7-11 en het rapport van de Deltacommissie deel 4 bl. 139-140 en 215-230.

I-3 Keuze van de berekeningsmethode.

Als meest gezichte methode komt in aanmerking voor het gestelde probleem de exacte berekening, die de beste resultaten zal geven.

Binnen dit ontwerp vergt deze methode te veel tijd, omdat het geulensysteem te ingewikkeld is en de ervaring ontbreekt.

Er is gewerkt met de harmonische rekenmethode, die sneller en systematischer rekenwerk mogelijk maakt. Zijn de valgegevens eenmaal aangenomen dan verloopt deze methode geheel exact.

Bij de Deltadienst is een overeenkomstige berekening uitgevoerd met de exacte methode; de uitkomsten hiervan kunnen na vergelijking een inzicht geven in de nauwkeurigheid van de toegepaste rekenmethode.

I-4 Beschikbare gegevens.

In het vaddengebied zijn nog maar weinig gegevens bekend. Er moet veel gemat en geïnterpoleerd worden om tot de vereiste randvoorwaarden te komen.

a Getijbeweging

Ameland is omringd door twee zeegeten, ten westen het Amelandergat en ten oosten het Pukhegat, die het wad tussen Ameland en de Friese kust vullen. Het verticale getij aan de noordelijke zijde van het eiland is niet bekend. De dichtbijzijnde registrerende getijmeters bevinden zich te Harlingen, Oostmahorn en Vlielandhaven. Aan de steiger te Nes is in 1962 een registrerende peilbuis geplaatst.

Met behulp van deze gegevens kan het verloop van

het getij rond Ameland slechts schematisch worden bepaald. Het getijverloop wordt behalve door de twee genoemde zeegetaten ook indirect beïnvloed door de andere zeegetaten in het waddengebied.

In de geulen op het Amelandervaad zijn in 1963 verschillende metingen verricht door de studiedienst van Rijkswaterstaat te Hoorn. (Rapport no. 64.4.) Hierin vindt men simultane waterstandmetingen, stroom en melkuds metingen.

Dese gegevens zijn in dit ontwerp nauwelijks verwerkt, omdat in dit rapport alleen een hoge stormvloed stand is doorgekeurd.

b. Stormvloeden.

Van de stormvloedsstanden rond Ameland is nog minder bekend. In het Rapport van de Delta dienst - Rijkswaterstaat: „De veranderingen van de waterstanden“ als gevolg van de bouw van de Amelanderdam zijn voor verschillende stormvloeden de hoogwaterstanden in het Ameland en Pinkegat uit gegevens van Harlingen, Oostmahorn en Vlielandhaven afgeleid. Dit is gebeurd door interpolatie, waarbij rekening is gehouden met de voortplanting van de stormvloed.

In genoemd rapport zijn de stormen van 1953, 1954 en 1962 behandeld en tevens een stormvloed met een H.W. stand, die een kans van optreden heeft van gemiddeld éénmaal per 10.000 jaar.

In dit ontwerp is alleen de storm van 1954 doorgekeurd. De voornaamste reden daarvoor is, dat deze storm het meest geschikt is voor een enkelvoudige harmonische berekening, verder waren er over deze storm de meeste.

gegevens beschikbaar o.a. de hoogwaterstanden te Nes en Holwerd.

De stormvloed op 22 december 1954 kwam voor bij noord-westelijke winden met windmelheden van ongeveer 20 m/sec. Gegevens over deze storm zijn te vinden in:

Bijlage 2.: De windmelheden en richtingen, het maximaal stormeffect.

Bijlage 3.: De stormvloedcurven voor Harlingen, Oostmahorn en Vlielandhaven met de geïnterpoleerde waterstanden voor Amelandergat en Pierhegat.

In Bijlage 3^a zijn de stormvloedstanden weergegeven voor het Noordelijk-waddengebied, die een frequentie hebben van respectievelijk gemiddeld één maal per 2 jaar (grensgeval), per 10 jaren en per 100 jaren.

Deze peilen zijn ontleend aan het Eindverslag van de Deltacommissie (deel 4 pag. 85). Hieruit blijkt dat de stormvloed van 1954 een frequentie had van gemiddeld één maal per 12 jaar voor de gebieden rond Ameland.

II De Harmonische getijberekening

II-1 Principe van de methode

Het principe van de harmonische getijberekening is het ontbinden van de totale getijbeweging in een aantal componenten.

- a) een voor de permanente beweging (h_0 en φ_0).
 - b) een voor de voortplanting van het M_2 getij (h_1 en φ_1).
 - c) een voor de voortplanting van het M_4 getij (h_2 en φ_2).
- enz.

Wanneer we ons beperken tot de 1^e harmonische + constante (M_2 en M_0) dan wordt dit voorgesteld in de vergelijkingen.

$$\varphi = \varphi_0 + \bar{\varphi}_1 \cos(\omega_1 t - \varphi_1)$$

$$h = h_0 + h_1 \cos(\omega_1 t - k_1)$$

We kunnen de voortplanting van het M_0 en M_2 getij alleen afzonderlijk berekenen en vervolgens weer samenvoegen als het beginsel van superpositie geldt. Dat wil zeggen de bewegingsvergelijking en de continuïteitsvoorwaarde moeten lineair zijn. Dit is zonder meer niet het geval; in de bewegingsvergelijking komt de term $\partial/\partial t$ voor. Het was prof. Lorentz die een rekenmethode ontwikkelde om de kwadratische weerstandsterm voor niet permanente stromen te lineairiseren.

Het uitgangspunt hierbij is dat de arbeid verricht door de kwadratische weerstandsterm, in getijperiode gelijk is aan de arbeid verricht door de geïlineariseerde weerstandsterm in deze getijperiode.

De benadering van het getij door een constante en één harmonische (grondtoon) kan nogal afwijken van de

werkelijkheid. Aan dit ontwerp i. v. m. de tijd beperkingen worden opgelegd. De afwijkingen van de stormvloeds-kromme blijken nogal mee te vallen voor de waterstanden - blijven de maximale stormvloedstand (zie bijlage 12).

II-2 Afleiding van de differentiaalvergelijkingen.

a) Continuïteitsvergelijking

Bij de afleiding van de vergelijking wordt verondersteld.

- 1) De stroming is ééndimensionaal.
- 2) Water is onsamendrukbaar.
3. De stroombreedte verandert niet in de x richting over de aangenomen sectielengte.

Bekijken we een klein stukje van de geul dx , begrensd door twee dichtbijgelegen kanaalprofielen, dan zal het verschil in de hoeveelheid water, dat door de twee dwarsprofielen op een afstand dx stroomt in een tijd dt een spiegelruyding dh veroorzaken. In formule:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -b \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

Bovenstaande formule drukt uit de wet van behoud van massa.

b. De bewegingsvergelijking

Voor de bewegingsvergelijking gelden de volgende uitgangspunten.

1. De stroming is bij voldoende benadering één dimensionaal, zodat slechts een vergelijking (x richting) mag worden behouden, bochtverliezen worden verwaarloosd en de verticale snelheden zijn zo gering, dat een hydrostatische drukverdeling kan worden

aangenomen.

2. De wet van Chézy, die voor de eenparige stromen werd gevonden geldt bij voltoende benadering ook voor niet permanente stroomtoestanden.
3. De stroomvoerende breedte is zowel in x richting als met de tijd constant.

Om de bewegingsvergelijkingen af te leiden maken we gebruik van de wet van het behoud en verandering van stootvermogen.

Voor water dat zich bevindt in het stroomvoerende bed van het vak tussen het dwarsprofiel bij x en dat op $x + dx$ geldt:

De som van de impuls van de krachten op de waterhoeveelheid, tezamen met het resulterend transport van het stootvermogen in het beschouwde vak moet gelijk zijn aan de vermeerdering van het stootvermogen in dat vak.

Het stootvermogen van het water is $\rho A v dx$. De toename van het stootvermogen in een tijd dt is:

$$\frac{\partial \rho A v dx}{\partial t} dt. = \rho \left[A \frac{\partial v}{\partial t} + v b_s \frac{\partial h}{\partial t} \right] dx dt.$$

Door het dwarsprofiel bij x wordt in een tijd dt een volume van Φdt aan water getransporteerd. Hierin is het stootvermogen $\rho \Phi v dt$.

Bij het dwarsprofiel $x + dx$ is het transport:
 $\left[\rho \Phi v + \rho \frac{\partial \Phi v}{\partial x} dx \right] dt.$

Het resulterend transport van stootvermogen in het vak is

$$-\rho \frac{\partial \Phi v}{\partial x} dx dt = -\rho \left[\Phi \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right] dx dt.$$

Als uitwendige krachten op de waterhoeveelheid werken de zwaartekracht en de bodemwrijving.

Wanneer de waterspiegel onder een verhang van $\frac{\partial h}{\partial x}$ staat, dan werkt er een horizontale kracht groot:

$$- \rho g \frac{\partial h}{\partial x} A \cdot dx.$$

De impuls van de kracht in een tijd dt :

$$- \rho g \frac{\partial h}{\partial x} A \cdot dx \cdot dt$$

Voor de bodemwrijving wordt de zgn. weerstandsverhangkracht van Chézy ingevoerd. Deze kracht is per eenheid van lengte:

$$\rho g \frac{v|v|}{c^2 a_x}$$

De impuls van deze kracht in een tijd dt en over een lengte dx is:

$$\rho g \frac{v|v|}{c^2 a_x} dx \cdot dt.$$

Volgens de eerder genoemde wet moet nu gelden: nadat gedeeld is door $\rho \cdot dx \cdot dt$.

$$A \frac{\partial v}{\partial t} + v b_s \frac{\partial h}{\partial t} = - \left[\varphi \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] - g A \frac{\partial h}{\partial x} - g \frac{v|v|}{c^2 a_x}$$

Als eerder werd gevonden (4):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = - b \frac{\partial h}{\partial t}$$

Als we dit invullen en vervolgens delen door A dan vinden we:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = - g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{b - b_s}{A} v \frac{\partial h}{\partial t} - g \frac{v|v|}{c^2 a_x} \quad (5)$$

c Omwertking van de vergelijkingen.

Aangenomen nu in (5) de snelheid (4) en in (4) de stroom φ voorkomt is het wenselijk één van de twee te elimineren. Dit kan door invoering van $\varphi = v \cdot A$ in de vergelijking (4) uit $A = b_s \cdot h$ volgt.

$$\frac{\partial A}{\partial t} = b_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{en} \quad \frac{\partial A}{\partial x} = b_s \frac{\partial h}{\partial x}$$

Er volgt na substitutie:

$$\frac{\partial h}{\partial x} \left[1 - \frac{\varphi^2}{gA^3} \cdot b_s \right] = -\frac{1}{gA} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\varphi}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} (b+b_s) - \frac{\varphi/\varphi}{c^2 A^2 a_x} + \frac{b-b_s}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6)$$

Nu kan in (6) voor de term $1 - \frac{\varphi^2}{gA^3} \cdot b_s$ geschreven worden

$$1 - \frac{v^2 b_s}{gA} = 1 - \frac{v^2}{gh}$$

Thuis is h dus gh in de meest gevallen zo groot ten opzichte van v^2 dat $v^2 : gh$ verwaarloosd mag worden.

Uiteindelijk volgen twee vergelijkingen met twee variabelen φ en h , die beiden veranderen met de tijd en naar x .

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{gA} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\varphi}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\varphi/\varphi}{c^2 A^2 a_x} \quad (7)$$

en de continuïteitsvoorwaarde:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -b \frac{\partial h}{\partial t} \quad (8)$$

Bekijken we nu de afzonderlijke delen van de vergelijkingen.

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

Uitgaande van een getijbeweging om een middenstand (a_m) en een amplitude (h) kan voor A geschreven worden:

$$A = b_s (a_m + h)$$

$$\frac{1}{gA} = \frac{1}{g b_s (a_m + h)} = \frac{1}{g A_m [1 - (h/a_m)]}$$

$\frac{1}{[1 - (h/a_m)]}$ is te beschouwen als de som van een binominale reeks met rede h/a_m ($h < a_m$) Voor zo'n reeks geldt:

$$(1 + \Delta x)^n = 1 + \frac{n \Delta x}{1!} + \frac{n(n-1)}{2!} \Delta x^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} \Delta x^3 \dots$$

In dit geval $\Delta x = h/a_m$ en $n = -1$.

$$\frac{1}{gA} = \frac{1}{gA_m} \left(1 - \frac{h_1}{a_m} + \frac{h_1^2}{a_m^2} - \frac{h_1^3}{a_m^3} \dots \right)$$

Om deze term nog verder te ontleden dient men zich te realiseren hoe zowel het horizontaal als het verticaal getij weergegeven kan worden. Zoals in hoofdstuk I-1 bij de beschouwing van de getijbeweging is opgemerkt wordt hier volstaan met een harmonische grondtoon.

Het horizontaal getij wordt voorgesteld door de betrekking:

$$\varphi = \varphi_0 + \bar{\varphi} \cos(\omega t - \varphi_1) \quad \varphi = \text{fase hor. getij}$$

en het verticaal getij:

$$h = a_m + \bar{h} \cos(\omega t - k_1) \quad k = \text{fase vert. getij}$$

Dit moet in bovenstaande termen verwerkt worden.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_0}{\partial t} - \bar{\varphi} \omega \sin(\omega t - \varphi_1) \quad \frac{\partial \varphi_0}{\partial t} = 0$$

Na enige bewerking wordt gevonden:

$$\frac{1}{gA} = \left[\bar{n}_0 - \bar{n}_1 \cos(\omega t - k_1) + \bar{n}_2 \cos 2(\omega t - k_1) \dots \right]$$

Ik beperken ons verder tot \bar{n}_0 en \bar{n}_1 , de volgende termen worden verwaarloosd.

$$\bar{n}_0 = 1 + \frac{\bar{h}^2}{2a_m^2} \quad \bar{n}_1 = \frac{\bar{h}^1}{a_m} + \frac{3\bar{h}_1^3}{4a_m^3}$$

Dit kan alleen als de amplitude klein t.o.v de waterdiepte is. Voor dit gebied is dat een nogal grove benadering in de ondiepe gedeelten is de amplitude van het verticaal getij bijna de helft van de waterdiepte.

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{1}{gA_m} \left[\bar{n}_0 + \bar{n}_1 \cos(\omega t - k_1) \right] \omega \bar{\varphi}_1 \sin(\omega t - \varphi_1)$$

$$= -\frac{\bar{n}_0}{gA_m} \omega \bar{\varphi}_1 \sin(\omega t - \varphi_1) - \frac{\bar{n}_1}{gA_m} \omega \bar{\varphi}_1 \sin(\omega t - \varphi_1) \cos(\omega t - k_1)$$

$$\sin(\omega t - \varphi_1) \cos(\omega t - k_1) = \frac{1}{2} [\sin(2\omega t - \varphi_1 - k_1) + \sin(k_1 - \varphi_1)]$$

De termen uitgeschreven levert:

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\bar{n}_0}{gA_m} \frac{\partial \psi}{\partial t} - \frac{\bar{n}_1 \omega \bar{\varphi}_1}{2gA_m} \sin(2\omega t - \varphi_1 - k_1) - \frac{\bar{n}_1 \omega \bar{\varphi}_1 \sin(k_1 - \varphi_1)}{2gA_m}$$

De tweede term heeft de frequentie van het M_4 getij, deze zouden buiten beschouwing blijven.

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\bar{n}_0}{gA_m} \frac{\partial \psi}{\partial t} - \frac{\bar{n}_1 \omega \bar{\varphi}_1 \sin(k_1 - \varphi_1)}{2gA_m} \quad (10)$$

De term $\frac{2b}{gA^2}$ is in absolute waarde klein t.o.v. de

weerstandsterm en de versnellingsterm. De variatie van deze term t.g.v. de verandering in de diepte worden daarom zeer klein en kunnen verwaarloosd worden.

$$\frac{2b}{gA^2} \varphi \frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{2b}{gA_m^2} \left[\bar{\varphi}_0 + \bar{\varphi}_1 \cos(\omega t - \varphi_1) \right] \bar{h}_1 \omega \sin(\omega t - k_1)$$

$$= -\frac{2b\omega}{gA_m^2} \bar{\varphi}_1 \bar{h}_1 [\sin(2\omega t - k_1 - \varphi_1) - \sin(k_1 - \varphi_1)] + \frac{2b}{gA_m^2} \bar{\varphi}_0 \frac{\partial h}{\partial t}$$

De term van het M_4 getij wordt weer weggelaten.

$$\frac{2b}{gA^2} \varphi \frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{2b\omega}{gA_m^2} \bar{\varphi}_1 \bar{h}_1 \sin(k_1 - \varphi_1) + \frac{2b}{gA_m^2} \bar{\varphi}_0 \frac{\partial h}{\partial t} \quad (11)$$

De weerstandsterm $\frac{1}{C^2 A^2 a_z} \Phi / \bar{\Phi}$

We veronderstellen dat C constant is en dat de factor a_z/a ongevoelig is voor een veranderlijke diepte, zodat we de waarde in de middenstand kunnen nemen. We vinden dan

$$\frac{1}{C^2 A^2 a_z} = \frac{1}{a_z/a \cdot C^2 b_s^2 a_m^3 (1+h_1/a_m)^3} = \frac{1}{C^2 A^2 a_m} \left(\frac{1}{(1+h_1/a_m)^3} \right)$$

$$\frac{1}{(C^2 A^2 a_z)_m} \left[1 - \left(-\frac{3h_1}{a_m} - \frac{3h_1^2}{a_m^2} - \frac{h_1^3}{a_m^3} \right) \right]$$

Nu kunnen we de tweede term weer beschouwen als een binominale reeks en dan uitschrijven:

$$\frac{1}{C^2 A^2 a_z} = \frac{1}{(C^2 A^2 a_z)_m} \left[n_0 - n_1 \cos(\omega t - k_1) + n_2 \cos 2(\omega t - k_1) + \dots \right]$$

waarin:

$$n_0 = 1 + 3 \frac{\bar{h}_1^2}{a_m^2} + 5.625 \frac{\bar{h}_1^4}{a_m^4} + \dots$$

$$n_1 = 3 \frac{\bar{h}_1}{a_m} + 7.5 \frac{\bar{h}_1^3}{a_m^3} + \dots \quad n_2 = \frac{3\bar{h}_1^2}{a_m^2} + 7.5 \frac{\bar{h}_1^4}{a_m^4} + \dots$$

Bij de herleiding van de factor $\Phi / \bar{\Phi}$ kunnen we twee gevallen onderscheiden:

- $\Phi_0 \leq \bar{\Phi}$, dan treden er kenteringen op.
- $\Phi_0 > \bar{\Phi}$, er treden geen kenteringen op.

Het tweede geval geeft geen moeilijkheden; we kunnen immers schrijven $\Phi / \bar{\Phi} = \Phi^2$

Bij het eerste geval wisselt het hoornotaalgety van teken

$$\Phi / \bar{\Phi} = \left| \Phi_0 + \bar{\Phi} \cos(\omega t - \psi_1) \right| \cdot \left[\Phi_0 + \bar{\Phi} \cos(\omega t - \psi_1) \right]$$

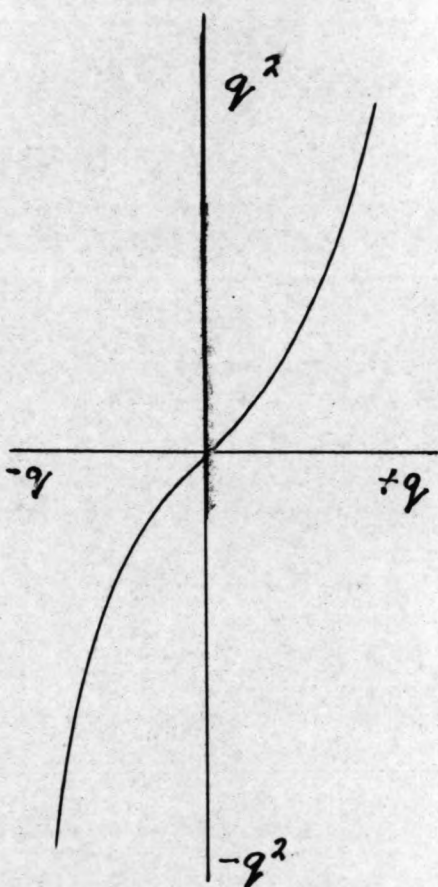
$$= \bar{\Phi}^2 \left| \lambda + \cos(\omega t - \psi_1) \right| + \left[\lambda + \cos(\omega t - \psi_1) \right]$$

hierin is $\lambda = \Phi_0 / \bar{\Phi}$, $0 < \lambda < 1$

Men stelt korthedshalve $\lambda + \cos(\omega t - \psi_1) = q$, dan geldt

$$Q/Q = \bar{Q}^2 / Q \cdot Q$$

De waarde van l is maximaal ± 1 , zodat de waarden waartussen q zich kan bewegen ligt tussen ± 2 . In onderstaande figuur is de uitdrukking q/q grafisch voorgesteld



Voor $l=1$ geldt: $q/q = q^2$. De functie ligt in het eerste kwadrant en doorloopt de tak vanaf de oorsprong tot het punt $(2, 4)$. Voor $l=0$ beweegt de functie zich tussen de getallen $(1, 1)$ en $(-1, -1)$. Dit is als de bovenafvoer nul is. Voor $l=-1$ ligt de functie geheel in het 3^e kwadrant

We benaderen de functie q/q door een machtreeks:

$q/q = A_0 + A_1 q + A_2 q^2 + A_3 q^3 + \dots$
voor $q=0$ geldt $q/q = 0$, dus $A_0 = 0$
De functie is o -symmetrisch, derhalve moeten de coëfficiënten behorende bij even machten van q

nul zijn dus:

$$q/q = A_1 q + A_3 q^3 + A_5 q^5 + A_7 q^7 + \dots$$

De coëfficiënten A_1, A_3 en A_5 moeten berekend worden, dit kan b.v. door de methode van de kleinste kwadraten. Deze methode laten we buiten beschouwing, maar dwingen de functie in 4 bekende punten.

$$(0,5; 0,25) - (1; 1) - (1,5; 2,25) \text{ en } (2; 4)$$

Aldus verkrijgen we vier vergelijkingen waaruit de coëfficiënten zijn op te lossen.

$$q/|q| = 0,0254q^7 - 0,2222q^5 + 0,9111q^3 + 0,2057q$$

In de vergelijking vervolgens gesubstitueerd

$$q = k + \cos(\omega t - \psi_1) \text{ levert:}$$

$$q/|q| = m_0 + m_1 \cos(\omega t - \psi_1) + m_2 \cos 2(\omega t - \psi_1) + m_3 \cos 3(\omega t - \psi_1)$$

waarin.

$$m_0 = 0,02539 k^7 + 0,04430 k^5 + 0,13325 k^3 + 1,29156 k$$

$$m_1 = 0,17773 k^6 - 0,4441 k^4 + 1,4 k^2 + 0,044405$$

$$m_2 = 0,26660 k^5 - 0,66677 k^3 + 0,09443 k$$

$$m_3 = 0,22216 k^4 - 0,30092 k^2 + 0,16667.$$

voor $\Phi/|\Phi| : c^2 A^2 a_2$ kunnen we schrijven:

$$\frac{\bar{\Phi}^2}{(c^2 A^2 a_2)_m} [m_0 + m_1 \cos(\omega t - \psi_1) + m_2 \cos 2(\omega t - \psi_1)] [n_0 - n_1 \cos(\omega t - k_1)]$$

Dit uitgewerkt.

$$\frac{\bar{\Phi}_1^2}{(c^2 A^2 a_2)_m} \left[m_0 n_0 - m_0 n_1 \cos(\omega t - k_1) + m_1 n_0 \cos(\omega t - \psi_1) - \frac{m_1 n_1 \cos(k_1 - \psi_1)}{2} + n_0 m_2 \cos 2(\omega t - \psi_1) - \frac{m_2 n_1 \cos(\omega t - 2\psi_1 + k_1)}{2} \right]$$

Voegen we nu al de gelijksoortige termen bij en vermenvuldigen de afzonderlijke delen met $\bar{\Phi}_1 : \bar{\Phi}_1$ dan ontstaat de volgende betrekking

$$\frac{\bar{\Phi}^2}{(c^2 A^2 a_2)_m} \frac{\bar{\Phi}_1}{\bar{\Phi}_1} [n_0 m_1 - n_1 m_2 \cos(k_1 - \psi_1)] + \frac{\bar{\Phi}}{(c^2 A^2 a_2)_m} \frac{n_1 h_1 (m_0 + m_2)}{h_1} + \frac{\bar{\Phi}^2}{(c^2 A^2 a_2)_m} [n_0 m_0 - \frac{n_1 m_1 \cos(k_1 - \psi_1)}{2}] \quad (12)$$

Nu zijn alle termen weer in de bewegingsvergelijking te stoppen, voor welke vergelijking geldt.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial h_m}{\partial x} + \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x}.$$

Het verhang is dus gesplitst in afzonderlijke delen. We beschouwen in ons geval.

a) $\frac{\partial h}{\partial x}$: het middenstandsverhang, dat onafhankelijk van de tijd is.

b) Het verhang veroorzaakt door het tweemaaldaags getij. De termen van de regels 10-11 en 12 kunnen opgesplitst worden, men krijgt dan:

$$\frac{\partial h_m}{\partial x} = \frac{-n_1 \omega \bar{\varphi}_1}{2gA_m} \sin(k_1 - \varphi_1) + \frac{b\omega}{gA_m^2} \bar{\varphi} \bar{h} \sin(k_1 - \varphi_1) + \frac{\bar{\varphi}_1^2}{(C^2 A^2 a_2)_m} \left[\frac{n_0 m_0 - n_1 m_1}{2} \cos(k_1 - \varphi_1) \right] \quad (13)$$

De eerste twee termen zijn te verwaarlozen klein t.o.v de andere termen en worden daarom verder weggelaten.

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{-\bar{n}_0}{gA_m} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{2b}{gA_m^2} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\bar{\varphi}_1^2}{(C^2 A^2 a_2)_m} \frac{\varphi}{\bar{\varphi}_1} (n_0 m_1 - n_1 m_2 \cos(k_1 - \varphi_1)) + \frac{\bar{\varphi}_1^2 n_1 h}{(C^2 A^2 a_2)_m} \frac{1}{h} \cdot \left(\frac{m_0 - m_2}{2} \right) \quad (14)$$

Nu zullen we enige rotaties invoeren.

$$\frac{\bar{\varphi}_1^2}{(C^2 A^2 a_2)_m} \frac{1}{\bar{\varphi}_1} \left[n_0 m_1 - n_1 m_2 \cos(k_1 - \varphi_1) \right] = \bar{k} \quad (15)$$

$$\frac{\bar{\varphi}_1^2}{(C^2 A^2 a_2)_m} \frac{1}{h_1} \left[\frac{m_0 - m_2}{2} \right] = \bar{k} \quad (16)$$

$$\frac{\bar{n}_0}{gA_m} = m \quad \text{en} \quad \frac{2b_0 \varphi_0}{gA_m^2} = \bar{m} \quad (17) (18)$$

Dan luidt de vergelijking voor het M_4 getij

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\bar{k} \varphi_1 - m \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \bar{k} h_1 + \bar{m} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (19)$$

Hieraan toegevoegd de bewegingsvergelijking

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -b \frac{\partial h}{\partial t}$$

Hierin is te schrijven: $\frac{\partial(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 \dots)}{\partial x} = -b \frac{\partial(h_1 + h_2 + h_3 \dots)}{\partial t}$

Nu is b een functie van h . Volgens de Fourrierontwikkeling is deze te schrijven:

$$b = b_0 + \bar{b}_1 \cos(\omega t - k_1) + \bar{b}_2 \cos 2(\omega t - k_1)$$

$$\frac{\partial(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 \dots)}{\partial x} = -b_0 \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\bar{b}_1}{2} \sin(\omega t - k_1) + \dots$$

We beschouwen alleen het M_2 gety, zodat geldt:

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = -b_0 \frac{\partial h}{\partial t} \quad (20)$$

Hierbij dient te worden opgemerkt dat b_0 niet de hoobergingsbreedte is in de middenstand, maar de gemiddelde bergende breedte in een getijperiode.

II.3 Het bepalen van de oplossingen der differentiaalvergelijkingen.

a Met gesloten integratie.

De te beschouwen differentiaalvergelijkingen zijn:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -k \varphi - m \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \bar{k} h + m \frac{\partial h}{\partial t} \text{ en}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -b_0 \frac{\partial h}{\partial t}$$

De vergelijking (19) naar x gedifferentieerd en daarin vergelijking (20) gesubstitueerd geeft:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = k b_0 \frac{\partial h}{\partial t} + m b_0 \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} + \bar{k} \frac{\partial h}{\partial x} + m \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial t} \quad (21)$$

Dit is de differentiaalvergelijking van de waterbeweging, waarvan de oplossing gevonden moet worden. Deze vergelijking vertoont grote overeenkomst met de in de literatuur voorkomende zgn. "telegraafvergelijking". Bij het zoeken naar een functie, die representatief is voor de getijbeweging ligt het voor de hand een periodieke functie

te zoeken. Dit is gerealiseerd door te stellen:

$h_1 = C_1 e^{j\omega t}$ waarin z bestaat uit een reël en ima-
ginair gedeelte. Substitueren we deze betrekking in de
formule (21) dan krijgen we de karakteristieke vergelijking

$$z^2 - z(k + j\omega m) - j\omega b_0(k + j\omega m) = 0.$$

Dit levert twee waarden voor z . Dit is ook te begrijpen
want de wortplanting met het oppervlaktewater mees anders
als de wortplanting tegen het oppervlaktewater in.

De oplossing heeft de volgende gedaante:

$$h_1 = C_1 e^{j\omega t + z_1 x} + C_2 e^{j\omega t + z_2 x}. \quad (22)$$

De continuïteitsvoorwaarde geïntegreerd geeft:

$$\int_0^l \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx = -b_0 \int_0^l \frac{\partial h}{\partial x} dx.$$

$$\varphi = - \int_0^l (-b_0 j\omega C_1 e^{j\omega t + z_1 x} - b_0 j\omega C_2 e^{j\omega t + z_2 x}) dx$$

$$\varphi = -j\omega b_0 \frac{C_1}{z_1} e^{j\omega t + z_1 x} - j\omega b_0 \frac{C_2}{z_2} e^{j\omega t + z_2 x}. \quad (23)$$

Voor het oplossen van C_1 en C_2 moeten twee randvoor-
waarden bekend zijn. Deze randvoorwaarden zijn $\varphi(a)$ en
 $h(a)$ ten tijde $t=0$ en daar waar $x=0$. Hieruit volgt:

$$h_1(a) = C_1 + C_2.$$

$$\varphi(a) = -j\omega b_0 \frac{C_1}{z_1} - j\omega b_0 \frac{C_2}{z_2}.$$

Deze twee vergelijkingen opgelost levert:

$$C_1 = \frac{-z_1}{z_2 - z_1} h(a) - \frac{1}{j\omega b_0} \frac{z_1 z_2}{z_2 - z_1} \varphi(a)$$

$$C_2 = \frac{z_2}{z_2 - z_1} h(a) - \frac{1}{j\omega b_0} \frac{z_1 z_2}{z_2 - z_1} \varphi(a)$$

Nu geldt voor vergelijking 22 voor $x=l$ en voor $t=0$.

$$h(l) = h(a) \left[\frac{z_1 e^{z_1 l} - z_2 e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} \right] + \frac{z_1 z_2}{j\omega b_0} \left[\frac{e^{z_1 l} - e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} \right] \varphi(a) \quad (24)$$

$$\varphi(l) = H(a) \left[\frac{e^{z_1 l} - e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} \right] j\omega b_0 - \left[\frac{z_2 e^{z_1 l} - z_1 e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} \right] \varphi(a) \quad (25)$$

Men voert de volgende notaties in:

$$\frac{z_1 e^{z_1 l} - z_2 e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} = L \quad \frac{z_1 z_2}{j\omega b_0} \left(\frac{e^{z_1 l} - e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} \right) = M.$$

$$\frac{e^{z_1 l} - e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} = N. \quad \frac{z_2 e^{z_1 l} - z_1 e^{z_2 l}}{z_1 - z_2} = O.$$

Hoortstaat een vereenvoudigde vorm, de zgn. „vierpoolvergelijking“, waarmee zowel de roortplanting van het verticaal, als die van het horizontaal getij bepaald kan worden.

$$h = L h(a) + M \varphi(a) \quad (26)$$

$$\varphi(l) = N h(a) + O \varphi(a) \quad (27)$$

b Oplossing m. b.v. de middelwaarde stelling

De bovenomschreven oplossing van de differentiaalvergelijking is geheel exact, maar de uitwerking vraagt veel tijd voor het berekenen van de valcoëfficiënten.

Er is daarom een methode ontwikkeld, die gebruik maakt van de middelwaarde stelling

uitgegaan wordt van dezelfde vergelijkingen (19) en (20) welke na omwerking luiden:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -k \varphi, -j\omega m \varphi, + \bar{k} h, + j\omega \bar{m} h \text{ of}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -(k + j\omega m) \varphi + (\bar{k} + j\omega \bar{m}) h, \quad (28)$$

Beschouwen we nu een sectie met lengte l , waar de randvoorwaarden gegeven zijn, namelijk $h(a)$ en $\varphi(a)$. Over de hele lengte geïntegreerd:

$$\int_0^l \frac{\partial h}{\partial x} dx = -(k+j\omega m) \int_0^l \varphi dx + (\bar{k}+j\omega \bar{m}) \int_0^l h dx.$$

en voor de continuïteitsvergelijking:

$$\int_0^l \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx = -j\omega b_0 \int_0^l h dx.$$

Nu passen we de middelwaardestelling toe, waarbij we veronderstellen dat het verloop van $\varphi(x)$ naar $\varphi(1)$ en van $h(x)$ naar $h(1)$ lineair is. Dit kan als de sectielengte voldoende kort wordt genomen.

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = x_2 - x_1 \cdot \frac{f(x_2) + f(x_1)}{2}.$$

In het midden van iedere sectie geldt

$$\varphi(m) = \frac{\varphi(1) + \varphi(a)}{2} \quad h(m) = \frac{h(1) + h(a)}{2}$$

Dit in de geïntegreerde vergelijkingen ingevuld levert:

$$h(1) = h(a) - (k+j\omega m) l \frac{\varphi(a) + \varphi(1)}{2} + (\bar{k}+j\omega \bar{m}) l \frac{h(a) + h(1)}{2}$$

De volgende notaties worden ingevoerd:

$$l(k+j\omega m) = R_I \tag{30}$$

$$l(\bar{k}+j\omega \bar{m}) = R_{II}$$

$$l j\omega b_0 = 1/R_{II}$$

$\varphi(1)$ gesubstitueerd in vergelijking (29) geeft:

$$\varphi(1) = \frac{1}{R_{II} \left(1 - \frac{R_I}{4R_{II}} - \frac{\bar{R}_I}{2}\right)} \cdot \frac{h(a) + 1 - \frac{R_I}{2} + \frac{R_I}{4R_{II}}}{1 - \frac{\bar{R}_I}{2} - \frac{R_I}{4R_{II}}} \varphi(a) \tag{31}$$

$h(1)$ gesubstitueerd in vergelijking (30) geeft:

$$h(1) = h(a) \left(1 + \frac{R_I}{4R_{II}} + \frac{\bar{R}_I}{2}\right) - \frac{R_I}{1 - \frac{R_I}{4R_{II}} - \frac{\bar{R}_I}{2}} \varphi(a) \tag{32}$$

Kortheidshalve ook hier enige rotaties ingevoerd:

$$L = \frac{1 + \frac{R_I}{4R_{II}} + \frac{\bar{R}_I}{2}}{1 - \frac{R_I}{4R_{II}} - \frac{\bar{R}_I}{2}}$$

$$O = \frac{1 - \frac{\bar{R}_I}{2} + \frac{R_I}{4R_{II}}}{1 - \frac{\bar{R}_I}{2} - \frac{R_I}{4R_{II}}}$$

$$M = \frac{-R_I}{1 - \frac{R_I}{4R_{II}} - \frac{\bar{R}_I}{2}}$$

$$N = \frac{1}{R_{II} \left(1 - \frac{R_I}{4R_{II}} - \frac{\bar{R}_I}{2} \right)}$$

Er ontstaan dus de volgende vergelijkingen, waardoor de waterbeweging in de verschillende secties bepaald wordt:

$$h(1) = L h(a) + M \varphi(a) \quad (33)$$

$$\varphi(1) = N h(a) + O \varphi(a). \quad (34)$$

c Vierpoolvergelijkingen in secties zonder bovenafvoer

Alle formules zijn afgeleid met inachtname van een bovenafvoer φ_0 . Er komen ook ook secties voor waar geen constante afvoer aanwezig is. De formules worden dan wat eenvoudiger \bar{R} en \bar{m} worden nul, dit houdt in dat \bar{R}_I ook nul wordt.

De vakcoëfficiënten hebben dan de volgende gedaante

$$L = O = \frac{1 + \frac{R_I}{4R_{II}}}{1 - \frac{R_I}{4R_{II}}} \quad N = \frac{-1}{R_{II} \left(1 - \frac{R_I}{4R_{II}} \right)}$$

$$M = \frac{-R_I}{1 - \frac{R_I}{4R_{II}}}$$

II-4 Wind

De invloed, die een over het water strijken de wind op het wateroppervlak uitoefent is reeds uitgebreid bestudeerd.

in het verslag van de Staatscommissie hooftz. Datgene wat voor deze berekening van belang is zullen we wat nader toelichten.

Door de langs het water uitgroefende wrijvingskracht zal zich over het Amelander wad een even wichts verhang instellen, dat afhankelijk is van verschillende factoren. Dit verhang (i) heeft een horizontale kracht tot gevolg in de richting waar de waterspiegel het laagst is. Deze kracht is per massa eenheid $i \rho g$. De wind oefent een kracht uit in de windrichting, die per oppervlakte eenheid F is. Verdelen we deze kracht gelijkmatig over de hele diepte (d) van het water, dan is de kracht per massa eenheid $F:d$.

Deze twee krachten moeten in evenwicht zijn dus:

$$i \rho g = F:d.$$

Over de kracht F het volgende:

De wrijving tussen stromend water en de bodem wordt gesteld evenredig te zijn met het kwadraat van de stroomsnelheid. Het is aannemelijk om te verwachten dat de kracht F , die de wind op het water uitoefent ook evenredig is met het kwadraat van de relatieve snelheid van de langs elkaar strijkende media.

$$c = \frac{c}{\rho g} \frac{v^2}{d}$$

Uit vele waarnemingen is gebleken dat de constante $c/\rho g$ gesteld kan worden op $36 \cdot 10^{-6}$.

Hierbij gelden wel enige beperkingen.

a) Bij kleinere windmetheden zal de kracht F kleiner zijn dan uit dit verband volgt. De traagheid van de watermassa gaat dan een belangrijke rol spelen.

b) Bij grote golven neemt de windkracht enigszins toe.

door het ruwe wordend oppervlak. Anderzijds zullen door hogere golven de golfstoppen de golfdaalen beschermen. Zo blijkt dat bij hoge windmolheden de kracht F minder sterk toeneemt dan de winddruk doet verwachten.

De formule $i = 0.36 \cdot 10^{-8} v^2$: d geldt uitsluitend voor de opwaaiing in de windrichting, of bij beschouwing van een geulensysteem, zilver volgen de geulas. Is de hoek tussen windrichting en geulas α , dan moet een factor $\cos \alpha$ worden toegevoegd. Het uiteindelijke verband wordt.

$$i = 36 \cdot 10^{-8} v^2 / d \cos \alpha. \quad (35)$$

Een complicatie doet zich nog voor, omdat er rakkhen voorkomen waar er naast elkaar stromende rakkhen zijn. De diepten in deze geulen is niet overal even groot.

Om dit tot een oplossing te brengen moet gesteld worden dat de waterspiegel zich zo moet instellen dat die in iedere dwarsdoorsnede even hoog is. Het longitudinale verhang zal in beiden geulen totaal hetzelfde zijn. Het water zal daartoe een rondlopende beweging maken.

Werkt men dit verder uit en noemt men de breedte en lengte van het ene rak resp. b_1 en d_1 , en van het tweede b_2 en d_2 dan wordt de vervangende winddiepte.

$$d_w = \frac{b_1^2 d_1^3 + b_2^2 d_2^3}{b_1^2 d_1^2 + b_2^2 d_2^2} \quad (36)$$

Genien de onregheden in v , α en c zullen eventuele correctie termen achterwege blijven, zoals b.v. de coëfficiënt voor het aambrenge van een windkracht per massa eenheid.

Ook de invloed op de constante term door de veranderlijke diepte wordt verwaarloosd.

III Litroering van de berekening

III-1 Vakindeling

Het gebied, begrensd door het wantij bij Terschelling, de geprojecteerde dam en het Boordiep, is verdeeld in 12 stroomvoerende vakken en 5 kombergingsvakken. Voor de juiste situatie wordt verwezen naar Bylage 1.

Met betrekking tot het wantij onder Terschelling dient het volgende te worden opgemerkt. Bij een stormvloed met Westelijke tot Noord-Westelijke winden is het onmogelijk, dat het hele Amelanderviad door het Boordiep gevuld wordt. Er zal een bepaalde toetsroming door stuwving uit de Westelijke zeegeaten optreden. De berekende stroommelheden blijken ook in die richting te wijzen.

Er is aangenomen dat het kombergingsgebied van de vakken 1, 2, 3 en 4 voor ongeveer 50% wordt gevuld vanuit het Boordiep. Op Bylage 1 is de grens van dit "wantij" aangegeven.

De begrensde dijken van de secties worden hoog genoeg geacht om de optredende waterstanden te heren. De dijken werken dus niet af een overlaat.

In de secties C, D, F, G en L zijn stroomvoerende zijvakken ingevoerd. De noodzaak hiervan is gebleken uit vergelijkbare berekeningen van de Deltadienst. De stroommelheden in de hoofdgeulen kunnen de toetsroming van het ophomend water niet verwerken.

Het systeem, dat in de berekeningen is gehanteerd is weergegeven op bylage 13 terwijl de vakgegevens te vinden zijn op bylagen 4 t/m 11.

Voor de verdere uitwerking zijn de volgende 31 grootheden gedefinieerd.

$h(M) =$ verticaal getij t. pv. de dam in sectie M.
 $h(H) =$ " " " " " " " " H
 $h(C) =$ " " " knooppunt C
 $h(K) =$ " " " " " " " " K
 $h(L) =$ " " " " " " " " L
 $h(G) =$ " " " " " " " " G

$Q(GI) =$ horizontaal getij vlak G in knooppunt G
 $Q(CI) =$ " " " C " C
 $Q(AI) =$ " " " A " R
 $Q(LI) =$ " " " L " L
 $Q(EA) =$ " " " E " K
 $Q(EI) =$ " " " E " C
 $Q(FA) =$ " " " F " G
 $Q(FI) =$ " " " F " K
 $Q(KA) =$ " " " K " L
 $Q(KI) =$ " " " K " K
 $Q(NA) =$ " " " N " L
 $Q(NI) =$ " " " N " C
 $Q(BA) =$ " " " B " G
 $Q(DA) =$ " " " D " G

Verder de grootheden die uitgedrukt worden in boven-
 genoemde grootheden $Q(HI)$, $Q(MI)$, $Q(DI)$, $Q(BI)$ en
 $h(HI)$, $h(MI)$, $h(DI)$ en $h(BI)$

Daar we ons beperken tot een stormvloedsvijl dam zijn
 $Q(HA)$ en $Q(MA)$ nul. Verder is de randvoorwaarde $h(R)$ be-
 kend.

III-2 Randvoorwaarden

In hoofdstuk III-3 zal blijken, dat er in het alge-

men bij een getijberekening het systeem door twee randvoorwaarden moet worden ingesloten. De ene is vrij eenvoudig door de bouw van de Amelanderdam zullende stromen t.p.v. die dam nul zijn.

De tweede randvoorwaarde, de waterstand als functie van de tijd in het Bormdiep, is heel wat moeilijker. In hoofdstuk I-4 is weergegeven hoe men tot een schatting van deze randvoorwaarde is gekomen.

Men moet nu trachten een sinusoidale te vinden, die bij de optredende stormvloedstand zo goed mogelijk aanpast. Bij de berekeningen gaat het vooral om de hoogwaterstanden, dus de top van de sinusoidale, hoe deze zich voortplant in het getidensysteem.

De periodes in het Bormdiep en Pirkegat zijn gelijk genomen, omdat het in de bedoeling lag deze waterstanden bij een lage dam te laten coördineren.

Uiteindelijk zijn de volgende randvoorwaarden gekozen

$$h = 2.05 + 1.30 \cos(1.407t - 0) \quad (\text{Bormdiep})$$

$$h = 2.05 + 1.50 \cos(1.407t + 12^\circ) \quad (\text{Pirkegat}).$$

De middenstand van het Pirkegat is te laag, maar omwille van de stijlheid van de kromme moest een grotere amplitude worden genomen.

III-3 De loop van de berekeningen

Voor het berekenen van de voortplantingscoëfficiënten L, M, N en O moeten verschillende variabelen geschat worden.

Voor het schatten van de stroomamplituden is allereerst een kombergingsberekening uitgevoerd. De amplituden van het horizontaal getij en het middenstandsverhang zijn

zonder meer aangenomen. Na de eerste globale doorrekening kan men de geschatte veranderlijken vergelijken met de uit de berekeningen gevolgde waarden. Men past de iteratiemethode toe; voor de volgende omloop van de berekening worden de geschatte en berekende waarden gemiddeld. De berekening is eerst dan voltooid als de berekende waarde met de geschatte waarde overeenkomen.

Na het aaneenschakelen van de secties A aan B en C aan D en G aan H en I aan L zijn er nog 20 onbekenden (zie III-1) ^{van} In de acht secties die de knooppunten en de randen verbinden kunnen we de vierpoolvergelijkingen opschrijven. Dit geeft in totaal 16 vergelijkingen, welke we terugvonden op formules E (bylage 19)

Op hetzelfde formules zijn deze vergelijkingen zodanig bewerkt dat de stroomamplituden zijn uitgedrukt in de amplituden van het verticaal getij $h(R)$, $h(C)$, $h(K)$, $h(L)$ en $h(G)$.

De overblijvende vier vergelijkingen worden verkregen uit de continuïteitsvoorwaarden in de knooppunten:

Knooppunt K.

$$Q(EA) = Q(FI) + Q(KI) \quad (37)$$

Knooppunt G:

$$Q(GI) = Q(DA) + Q(FA) \quad (38)$$

Knooppunt C.

$$Q(BA) = Q(CI) + Q(EI) + Q(NI) + Q_B(3+4) \quad (39)$$

Knooppunt L.

$$Q(KA) + Q(NA) = Q(LI) + Q_B(5) \quad (40)$$

In principe is het vraagstuk opgelost: 20 vergelijkingen met 20 onbekenden.

Op formules E en F is dit verder uitgewerkt.

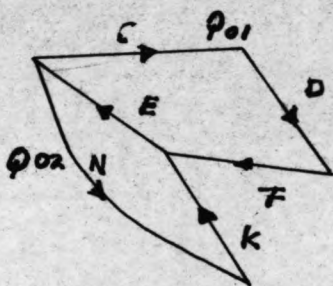
Aldus is het getide verticaal en horizontaal getij bekend.

Vervolgens kan het geschatte middenstandsverhang worden gecontroleerd (Formulier G).

In de vakken C, D, E en F en K komen permanenties voor, die niet het gevolg zijn van een constante afvoer, maar ^{die} moeten worden ingevoerd om in de knooppunten tot het middenstandsverhang te komen. Het middenstandsverhang heeft in deze vakken de volgende gedaante.

$$\Delta h_m = A + B Q_0 + C Q_0^2.$$

De constanten A, B en C zijn op formulier G bepaald en worden in III-4c nog nader besproken.



Benut het overeenstaand schema, waarin de getekende stroomrichtingen van de permanenties (Q_{01} en Q_{02}) zijn aangenomen.

Er gelden twee vergelijkingen. De eerste rondgang over de secties C, D, F en E geeft:

$$\Delta h_m(C) - \Delta h_m(D) - \Delta h_m(F) - \Delta h_m(E) = 0. \quad (41)$$

De rondgang via de secties N, K en E geeft:

$$\Delta h_m(N) - \Delta h_m(K) - \Delta h_m(E) = 0. \quad (42)$$

Dit zijn twee vergelijkingen met twee onbekenden (Q_{01} en Q_{02}), welke opgelost kunnen worden, zoals is uitgewerkt op formulier H.

Hiermede zijn alle variabelen bepaald en is het een kwestie van iteratie om tot de juiste waarden te komen.

III-4 Bespreking van de Formules.

Om de berekeningen praktisch uitvoerbaar te maken is het cijfermateriaal tabellairisch verwerkt in formulieren

Terwille van het inzicht in deze rekenwijze worden de afleidingen van de formules nog eens nagegaan, waarbij nu echter gebruik wordt gemaakt van de getalsymbolen, zolang die op de formulieren voorkomen.

III-4.a Bepaling van de vakcoëfficiënten.

Hiervoor zijn op formulier A, de voor ieder vak kenmerkende gegevens verwerkt voor een sectie waar een constante stroomaanwezig is. Op formulier B komen de secties voor zonder constante afvoer.

In hoofdstuk II-3b werden de volgende differentiaalvergelijkingen gevonden.

$$\frac{\partial h}{\partial z} = -(k + j\omega m) \varphi + (\bar{k} + j\omega \bar{m}) h \text{ en.}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -j\omega b_0 h.$$

Allereerst bespreken we formulier B, waar de coëfficiënten \bar{k} en \bar{m} vervallen. De vergelijkingen geïntegreerd en de gemiddelde sectie waarde ingevoerd levert

$$h(l) = h(a) - (k + j\omega m) l \frac{\varphi(a) + \varphi(l)}{2}$$

$$\varphi(l) = \varphi(a) - j\omega b_0 l \frac{h(a) + h(l)}{2}$$

Op regel 20 en 21 van formulier B vinden we de berekening van $(k + j\omega m) l = R I$ en $(j\omega b_0) l = \frac{L}{R I}$.

Op regel 17 en 18 zijn eerst. $R I$.

$K = (k l)$ en $M = m l$ uitgerekend.

$$h(l) = h(a) - (20) \left[\frac{\varphi(a) + \varphi(l)}{2} \right]$$

$$\varphi(l) = \varphi(a) - (21) \left[\frac{h(a) + h(l)}{2} \right]$$

Na substitutie en eliminatie volgt:

$$h(1) = \frac{1 + \frac{1}{4}(20)(21)}{1 - \frac{1}{4}(20)(21)} \quad h(a) - \frac{(20)}{1 - \frac{1}{4}(20)(21)} \quad \varphi(a)$$

$$\varphi(1) = \frac{-(21)}{1 - \frac{1}{4}(20)(21)} \quad h(a) + \frac{1 + \frac{1}{4}(20)(21)}{1 - \frac{1}{4}(20)(21)} \quad \varphi(a)$$

Op het formules vinden we.

regel 22: $1 + \frac{1}{4}(20)(21)$

regel 24: $\frac{1}{1 - \frac{1}{4}(20)(21)}$

De vierpoolvergelijkingen worden dan:

$$h(1) = (22)(24) \quad h(a) - (20)(24) \quad \varphi(a)$$

$$\varphi(1) = -(21)(24) \quad h(a) - (22)(24) \quad \varphi(a)$$

In de kolommen 25, 26, 27 en 28 komen de ne producten voor als resp. L, K, M en N.

Een controle op het uitgewerde rekenwerk is aanwezig aangezien de determinant $LO - MN = 1$.

De controle is onder (29) uitgewerd.

Formulier A is een soortgelijke berekening, alleen wat ingewikkelder door de permanenties die aanwezig zijn. Na toepassing van de middelwaarde stelling geldt het verband:

$$h(1) = h(a) - (k + j\omega m) \frac{[\varphi(a) + \varphi(1)]}{2} + (k + j\omega \bar{m}) \frac{[h(a) + h(1)]}{2}$$

$$\varphi(1) = \varphi(a) - j\omega b_0 \frac{[h(a) + h(1)]}{2}$$

Op de regels 29, 30 en 31 zijn de impedanties berekend.

$$R_I = \mathcal{L}(k + j\omega m) = (29)$$

$$\bar{R}_I = \mathcal{L}(k + j\omega \bar{m}) = (30)$$

$$1/R_{II} = \mathcal{L} j\omega b_0 = (31)$$

$$R_{II} = 1/(31) = (32)$$

Deze waarden in de vergelijkingen gestopt:

$$h(1) = h(a) \frac{4(32) + (29) + 2(30)(32)}{4(32) - (29) - 2(30)(32)} - \frac{4(29)(32)}{4(32) - (29) - 2(30)(32)} \varphi(a)$$

$$\varphi(1) = h(a) \frac{-4}{4(32) - (29) - 2(30)(32)} + \frac{4(32) + (29) - 2(30)(32)}{4(32) - (29) - 2(30)(32)} \varphi(a)$$

De waarden van de tellers en noemers der breuken vinden we terug op het formulier.

regel 40: $\frac{1}{4(32) - (29) - 2(30)(32)}$

regel 35: $4(32) + (29) + 2(30)(32)$

regel 39: $4(29)(32)$

regel 37: $4(32) + (29) - 2(30)(32)$

Tenslotte het resultaat van de verpooalvergelijking

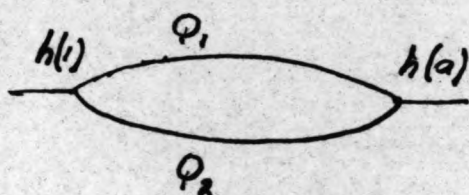
$$h(1) = (35)(40) h(a) - (39)(40) \varphi(a)$$

$$\varphi(1) = -4(40) h(a) + (37)(40) \varphi(a)$$

Ook hier is een eindcontrole uitgevoerd (regel 40).

Op sommige secties komen naast de stromende hoofdgeulen nog stromende zijvalken voor. Op formulier D zijn de vervangingswaarden van bepaalde valgegevens voor hoofd en zijgeul samen uitgerekend.

a. de weerstands term.



voor tak 1 geldt:

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = + W_1 \varphi_1^2$$

voor tak 2.

$$\frac{\partial^2 h_2}{\partial x} = + W_2 \varphi_2^2$$

$$\text{Daarin } W = \frac{\Delta x}{c^2 A^2 a_x}$$

Voor de verangende geul moet gelden

$$\frac{\partial h_u}{\partial x} = W_u \varphi_u^2$$

$$Q_v = Q_1 + Q_2.$$

$$\sqrt{\frac{\partial h_v}{\partial x}} = \sqrt{\frac{\partial h_1}{\partial x}} + \sqrt{\frac{\partial h_2}{\partial x}}$$

Het verhang over de verschillende secties moet gelijk zijn

$$\frac{\partial h_v}{\partial x} = \frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{\partial h_2}{\partial x} \rightarrow$$

$$\sqrt{1/w_v^2} = \sqrt{1/w_1^2} + \sqrt{1/w_2^2}.$$

Liet dit verband kan de vervangende weerstand worden gevonden.

b) Massaterm.

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = M_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} \quad M = \frac{\Delta X}{gA}$$

$$\frac{\partial h_2}{\partial x} = M_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t}$$

$$\frac{\partial h_v}{\partial x} = M_v \frac{\partial \varphi_v}{\partial t} \quad \frac{\partial \varphi_v}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + \frac{\partial \varphi_2}{\partial t}$$

Liet deze afhankelijkheden volgt:

$$1/M_1 + 1/M_2 = 1/M_v.$$

Note: Het komt er in concreto op neer dat men de stroomvoerende oppervlakten mag optellen.

c) diepte

$$Q_1 = b_1 a_{m1}$$

$$Q_2 = b_2 a_{m2}$$

$$Q_v = (b_1 + b_2) a_{mv}$$

$$Q_v = Q_1 + Q_2 = b_1 a_{m1} + b_2 a_{m2} = A_{m1} + A_{m2}$$

$$a_{mv} = \frac{A_{m1} + A_{m2}}{b_1 + b_2}$$

De gevonden vakgegevens op formules D kunnen naar de formules A en B getransporteerd worden.

III-4 b Aansluitingen van de vakken

Zijn eenmaal de coëfficiënten L, M, N en O van ieder vak bekend dan kan een aanvang worden gemaakt met het aansluiten der vakken. Wordt nu b.v. vak A geschakeld aan vak B dan is de werkwijze als volgt:

Voor vak A gelden de vierpoolvergelijkingen:

$$h(1)_A = L_A \cdot h(a)_A + M_A \cdot \varphi(a)_A$$

$$\varphi(1)_A = N_A \cdot h(a)_A + O_A \cdot \varphi(a)_A$$

Aan het eind van vak B geldt:

$$h(1)_B = L_B \cdot h(a)_B + M_B \cdot \varphi(a)_B$$

$$\varphi(1)_B = N_B \cdot h(a)_B + O_B \cdot \varphi(a)_B$$

In deze vierpoolvergelijkingen moet gelden:

$$h(1)_A = h(a)_B \text{ en}$$

$$\varphi(1)_A = \varphi(a)_B$$

Substitueer nu we de eerste twee vergelijkingen voor van A in die voor vak B, dan ontstaat een verband waarin $h(1)_B$ en $\varphi(1)_B$ gegeven zijn in $h(a)_A$ en $\varphi(a)_A$.

$$h(1)_B = L_B [L_A \cdot h(a)_A + M_A \cdot \varphi(a)_A] + M_B [N_A \cdot h(a)_A + O_A \cdot \varphi(a)_A]$$

$$\varphi(1)_B = N_B [L_A \cdot h(a)_A + M_A \cdot \varphi(a)_A] + O_B [N_A \cdot h(a)_A + O_A \cdot \varphi(a)_A]$$

Als bijzonder geval deed zich in een van de schakelingen het invoeren van een hombergiging voor.

Bekem we de hombergingsvergelijking:

$$\int_0^l \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx = -j \omega b_0 \int_0^l h dx$$

Gintengruud geeft dit:

$$\varphi_B = -j \omega b_0 l h$$

Hierin is h de waterdiepte op de sectie g uno, er wordt aan-

genomen dat de waterpiegel horizontaal is over het gehele kombergingsvlak. Er is in de komberging alleen een verticaal getij.

De gronden $Q(B)$ kan bij de stroomamplituden van de toevoerende secties in het knooppunt worden opgeteld.

III-4c. Middenstandsverhang

Het middenstandsverhang is tabelmatig berekend op de formules G en H.

Formules G valt in verschillende delen uiteen. Allereerst is berekend de middenstandverhoging ten gevolge van de windkrachten.

Op regel 2 van het formulier vindt men de gebruikte formule, die is afgeleid in hoofdstuk II-4:

$$i = 36 \cdot 10^{-6} \frac{v^2}{d_w} \cos w$$

De winddiepte is berekend volgens de formule (36). Vervolgens het middenstandsverhang ten gevolge van het harmonisch getij.

In hoofdstuk II-2 komt de volgende formule voor.

$$\frac{\partial h}{\partial m} = \frac{\bar{Q}_i^2}{(C^2 A^2 a_i) m} \left[m_0 n_0 - \frac{n_i m_i}{2} \cos(k_i - \varphi_i) \right]$$

Waarin m_0 en m_i functies zijn van de verhouding tussen Q_0 en Q_i . (K). In hoofdstuk III-3 is toegelicht dat er door bepaalde secties een rondlopende constante afvoer voorkomt. De stromen zijn in de betreffende secties als onbekenden ingevoerd door k als veranderlijke mede te nemen.

Hierdoor valt het middenstandsverhang in drie delen uiteen, wat we op het formulier terugvinden.

regel 24: de constante term (onafhankelijk van λ).
wind + $\left[0,04405 \frac{n_1}{2}, \cos(k-\varphi) \frac{\bar{\Phi}_2 l}{(C^2 A^2 a_2)_m} \right]$

regel 25: de lineaire termen:

$$\left[1,29156 n_0 \frac{\bar{\Phi}^2 l}{(C^2 A^2 a_2)_m} \lambda, \frac{l}{\bar{\Phi}} \right] \Phi_0$$

regel 26: de kwadratische termen:

$$\left[1,4 \lambda^2 \frac{n_1}{2}, \cos(k-\varphi) \frac{\bar{\Phi}_1^2 l}{(C^2 A^2 a_2)_m} \frac{l}{\bar{\Phi}^2} \right] \Phi_0^2.$$

De hogere machten worden verwaarloosd.

Het spreekt voor zich dat in de secties waar een constante stroom aanwezig is, de regels 25 en 26 vervallen.

Als eenmaal de Φ_0 is gevonden (Bylage 22) dan kan dan de exacte waarde van het middenstandsverval t.g.v. de constante afvoer bepaald worden, zoals op de regels 27, 28 en 29 van het formulier is uitgewerkt.

Tenslotte vinden we op regel 30 de sommaties van het totale middenstandsverval over de verschillende raketten.

IV Berekeningswijze bij een verlaagde dam

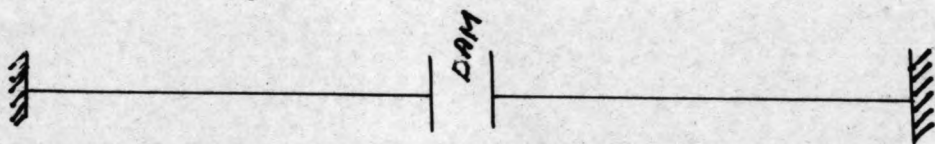
IV-1 Algemene opzet.

Voor de berekening van de waterstanden bij een verlaagde dam moeten de twee geulen stelsels, links en rechts van de dam, doorgekeurd worden.

Wanneer men deze twee stelsels afzonderlijk doornemens zal men over het algemeen twee verschillende waterspiegels boven de dam vinden, waardoor het water over de dam gaat stromen. Door deze stroming over de dam zullen de stromingen in de twee stelsels elkaar beïnvloeden, door de wortplantingscoëfficiënten te veranderen.

De stroming over de dam zal alleen maar plaats vinden, als de waterstand in een van de geulen nabij de dam boven een bepaald niveau stijgt. Er ontstaat een sterk discontinu stromingsbeeld.

Door alle secties aan een te schakelen, is het totale geulenstelsel links en rechts van de dam te schematiseren tot onderstaand systeem.



$h(a)$ $h(b)$ $h(c)$ $h(d)$
 $Q(a)$ $Q(b)$ $Q(c)$ $Q(d)$

Hierin zijn zes onbekenden, de waterstanden $h(a)$ en $h(d)$ zijn immers als randvoorwaarden gegeven.

Voor de twee takken gelden de vierpoolvergelijkingen welke vier betrekkingen geven. Een vijfde vergelijking volgt uit het verband. $Q(b) = Q(c)$

Er moet nog een vergelijking worden gevonden, hieraan

zo kunnen voldoen een betrekking tussen $h(b)$ en $h(c)$
Hiermede is het vraagstuk in principe opgelost.

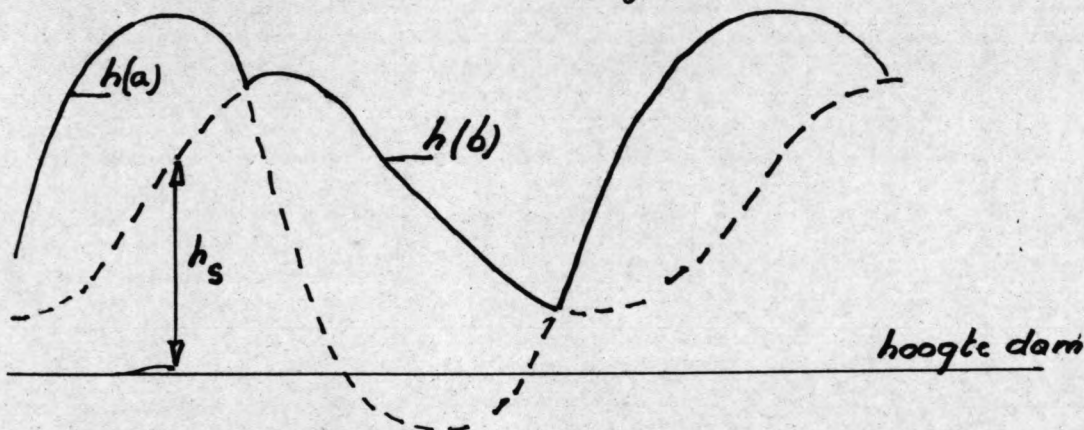
IV-2. Het verval boven de dam

Verondersteld wordt dat de volgende betrekking
geldt. $h(b) = h(c) \mp \frac{v^2}{2g}$ Bernouilli

Hierbij is $h(b)$ de waterstand links en $h(c)$ de
waterstand rechts van de dam.

Nu is $Q(b) = A_s \cdot v$. $v = \frac{Q(b)}{A_s}$

Waarin A_s het stroomroend profiel boven de
dam is, ter plaatse van de laagste waterstand (zie fig)



Eensubstitueerd geeft dit
 $h(b) = h(c) \mp \frac{Q(b)^2}{2g A_s^2}$

Boven de dam treedt contractie op. In boven-
staande vergelijking wordt daartoe ingevoerd de contrac-
tiecoëfficiënt u :

$$h(c) = h(b) \mp \frac{Q(b)^2}{2g u^2 A_s^2}$$

Het zal duidelijk zijn dat het lovenske teken voor de elr-

stroom en het onderste voor de vloedstroom geldt.

Opmerking.

De contractiecoëfficiënt is van moment tot moment verschillend. Deze coëfficiënt is namelijk afhankelijk van zowel de waterhoogte boven de dam als de richting van de stroom.

Bij het hanteren van de vergelijking, die het verband tussen de waterstanden links en rechts van de dam aangeeft, dient men zich rekenschap te geven van de stromings-toestand boven de dam. Er kunnen zich twee gevallen voordoen.

a. Gedurende het gehele getij stromend water.
(subcritische stroming).

b. Gedurende het getij afwisselend stromend en schietend water (critische stroming)

Het criterium voor de kritische stroming is dat de snelheid boven de dam, ter plaatse van de laagste waterstand overeenkomt met de golfsnelheid $\sqrt{g a_s}$.

a_s is de kleinste diepte boven de drempel.

Gedurende de kritische stromingsstoestand zal de laagste waterstand bij verdere daling geen invloed meer kunnen uitoefenen op de hoogste waterstand. Dat wil zeggen de dam werkt als een volkomen overlaat.

IV-3 De uitroering van de berekening

uitgaande van de twee gevonden krommen links en rechts van de dam, kan de stroming over de dam geschat worden. Dit kan geschieden met de vergelijking

$$h(c) = h(d) \pm \frac{Q(b)^2}{2g u^2 A_s^2} \quad \text{omgewerkt in.}$$

$$Qb = \pm A_3 u \sqrt{2g(h_c - h_b)}$$

Te beginnen met het tijdstip van de hentering (t_0) kan voor ieder moment het verloop van de stroom over de dam berekend worden. Gevonden wordt dan een kromme, welke in de meeste gevallen geen sinusoïde zal zijn en ook het tijdsinterval tussen twee henteringen zal niet overeenkomen met de periode van het M_2 , M_4 of een ander optij.

Volgens de analyse van Fourier is zo'n kromme echter te splitsen in een constante en willekeurig gekozen harmonische termen. Dit mag zonder meer gedaan worden omdat de afzonderlijke termen geheel onafhankelijk van elkaar zijn.

Dit splitsen zal grote moeilijkheden geven, omdat onze schematisatie te grof voor het aanpassen van de kromme is. De gevonden constante afvoer en de sinusoïde maken een nieuwe omganging in de berekening noodzakelijk, omdat ze de wortplantingscoëfficiënten van de raketten beïnvloeden.

De berekening is eerst dan voltooid als de bij de berekening van de raketcoëfficiënten ingevoerde Q waarden overeenkomen met de uit de eerder genoemde formule berekende waarde.

Belangrijk is nog te weten het tijdstip wanneer een kritische stromingstoestand ontstaat. Men dient er zich steeds van te overtuigen dat de melheid, berekend uit $V_s = Q / A_3$ niet groter is als de golfmelheid, volgens uit $V_g = \sqrt{gA_3}$. Op dat moment werkt de drempel als een volkomen overlaat, zodat de stroming onafhankelijk van de laagste waterstand is geworden.

Dam geldt:

$$h(c) = \frac{2}{3} a_s$$

$$Q = \frac{2}{3} u A_s \sqrt{\frac{2}{3} g} a_s$$

De afvoer over de dam heeft dan zijn maximale waarde bereikt.

V - 1 Uitkomsten van berekening.

Het resultaat van de berekening is samengevat op
lijlage (23) en grafisch weergegeven op lijlage (24). Hieruit
blijkt dat de hoogste waterstand te Holwerd $3,79 + N.A.P.$
die te Nes $3,52 + N.A.P.$

Gemeten werd in 1954 respectievelijk $3,70 m$ en $3,52 m$.
De invloed van de dam zou zich maar over één tiental
kilometers uitstrekken.

Wanneer de stroommelheden in de rakkens worden
bekeken, valt alleen sectie B op waar de stroommelheid
 $1,50 m$ per seconde blijkt. De grote waarde is het gevolg van
het invoeren van de homburgingsrakkens 3+4 ter plaatse
van knooppunt C. Bij de schematisatie is hier melover-
leen gestapt, omdat deze invoering de waterstanden nabij
de dam nauwelijks kan beïnvloeden. Worden de hombur-
gingsrakkens 3+4 in knooppunt B ingevoerd dan is
de stroommelheid gereduceerd tot $1,20 m$ per seconde. Dit
zal waarschijnlijk dicht bij de oprijdende wet toestand
zijn. Verwacht moet worden dat de stroommelheden
in het Boudiep met 5 à 10% zullen toenemen. Er zal
dus een verhoogde aanval plaatsvinden van de Z.W.
Punt van Ameland.

Bij de berekening van het middenstandoverhang ten
gevolge van de opwaaiing is aangenomen, dat het dwars
verhang zich kan instellen in de secties K, L, E, C en F.
Daarna zou het dwarsverhang over het veld geen ver-
anderingen meer kunnen ondergaan, omdat het stroom-
beeld eindimensionaal is aangenomen.

Er zal echter een ander dwarsverhang nabij de
dam ontstaen, doordat wel degelijk dwarsstromen over

de dam kunnen optreden

Een globale berekening geeft dat het doorsnede-
hang langs de dam 4,5 cm per kilometer zal zijn.
Uit de berekening van de secties gescheiden waren volgde
2,6 cm per kilometer.

De waterstanden $h(a)_M$ en $h(a)_H$ dienen ge-
corrigeerd te worden tot 3.92 m = N.A.P. en 3.66 = N.A.P.
(i.p.v. 3.79 en 3.69).

II-2. „Exacte“ methode contra „Harmonische“ methode.

Bij de vergelijking tussen de door Rijkswaterstaat
uitgevoerde exacte methode en de in dit ontwerp gebruikte
harmonische methode zijn de resulterende verhogingen
ten opzichte van de waterstand in het Amelanden gat
niet groot, resp 65 en 54 cm.

De berekende verhoging vanaf het Amelanden gat
met de harmonische methode valt in drie delen uiteen:

1. middenstandsverhoging door wind ± 34 cm.
2. middenstandsverhoging door getij ± 3 cm.
3. Amplitude vergroting van het oort.getij 10 cm.

ad 1.

By de exacte methode is gerekend van uur tot uur
aldus is dan wel rekening gehouden met het effect van
de veranderlijke diepte. Met een globale beschrijving blijft
het al of niet invoeren van de veranderlijke diepte een ver-
schil te geven van 5% maximaal. De andere factoren
die het middenstandsverval bepalen zijn voor beide
methoden gelijk.

ad 2.

Hier zijn enkele termen verwaarloosd (zie blz. 18)

De absolute fout zal echter zeer klein zijn, daar het middenstandsverhang t. g. v. de periodiciteit vrijwel geen invloed heeft. De gemaakte fout is in $\frac{1}{6}$ van de optreden-
de 3 cm nog vrij groot, omdat $(K-U)$ zeer dicht bij 90° ligt.

ad 3.

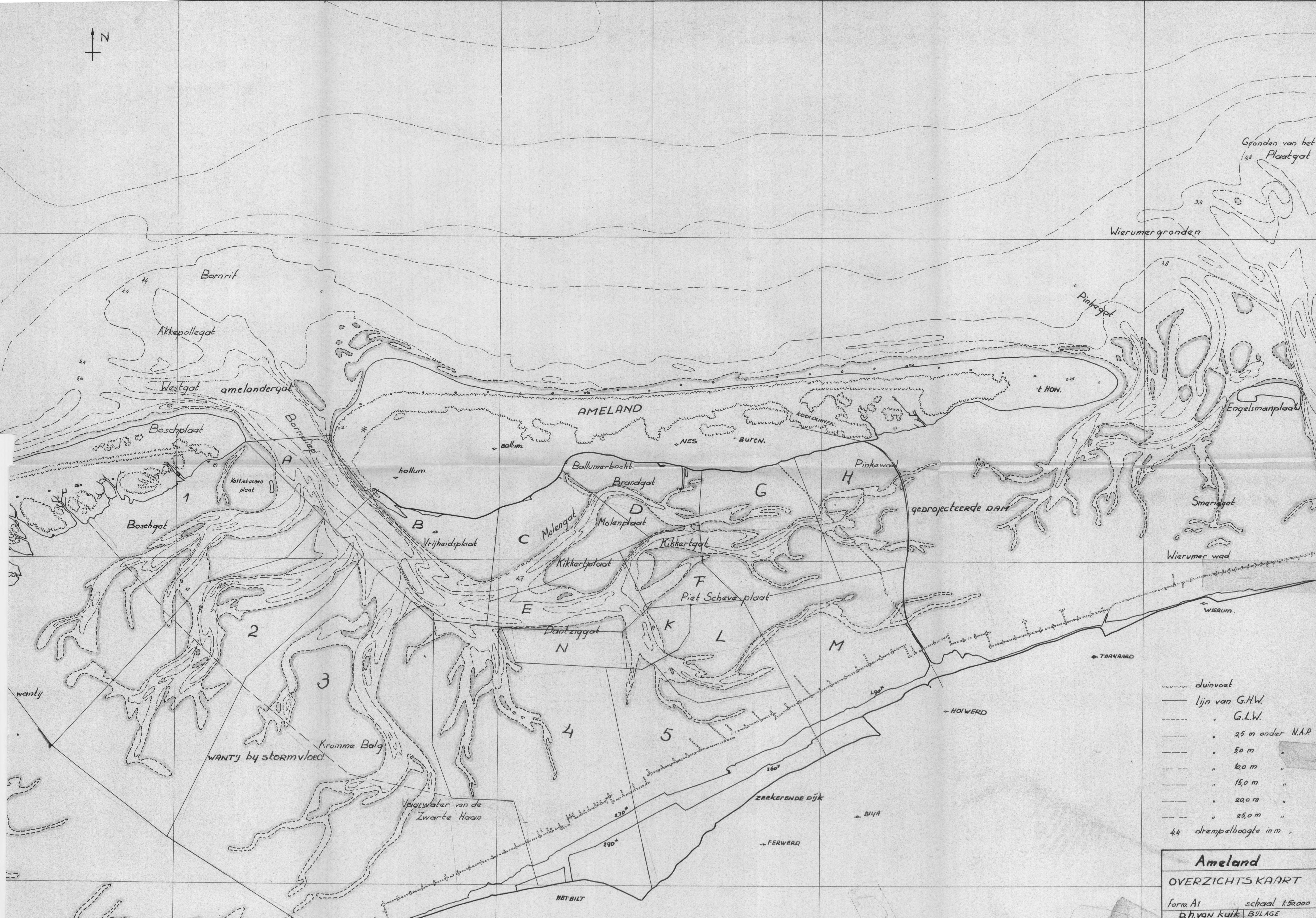
De grote verschillen tussen de twee methoden moeten volgens het voorgaande hier optreden. We hebben gewerkt met een aangepaste stormvloeds-kromme, die vooral nabij de middenstand nogal afweek van de werkelijk opgetreden waterstanden.

In het verloop van de betrekking zijn nog enkele vereenvoudigingen aangebracht; de meest essentiele daarvan is: Alle de zich ontwikkelde boventharmonische zijn bij de voortplanting van het getij weg gelaten, daar we een enkelvoudige sinuscurve hebben beschouwd.

Dat de totale gevonden waterstandsverhoging bij de exacte methode niet zo veel afwijkt van die in de harmonische methode, komt alleen omdat het middenstandsverhang ten gevolge van de wind hier zo overheersend is. Nu blijft ^{dit} middenstandsverval weinig gevoelig voor het verschil in berekeningswijze te zijn. Rechten de overeenkomstige resultaten moet dus een moeten dus wel enkele vraagtekens worden geplaatst.

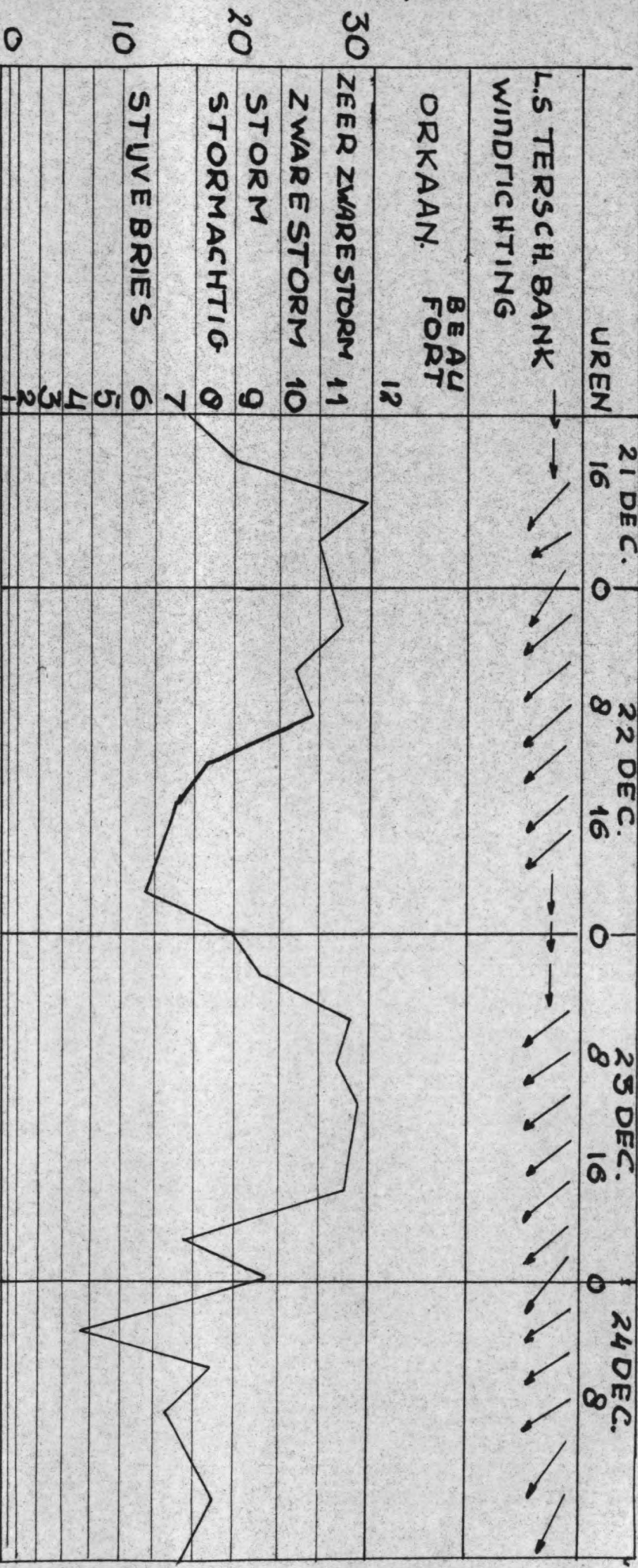
De conclusie is dan ook, dat de hier gebruikte vereenvoudigingen de harmonische methoden geschikt hebben gemaakt.

Lit hoofdstuk II-3 blijft dat bij een berekening waarde tam als overlaat kan werken, de hier toegepaste schematische, waar alleen de grondtoon is beschouwd, nauwelijks toe te passen is.



- duinvoet
- lijn van G.H.W.
- G.L.W.
- " 25 m onder N.A.P.
- " 50 m "
- " 100 m "
- " 150 m "
- " 200 m "
- " 250 m "
- 4.4 drempelhoogte in m

Ameland
OVERZICHTS KAART
 Form. A1 schaal 1:50.000
 p.h. van kuik BULAGE
 3 NR



gebruikt in berekening
constant windveld.
20 m/sec. N.W.

tydstip hoogwater
Amelandergat

5.30

gegevens LICHTSCHIP
TERSCHELLINGER bank.

BULRGE-3

0 2 4 6 8 10 12 14 UREN

m

+350

+300

+250

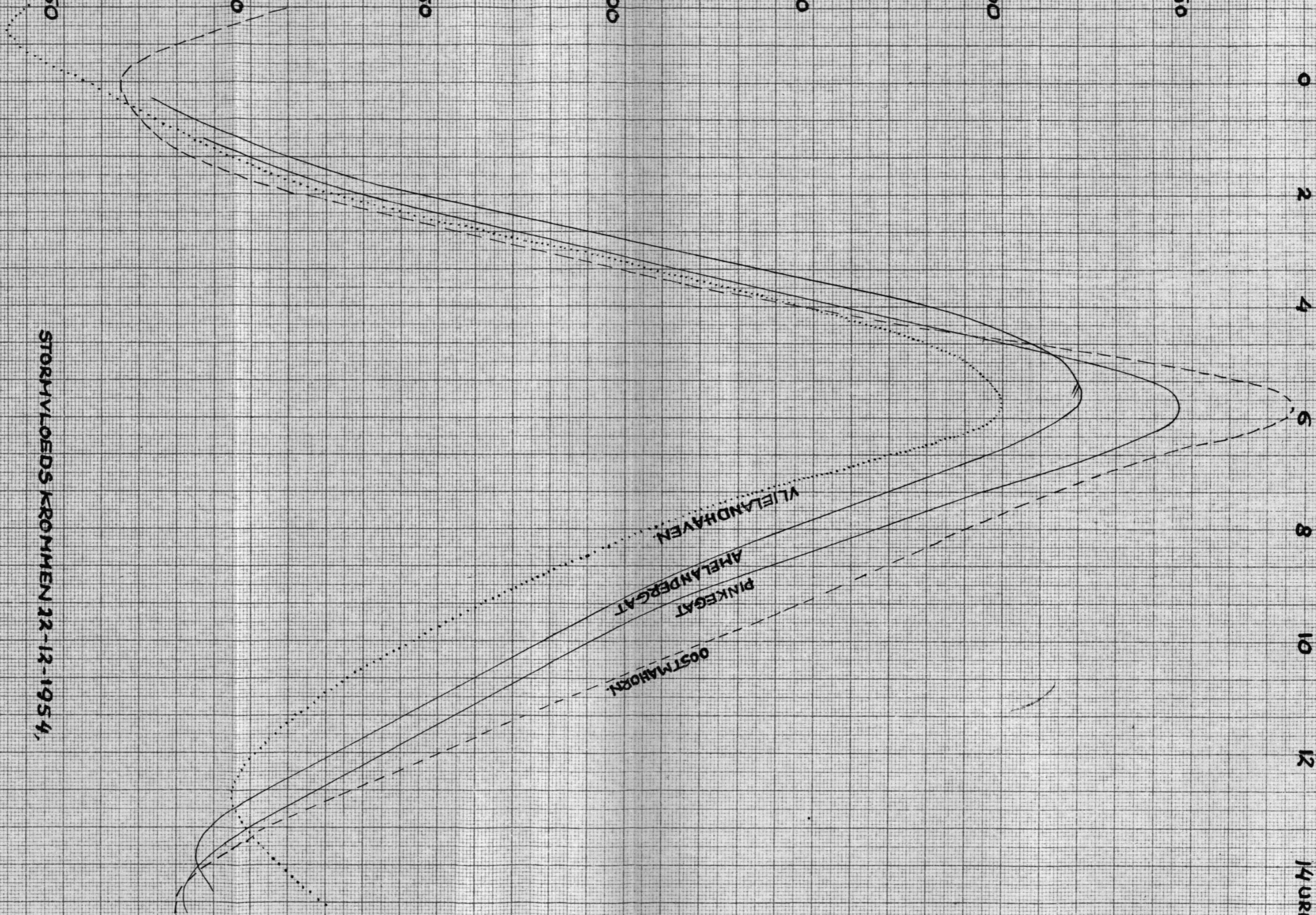
+200

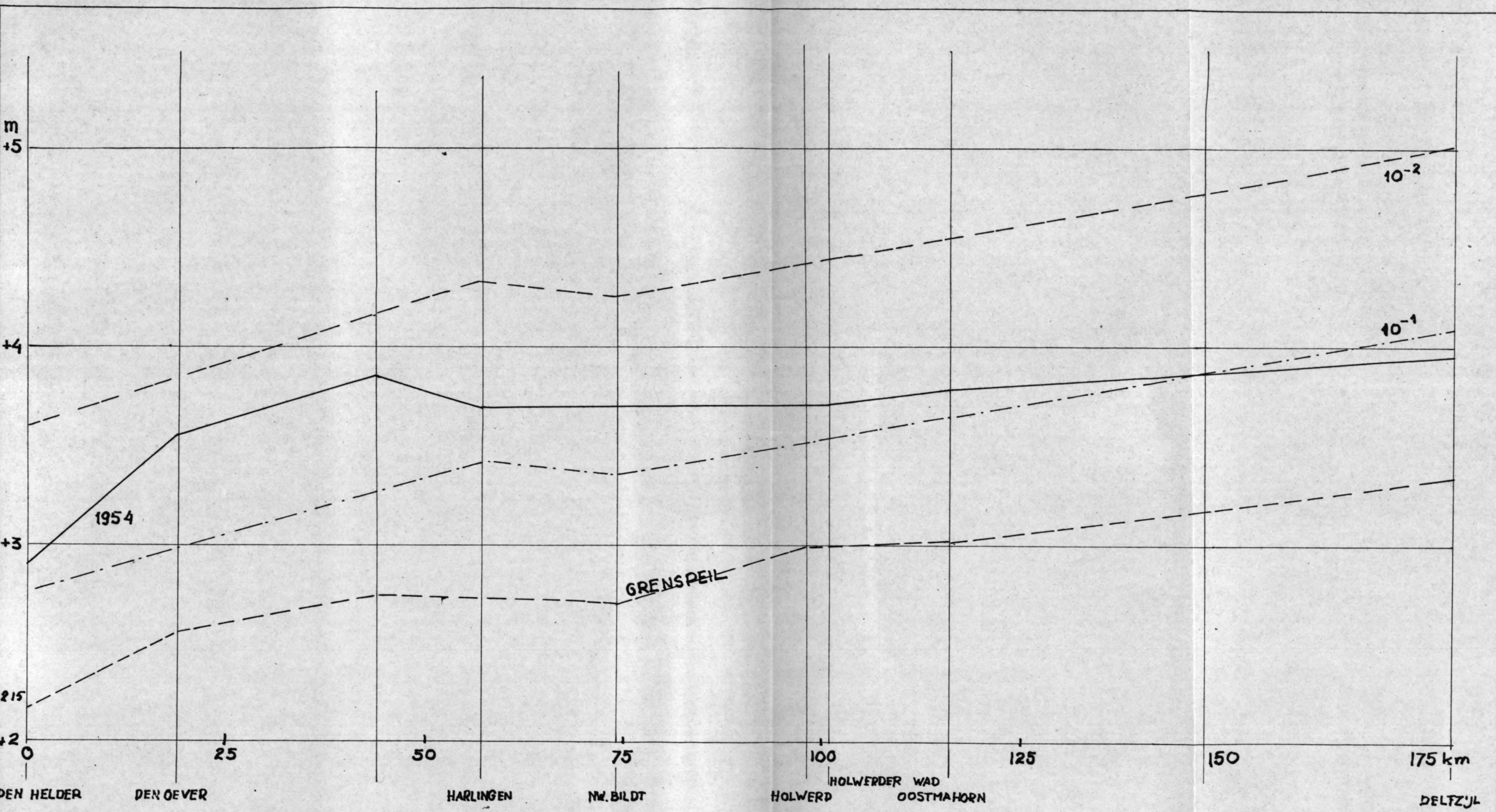
+150

+100

+050

STORHVLOEDS KROMMEN 22-12-1954,





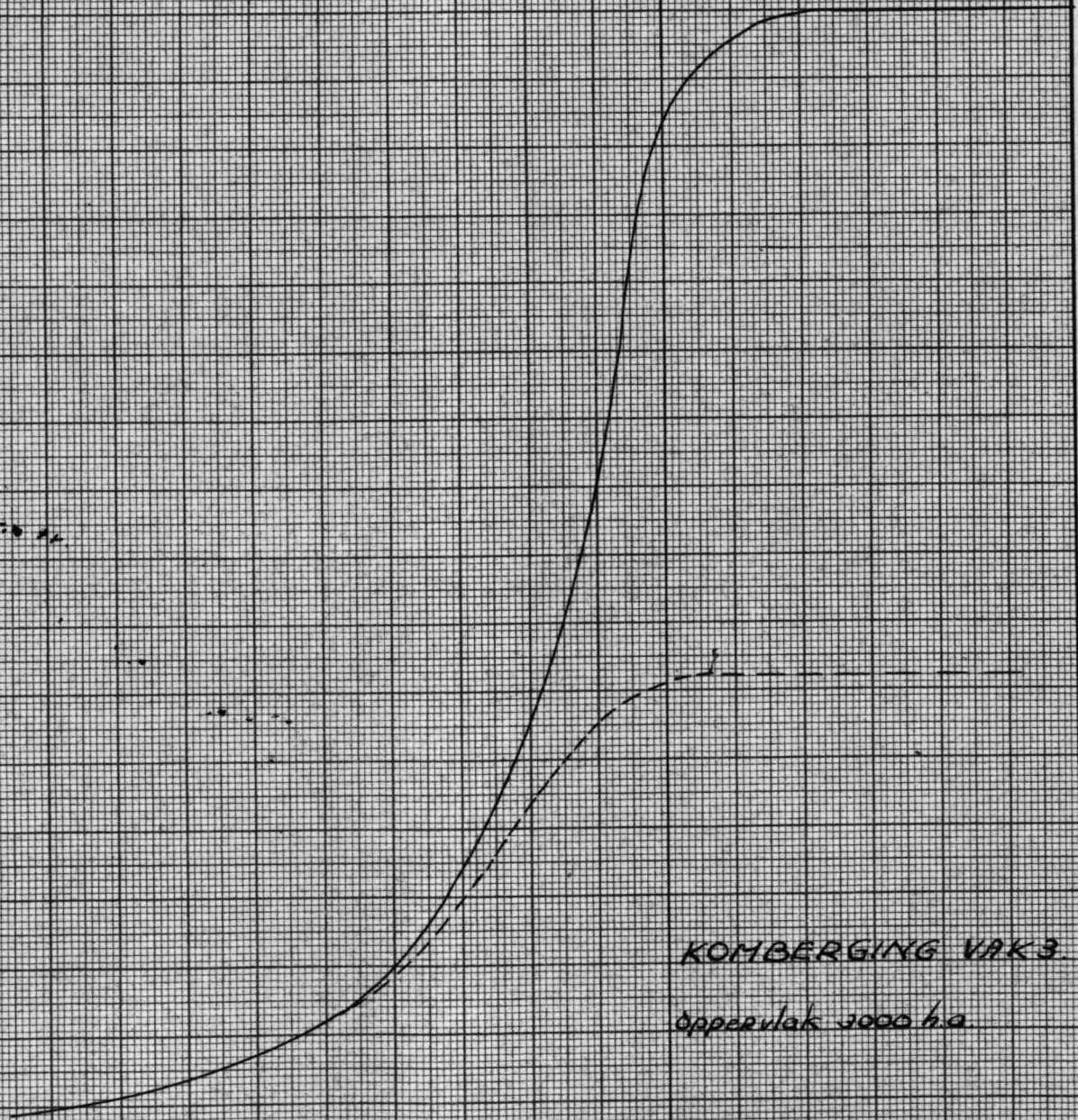
VERLOOP STORMVLOEDSTANDEN LANGS
WADDENKUST BIJ FREQUENTIE 10^{-2} 10^{-1} EN
GRENspeIL

BULAGE 4

7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000

500' 400' 300' 200' 100' RRP 100' 200'

KOMBERGING VAK 3
oppervlak 3000 h.a.



BULAGES

3000 h.a.

25000

2000

KOMBERGING YOK 2.
oppervlak 1400 h.a.

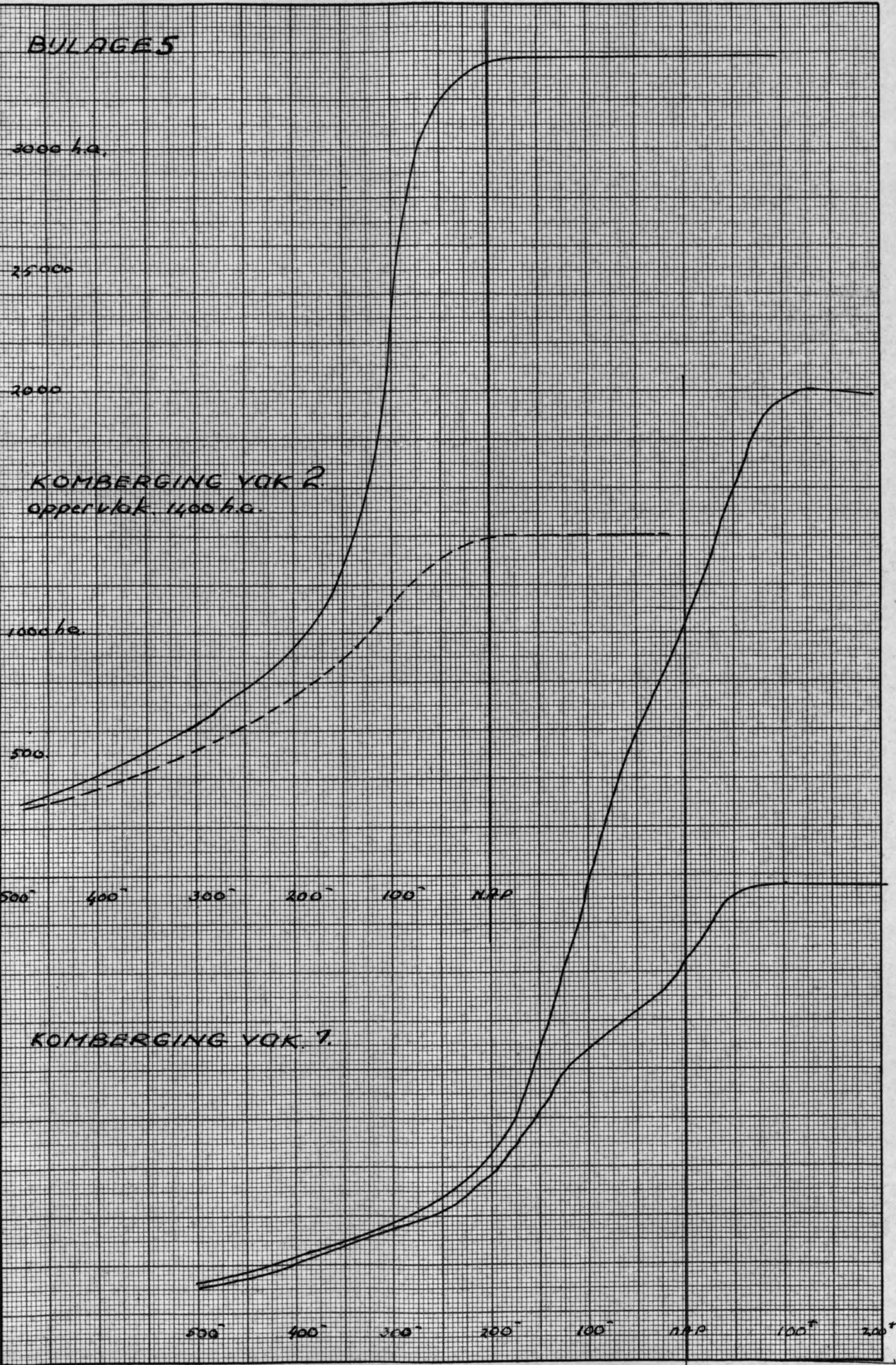
1000 h.a.

500

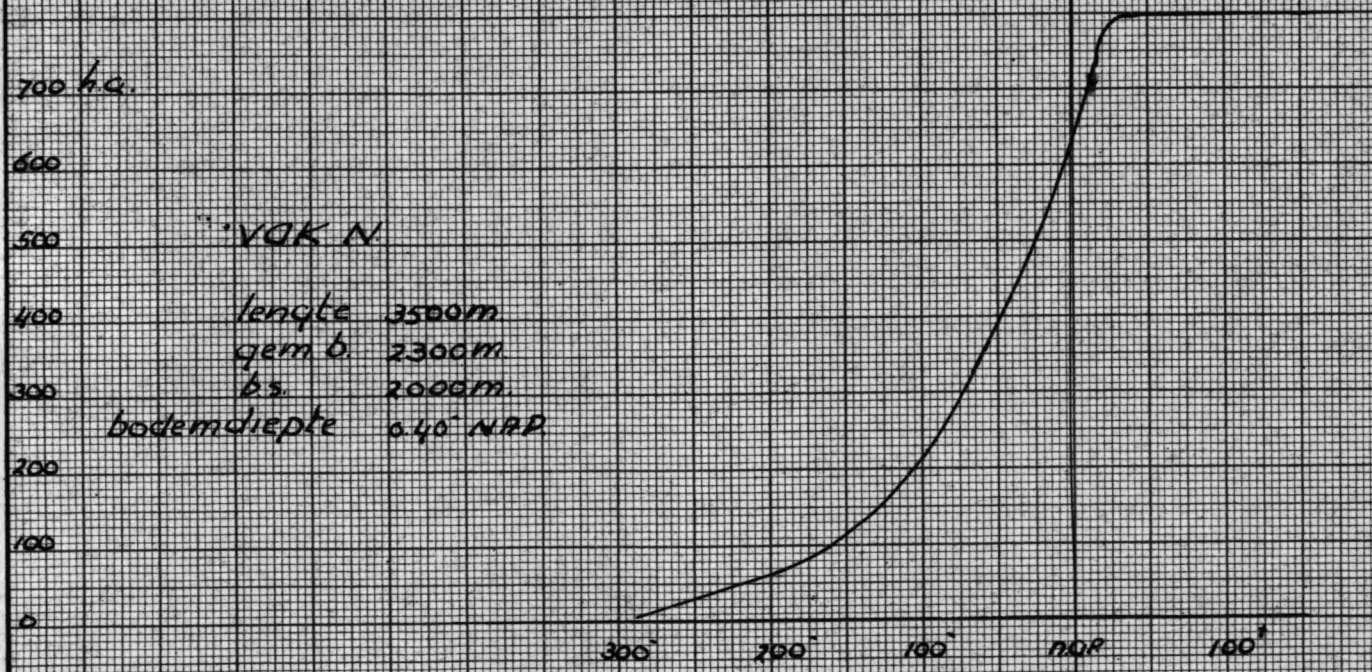
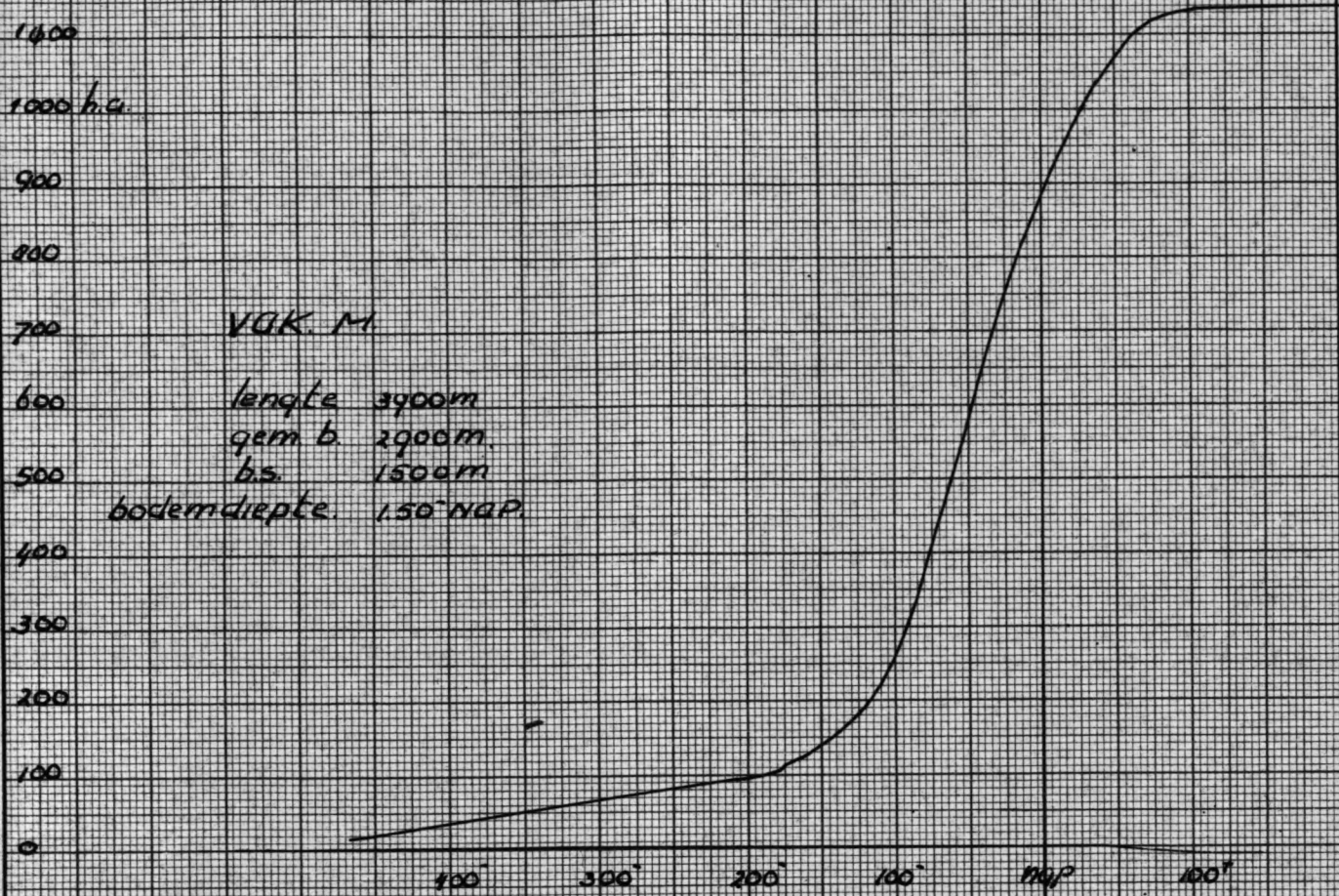
500° 400° 300° 200° 100° N.P.

KOMBERGING YOK 7.

500° 400° 300° 200° 100° N.P. 100° 200°



BYLAGE 6



BIJLAGE 7

1500 h.a.

1400

1300

1200

1100

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

VAK.G

lengte 3200m

b.gem. 4450m.

b.s. 1550m.

bodemdiepte 3.50' N.A.P.

500'

400'

300'

200'

100'

N.A.P.

100'

800 h.a.

700

600

500

400

300

200

100

0

VAK.H

lengte 2700m

b.gem. 3000m.

b.s. 2000m.

bodemdiepte 1.50' N.A.P.

400'

300'

200'

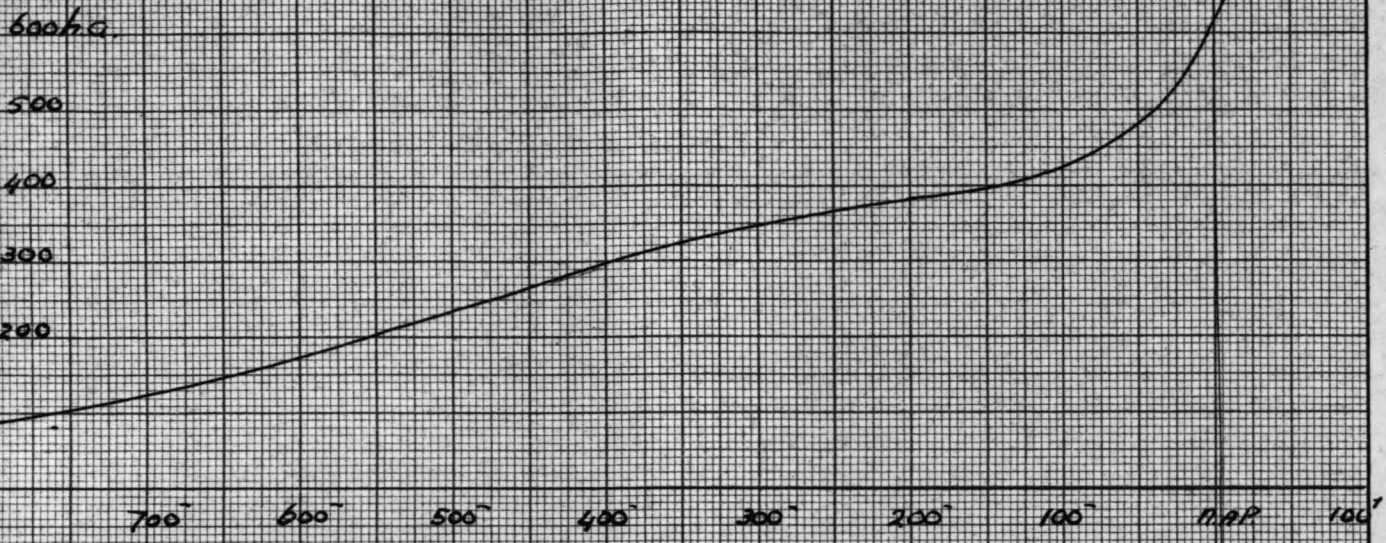
100'

N.A.P. 1

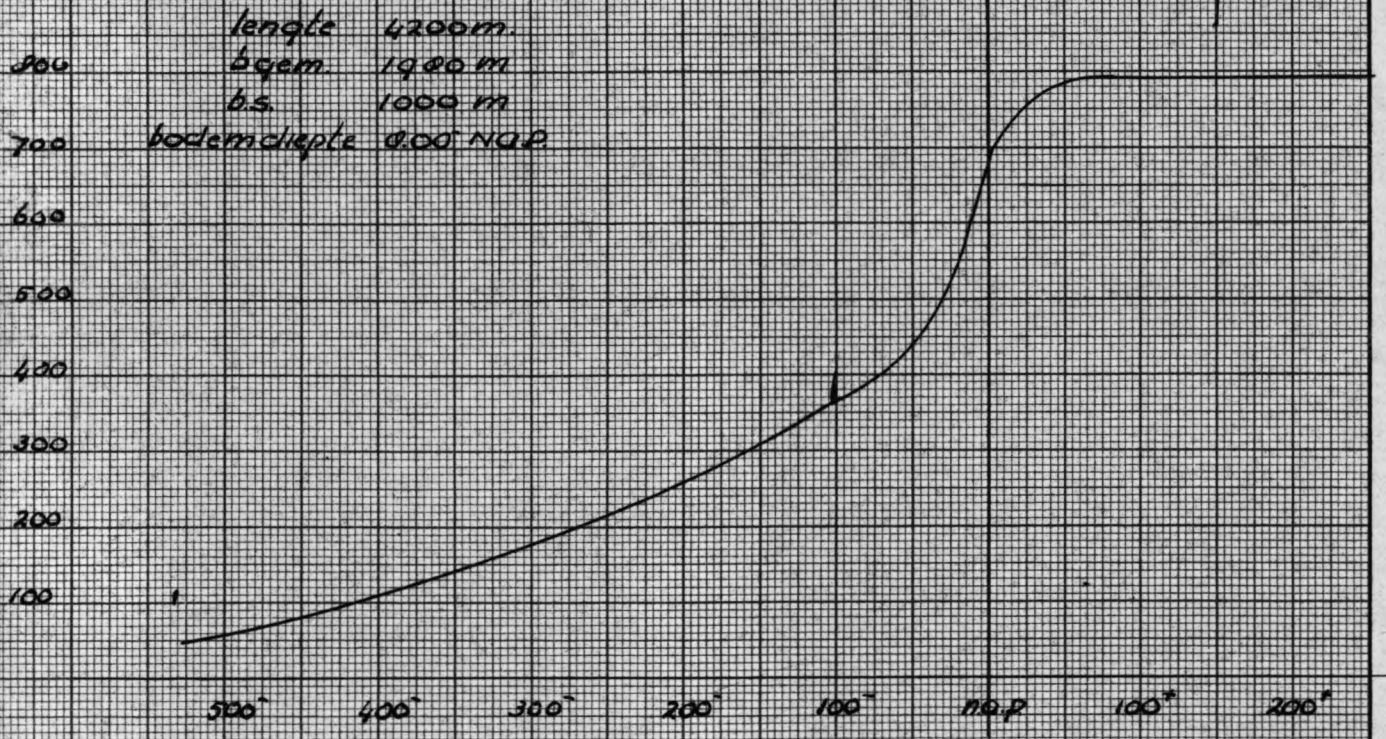
100'

200'

BULAGE O



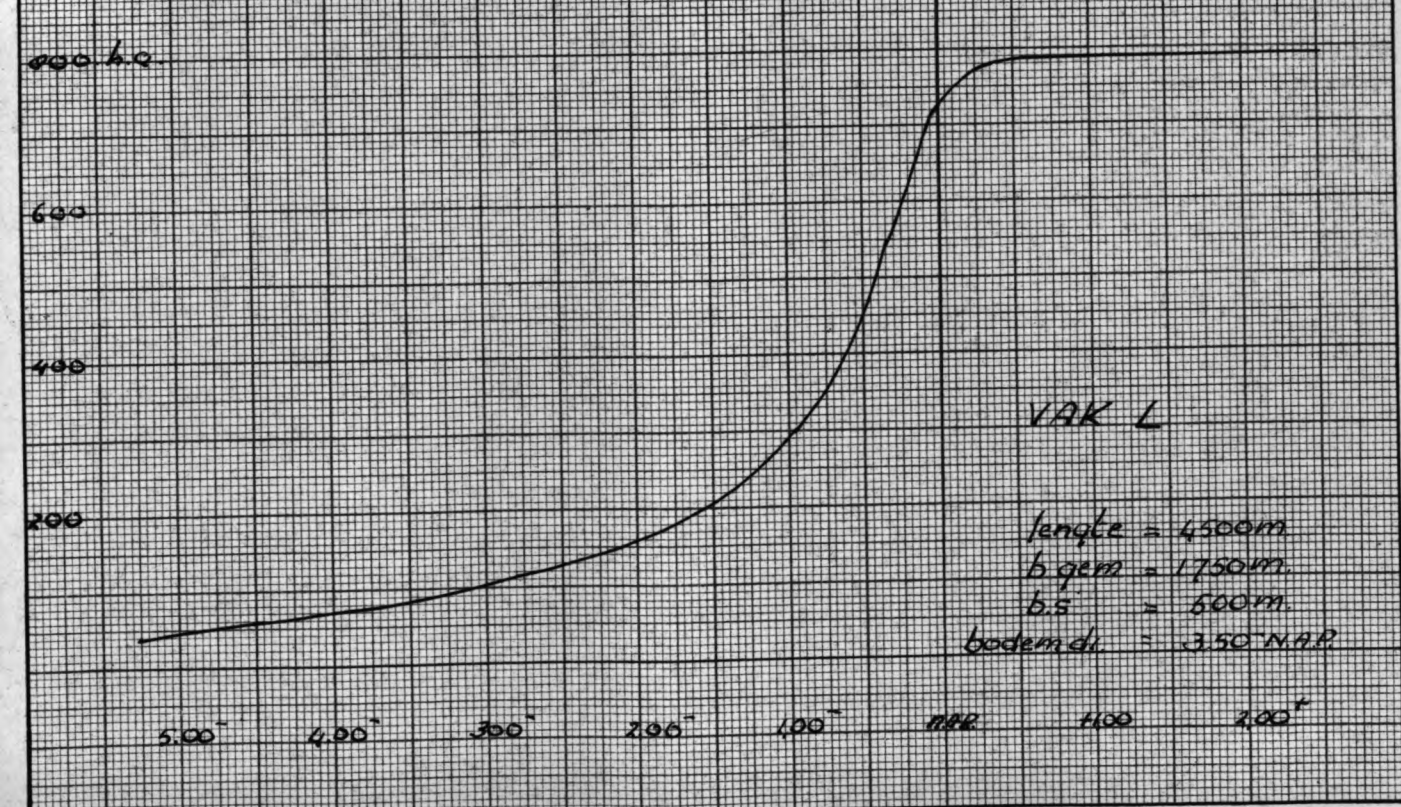
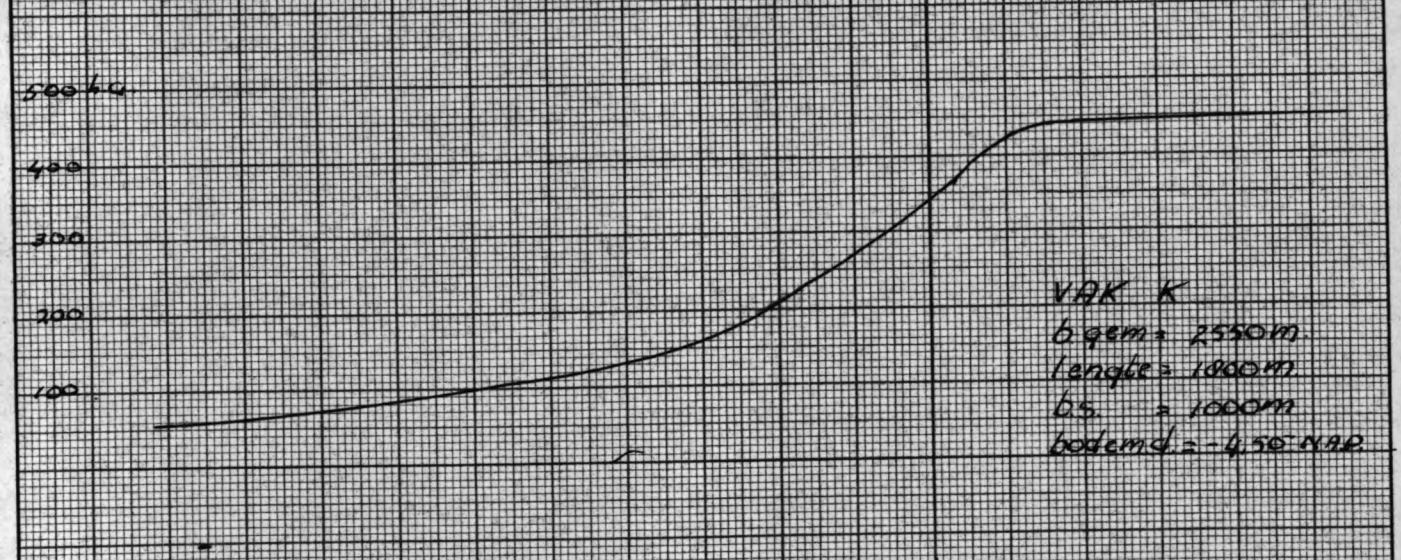
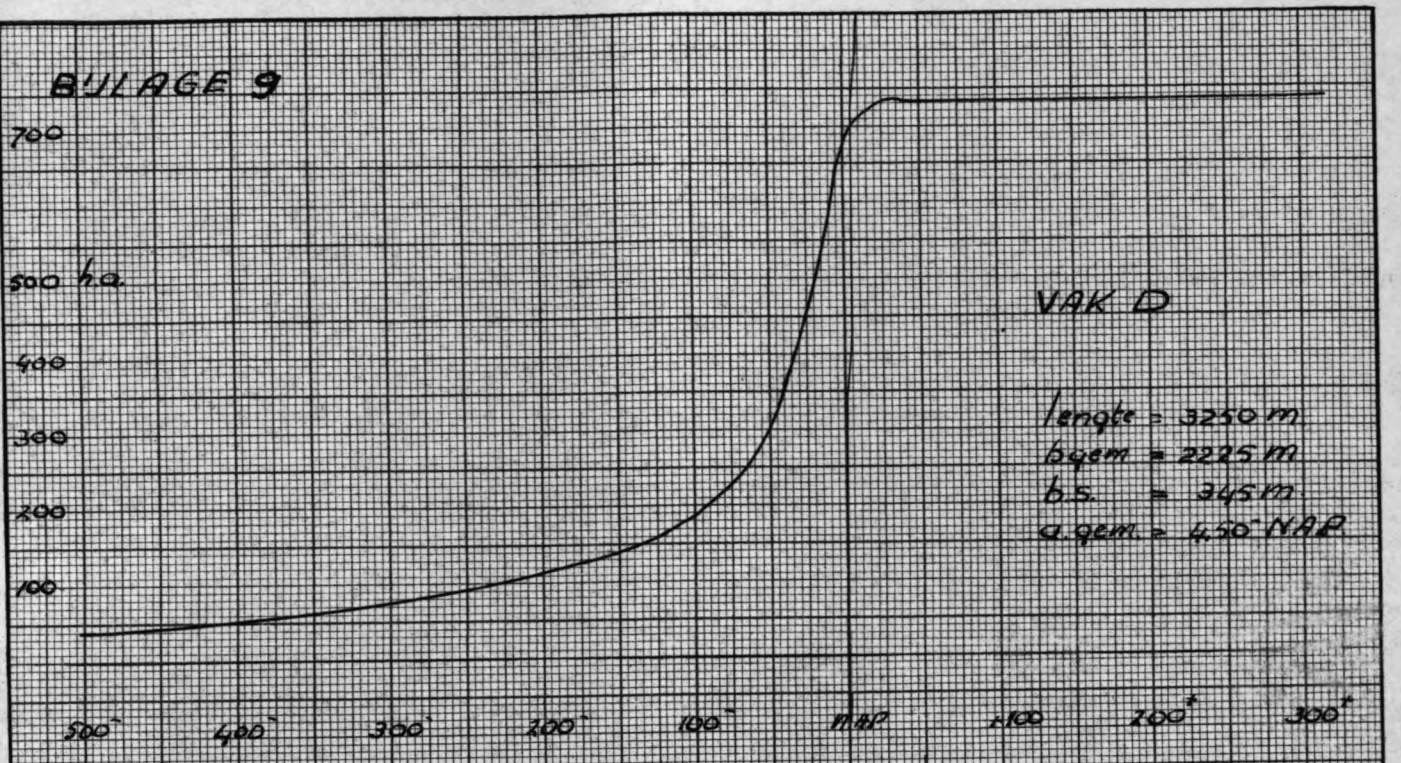
VAK E



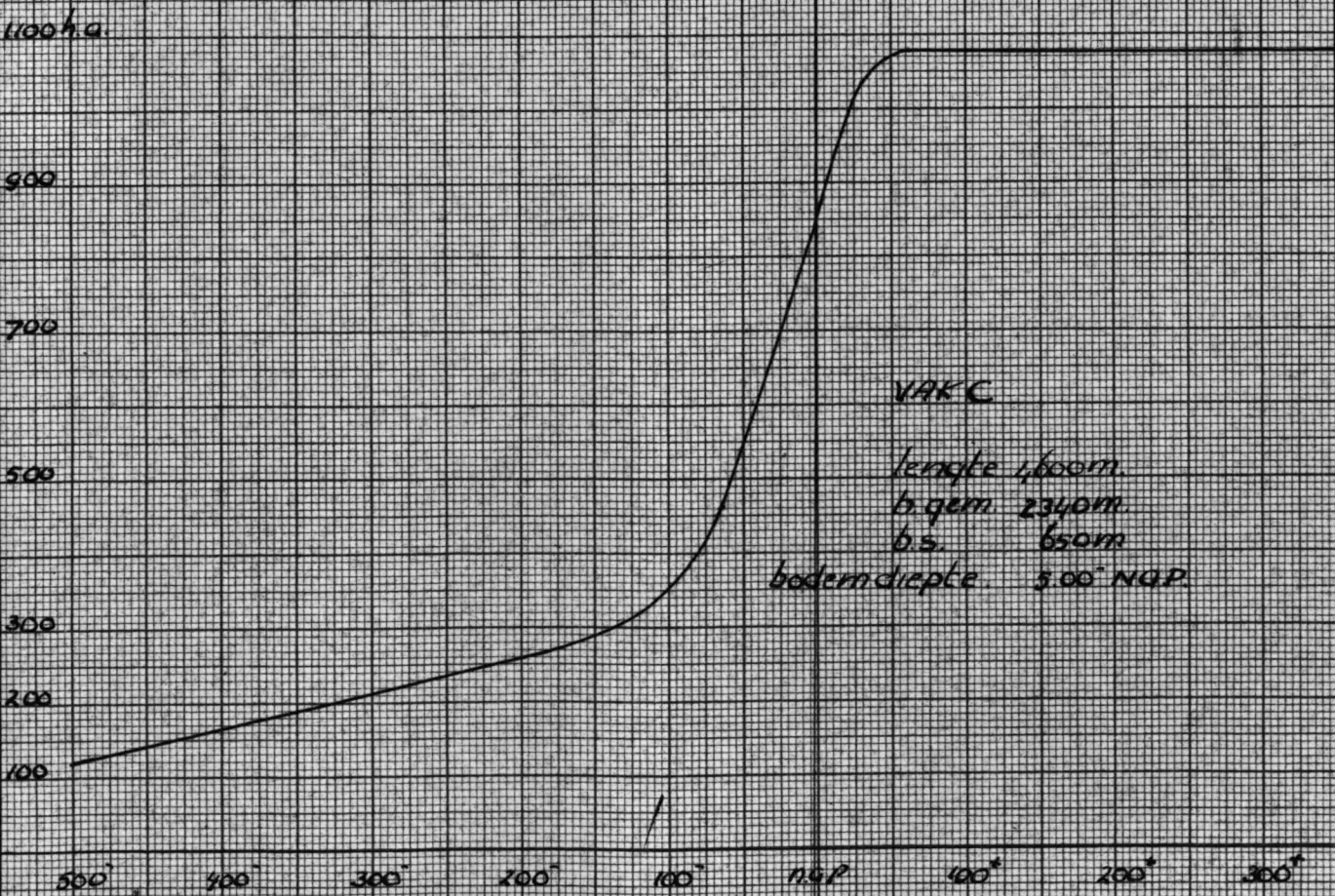
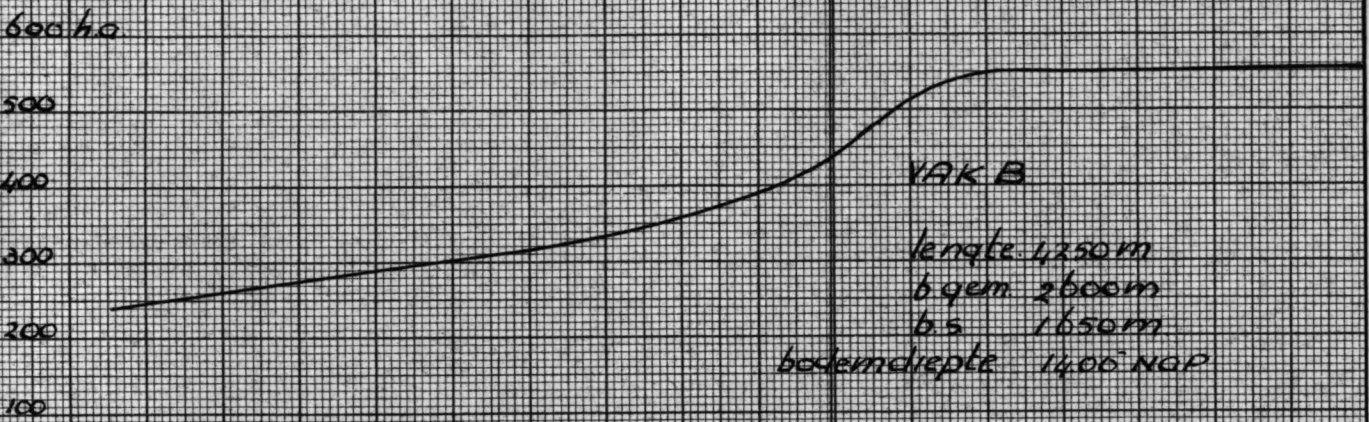
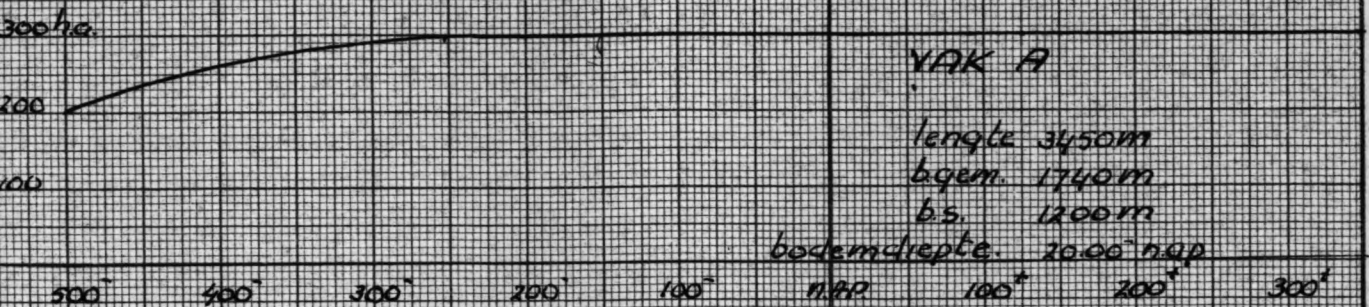
VAK F

length 2700m.
b.gem. 2900m
b.s. 1000m
bodemdtepte 4.50 n.a.p.

BILAGE 9



BVLAGE 10



BULAGE II

2500 ha.

2000

KOMBERGINE VOK 4,
oppervlak 1100 h.a.

1500

KOMBERGINE VOK 5
oppervlak 1750 h.a.

1000

500

0

500"

400"

300"

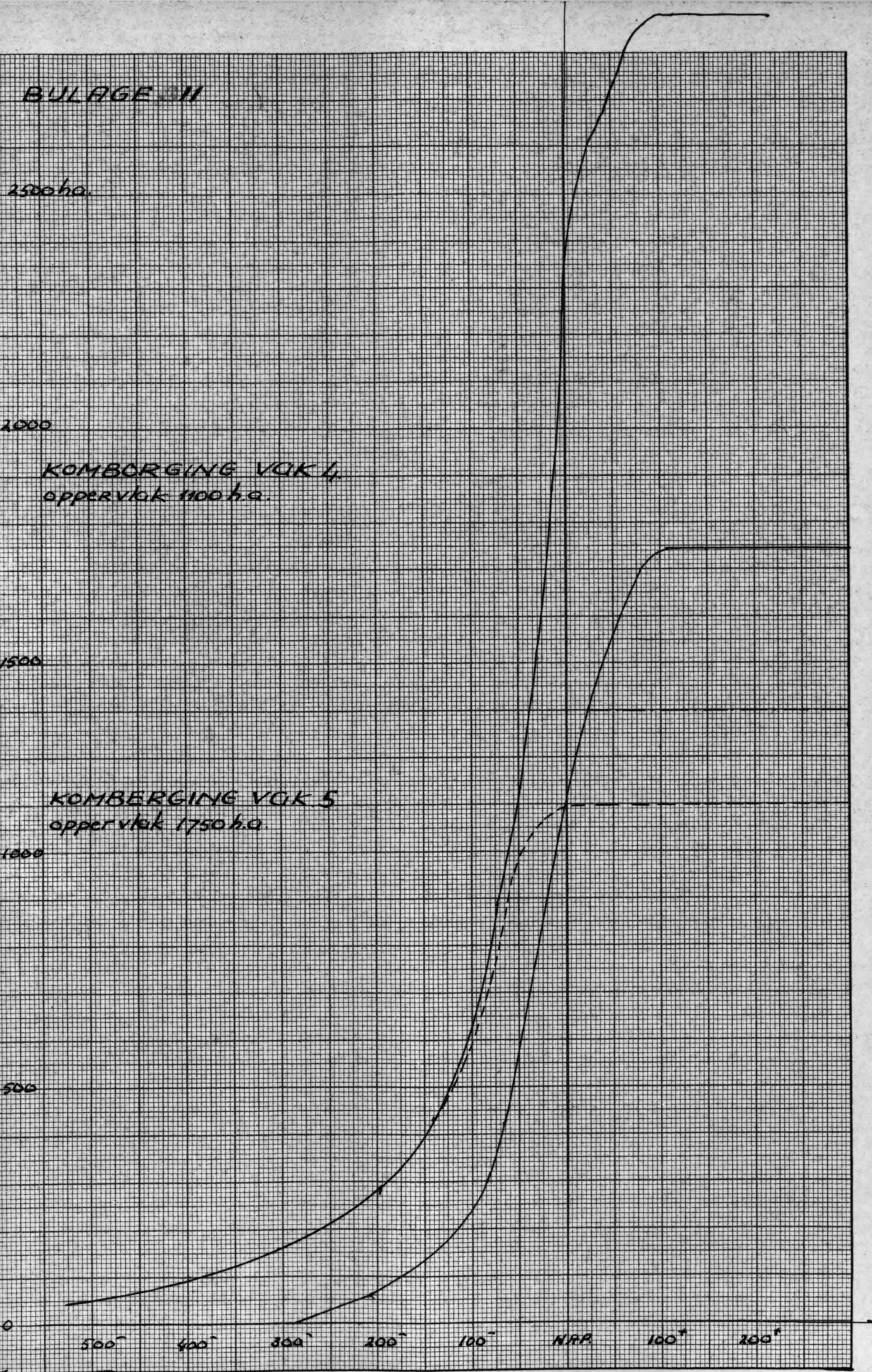
200"

100"

N.R.P.

100'

200'



BIJLAGE 11

berekend in amekandergat

aangenomen randvoorwaarde

berekend in Pinkegat

aangenomen randvoorwaarde

300

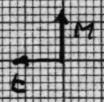
250

200

150

pinkegat: $h = 205 + 145 \cos(1497t - 0)$

amekandergat: $h = 205 + 120 \cos(1497t - 0)$



12

4

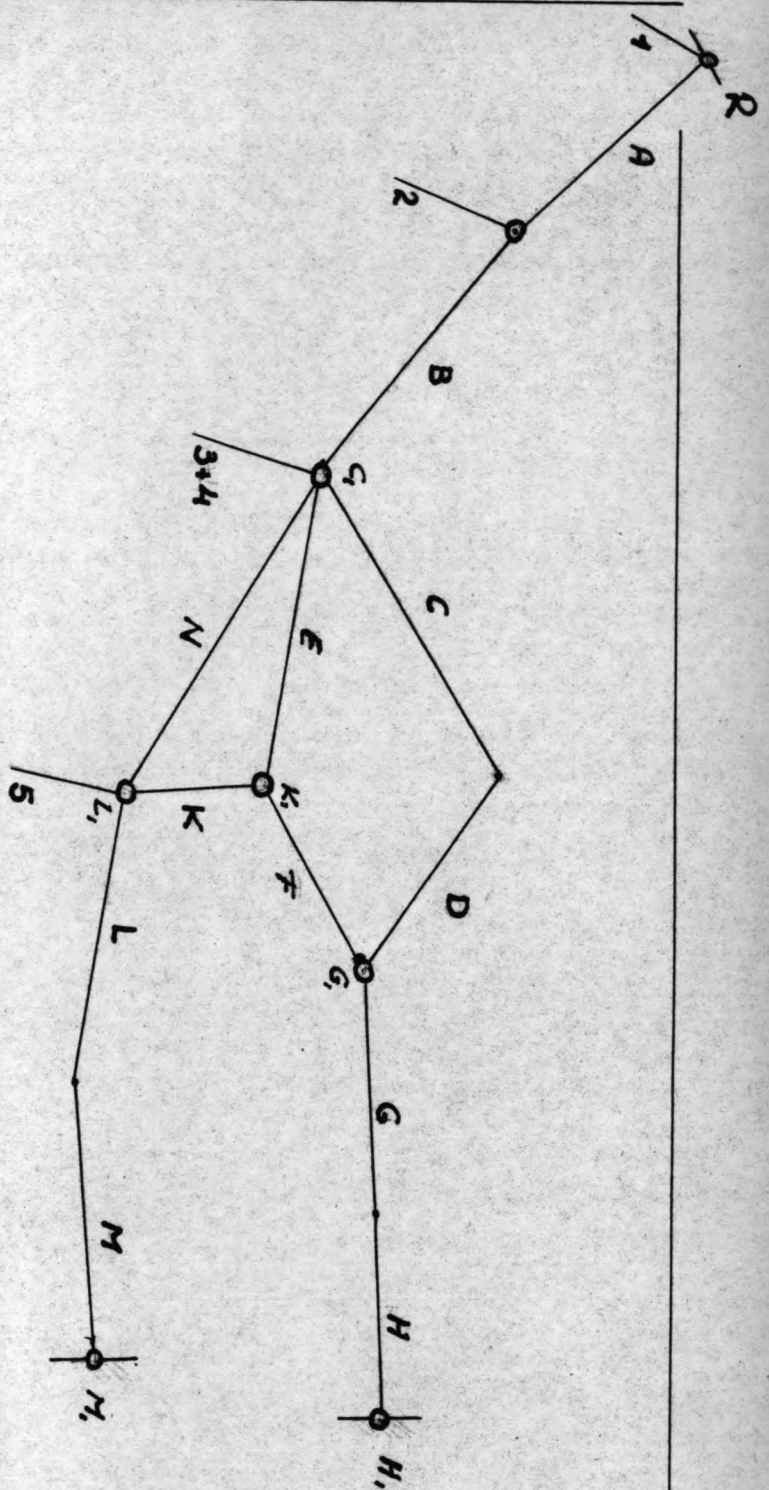
6

8

10

12

RANDVOORWAARDEN



VARK	L	b _s	b ₀	a	c	plaat.
A	3450	1800	1740	-20.00	55	
B	4250	1250	2600	-14.00	55	300.-0.50
C	4600	650	2340	-5.00	50	300.-0.50
D	3250	345	2225	-4.50	50	300.-0.50
E	4200	1000	1900	0.00	35	
F	2700	1000	2900	4.50	50	1000.-0.50
G	3200	2550	4450	3.50	50	500.-0.50
H	2700	2000	3800	1.50	50	
K	1800	1000	2550	4.50	50	
L	4500	500	1750	3.50	50	1200.-0.50
M	3900	1500	2900	1.50	50	
N	3500	2000	2300	0.40	50	

"VARK" INDELING

	symbool.	sectie A	B	G	H.	L.	M.
diepte beneden N.R.P.	a_0	-20.00	-14.00.	-3.50	-1.50	-3.50	-1.50
midden stand t.o.v. N.R.P.	h_m	+ 2.07	+ 2.09.	+2.20	+2.22	+2.21.	+2.21
diepte midden stand beneden N.R.P.	a_m	22.07000	16.09000	4.930.	3.62	3.62.	3.07
stroomvoerende breedte	b_s	1.20000	1.25000	2.05006	6.00	1.70	1.50
stroomvoerend oppervlakk.	A_m	26.40400	20.11250.	10.12350	7.44.	6.02200	6.005
gem. hydr. straal.	a_r	21.27741	15.60617.		3.70622		3.05013
bergende breedte	b	1.740000	2.60000	4.45000	8.00000	1.75	2.90.
sectie lengte.	l	0,34500	0.42500	0.32000	0.27.	0.45	0.39
coëf van Chezy.	c	0,55000	0.55000	0.50	0,50	0.50	0.50
stroomamplitude M^2 gety	$\hat{\phi}_1$	35.09000	30.92000	3.64000	1,07.	3.20	1.20
amplitude vert. getij M_2 .	\hat{h}_1	1.23000	1.28000	1.30000	1.39	1.37	1.39
getal Lorentz.	m_1	0.05000	0.05	0.05	0,05	0.05	0.05
Hoeksnelheid	ω	1.40700	1.40700	1.40700	1.407.	1.407	1.407
$1 + 3 \cdot (11)^3 / (3)^2 + \dots$	n_0	1.00920	1.01940	1.30600	1.50004	1.50000	1.495
$1 + (11)^2 / 2 \cdot (3)^2 + \dots$	\bar{n}_0	1.00151	1.00320	1.04060.	1.07144	1.07100	1.061.
$(9)^2(5)^2(6)$	$(C^2 n^2 a_0)_m$	4514.51702.	1919.43929.		51.20015		32.43542
$(14)(0)(10)(12)/(16)$.	k	0.00230	0.00593	0.0954	0.00756	0.05505	0.01023
$(15)(0)/9 \cdot 01.(5)$	M	0.00132.	0.00216	0.00335	0.00396	0.00010	0.00226
$(7).(0)$	R	0.60030	1.10500	1.42400.	1.2600	0.70750.	1.13100
$(17) + j(13).(10)$.	R_1	$0.00230 + 0.00196j$	$10.00592 + 0.00321j$	$0.00954 + 0.00490j$	$0.00756 + 0.00500j$	$0.05505 + 0.01216j$	$0.01023 + 0.01000j$
$j(13)(19)$	$1/R_2$	$0.09256j$	$+1.64314j$	$+2.11749j$	$+1.52566j$	$+1.17101j$	$+1.60100j$
$1 + 0.25.(20)(21)$.		$0.99956 + 0.00051j$	$0.99069 + 0.00244j$	$+0.99736 + 0.00505j$	$0.99771 + 0.00202j$	$0.99644 + 0.01612j$	$0.99546 + 0.00053j$
$1 - 0.25(20)(21)$		$1.00044 - 0.00051j$	$1.00131 - 0.00244j$	$1.00264 - 0.00505j$	$1.00224 - 0.00202j$	$1.00256 - 0.01612j$	$1.00454 - 0.00053j$
$1/(23)$		$0.99956 + 0.00050j$	$0.99060 + 0.00243j$	$0.99734 + 0.00502j$	$0.99776 + 0.00201j$	$0.99819 + 0.01600j$	$0.99541 + 0.00045j$
$(22).(24)$	L	$0.99912 + 0.00101j$	$0.99727 + 0.00406j$	$0.99460 + 0.01004j$	$0.99552 + 0.00563j$	$+0.99230 + 0.03200j$	$0.99002 + 0.01690j$
$-(20).(24)$	M	$-0.00230 - 0.00196j$	$-0.00591 - 0.00322j$	$-0.00949 - 0.00501j$	$-0.00753 - 0.00509j$	$-0.05465 - 0.01299j$	$-0.01015 - 0.01091j$
$-(21).(24)$	N	$0.00045 - 0.00226j$	$0.00399 - 1.64097j$	$0.01062 - 2.11106j$	$0.00420 - 1.52224j$	$+0.01074 - 1.16655j$	$+0.01421 - 1.67400j$
(25)	O	$0.99912 + 0.00101j$	$0.99727 + 0.00406j$	$+0.99460 + 0.01004j$	$0.99552 + 0.00563j$	$0.99230 + 0.03200j$	$0.99002 + 0.01690j$
controle.	$LO - MN = 1.$	$0.99999 - 0.00004j$	$1.00003 + 0.$	$0.99997 - 0.00003j$	$1.00002 + 0.$	$0.99997 + 0.$	$0.99997.$

Toe te passen EENHEDEN.

diepte 1 m
 hydr. straal 1 m
 lengte 10.000 m
 breedte 1.000 m
 stroomvoerend profiel 1.000 m²
 weerstandscoeff. 100 m^{1/2}/sec.
 versnelling zwaarte kracht 1 m/sec²
 stroom amplitude verticaal 1 m.
 t 10.000 sec.

$$j = \sqrt{-1}$$

VAKCOEFFICIENTEN. ATVOER = 0.

BIJLAGE 14

1	diepte beneden N.A.P.	Q_0	10,426	-0,426	-0,730
2	middenstand tar. N.A.P.	Q_0	-2,15	4,50	
3	diepte beneden middenst.	Q_m	2,55000	6,66	4,640
4	stroomvoerende breedte	a_m	2,00000	1,00000	9,200
5	hydr. straal.	b_s	6,10000	6,60000	
6	bergende breedte	A_m	2,54351	6,57323	
7	sectie lengte.	Q_r	2,30000	2,55000	2,90000
8	coefficient Chezy	C	0,50000	0,10000	0,27000
9	stroomamplitude	\bar{Q}_1	2,74000	6,12000	4,04500
10	amplitude vertical.	\bar{h}_1	1,35000	1,37000	1,36
11	$(k-\varphi)$	$K_1-\varphi_1$	82°	-99°	93°
12	cos $(k-\varphi)$	ω	-0,13917.	0,15648	0,05230
13	werksmethode.	h_0	1,407	1,40700	1,407
14	$1+3\cdot(1)^2/(3)^2 + \dots$	\bar{h}_0	2,54715	1,41100	1,31624
15	$1+0,5(1)^2/(3)^2$	h_0	1,13993	1,02163	1,04410
16	$3\cdot(1)^2/3 + 7\cdot5(1)^3/(3)^3$	h_1	3,31650	2,69700	1,22207
17	Q_1/Q_0	λ	0,15547.	-0,06966	0,15232
18	dimensiooze weerscondsc.	m_1	0,20125	-0,00992	-0,19716
19		m_2	0,07015	0,05003	0,07677
20		m_3	0,14150	-0,06249.	-0,13062.
21			0,13046	-0,2036	-0,12705
22	$(9)^2(5)^2(6)$	K	16,53924	71,50247	0,00230
23	$(8)(17)Q_2^3(22)/(11)(23)$	\bar{K}	0,00797.	0,01504	0,01339
24	$2(0)(7)(Q_0)/g(5)^2$	\bar{K}	0,05091	-0,00103	-0,00501
25	$(0)(7)$	B	0,00260	-0,00091.	-0,00136
26	$24+jw(ks)$	R_1	0,00500	0,45900	0,703
27	$26+jw(ks)$	\bar{R}_1	0,13340 + 0,001105j	0,01504 + 0,00426j	0,01339 + 0,00459j
28	$1/(3)$	$1/R_2$	0,05091 + 0,00399j	-0,00103 - 0,00135j	-0,00501 - 0,0202j
29	$4(32)$	R_2	+ 1,19704j	+ 0,60253j	+ 1,16422j
30	$2(30)(32)$		- 0,03539j	- 1,46513j	- 0,05007j
31	$(33)^2(29) + (34)$		- 3,34157j	- 5,06054j	- 3,42540j
32	$(33)^2(29) - (34)$		+ 0,00667 - 0,00506j	- 0,00395 + 0,00526j	- 0,00346 + 0,00990j
33	$(33)^2(29) - (34)$		0,12601 - 3,44701j	0,61109 - 5,05092j	+ 0,00993 - 3,42091j
34	$(33)^2(29) - (34)$		- 0,12601 + 3,26036j	- 0,01109 - 5,07016j	- 0,00993 - 3,45005j
35	$(33)^2(29) - (34)$		+ 0,12601 - 3,24466j	+ 0,01099 - 5,06164j	+ 0,01605 - 3,44007j
36	$(33)^2(29) - (34)$		- 0,12601 - 3,43040j	- 0,01099 - 5,05944j	- 0,01605 - 3,43009j
37	$(29)(33)$		+ 0,03960 - 0,44603j	+ 0,03497 - 0,08014j	+ 0,01577 - 0,04600j
38	$1/(36)$		0,01310 - 0,30540j	- 0,00032 + 0,17035j	- 0,00003 - 0,30905j
39	$(30)(40)$		1,05177 - 0,00632j	0,99015 - 0,00136j	0,99422 - 0,00204j
40	$(35)(40)$		1,04104 + 0,00753j	0,99670 + 0,00376j	0,99154 + 0,00572j
41	$(39)(40)$		- 0,13570 - 0,01794j	- 0,01501 - 0,00420j	- 0,01322 - 0,00401j
42	$(37)(40)$		0,05246 - 1,22160j	0,00120 - 0,60140j	0,00322 - 1,15940j
43	$(42)(45)$		0,90926 + 0,00133j	0,99052 + 0,00511j	0,99722 - 0,00774j
44	$(43)(44)$				
45	$(46) - (47) = (41)$		1,05177 + 0,00632j	0,99014 - 0,00137j	0,99422 - 0,00205j

φ a = diepte
 a_r = hydraulische straal
 l = sectielengte
 b = breedte
 A = stroomvoerende prof.
 C = weerscondsc. coef.
 Q = stroom.
 \bar{h} = amplitude vertical.
 t_{yd} 10.000 sec.

BILAGGE: 15 a

VAK COEFFICIENTEN

	C	D	E
1	oppervl.	0,730	9,73000
2	diepte beneden N.A.R.		-1,164
3	middelstand t.a.v. N.A.R.		-0,00
4	diepte beneden middenstand	5,60	+2,12
5	stroomvoerende breedte		10,12
6	stroomvoerend opp.	5,39500	1,000
7	hydraulische straal		10,12
8	sectie lengte	2,34000	9,91036
9	coeft. van Chezy	2,46000	1,90000
10	stroomamplitude		0,42000
11	amplitude verticaal	3,75	0,55000
12	(k-φ)	1,33	12,75000
13	cos(k-φ)	93°	1,34000
14	hoekeneilheid	0,05234	900
15	1+3.(11)³/(3)²....	1,407	0,13917
16	1+0.5(1)² 2³	1,10204	1,407
17	3.(11)(3) + 25(11)³/(3)³ + ...	1,02730	1,05407
18	φ/φ₀	0,00009	1,00071
19		0,19600	0,41306
20		0,25517	-0,09129
21	dimensie/loze weerstand.	0,09094	-0,11790
22		0,10127	0,05574
23	(9) - 0.5(21)	0,16454	-0,00216
24	(9)³ (5)³ (6)	0,01022	-0,07690
25	(0) φₓ² / (5)(20) - (13)(7)(51) / (33)(10)	0,04046	307,27117
26	(0)(17)(0²)(22)/(11)(23)	0,00092	0,01500
27	2.(0)(7) φ₀ 9(5)²	0,01434	0,00426
28	(0)(7)	0,00555	-0,00527
29	26+jω(25)	0,07640	-0,00192
30	26+jω(27)	0,04046+0,01326j	0,03160
31	jω(20)	0,01434+0,00027j	0,01500+0,00633j
32	1/(21)	1 - 1,60061j	±900527-0,00206j
33	4(32)	-0,62476j	±1,23650j
34	2(30)(32)	-2,49904j	-0,00600j
35	23+(29)+(34)	±0,21223 - 0,21791j	-3,23472j
36	22-(29)-(34)	±0,05079 - 2,49429j	-0,00463+0,00052j
37	22+(29)-(34)	±0,03013 - 2,46707j	0,00117-3,21907j
38	(23)-(29)+(34)	-0,03013 - 2,53021j	-0,00117-3,24957j
39	(29)(32)	±0,23314 - 0,10111j	0,02043-3,23253j
40	1/(36)	-0,00015+0,40073j	±0,2040 - 0,05111j
41	(30)(40)	±1,01417 + 0,00055j	-0,00106+0,30772j
42	(35)(40)	±1,00205 + 0,04076j	0,99477-0,00206j
43	-(39)(40)	-0,04024 - 0,01410j	0,99004+0,000605j
44	-4.(40)	±0,03260 - 1,60292j	-0,01571-0,00636j
45	(37)(40)	0,90070 + 0,03210j	0,00424 - 1,23092j
46	(42)(45)		0,99607+0,00972j
47	(43)(44)		
48	(46)-(47) = (41)	±0,06414 + 0,00052j	0,99477-0,00206j

TOE TE PASSEN EENHEIDEN...

φ = diepte eenheid. 1m.
 a_j = hydr. straal " 1m.
 l = sectie lengte " 10.000m.
 b = breedte " 1000m.
 R = stroomvoerend. prof " 1000 m^{1/2}/_{sec}
 C = weerstands coef " 1000 m³/_{sec}
 φ = stroom amp. " 1 m.
 h = amplitude vert. " 10.000 sec.
 t_{yd} =

BIJLAGE 16	FORMULIER. C		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN		
	VAK A	VAK B	VAK G	VAK H	
L.x h _a .	$(0,99649 + 0,00560j)h_c + (-0,00590 - 0,00322j)Q_{BA}$			$(0,99017 + 0,01560j)h_H$	
M.x Q _a .	$(-0,00735 + 0,00056j)h_c + (-0,00224 - 0,00190j)Q_{BA}$			$(-0,00767 + 0,01442j)h_H$	
h _a .	$(0,90914 + 0,01442j)h_c + (-0,00014 - 0,00529j)Q_{BA}$	$(0,99737 + 0,00401j)h_c + (-0,00591 - 0,00322j)Q_{BA}$		$(0,90250 + 0,03002j)h_H$	$(0,99552 + 0,00563)h_H$
N.x h _a .	$(0,00479 - 0,00099j)h_c + (-0,00200 + 0,00527j)Q_{BA}$			$(0,02247 - 2,10234j)h_H$	
O.x Q _a .	$(0,01769 - 3,73215j)h_c + (0,90972 + 0,01026j)Q_{BA}$	$(0,00399 - 1,64097j)h_c + (0,99737 + 0,00406j)Q_{BA}$		$(0,01954 - 1,51410j)h_H$	
		$(0,01021 - 2,09440j)h_c + (0,000676 + 0,01241j)Q_{BA}$			
Q _a .	$(0,02275 - 4,62206j)h_c + (0,90604 + 0,02353j)Q_{BA}$	$(0,01420 - 3,72545j)h_c + (0,99061 + 0,01727j)Q_{BA}$		$(0,04201 - 3,61644j)h_H$	$(+0,00420 - 1,52224j)h_H$
		$Q_{2B} = 21j h_{B1}$			
		$= 2,605.$			
h _i		$-1,23670 - 0,09665j$		$1,22054 - 0,50317j$	$1,23025 - 0,60517j$
amplitude.	1,20 (randvoorwaarde).	1,2404.		1,353	1,362.
phase k.	0°	5°		26°	26,5°
Q _i	$11,53999 - 32,02921j$	$11,49664 - 31,74213j$		$-2,22026 - 4,44930j$	$-0,95514 - 1,06440j$
amplitude.	34,00	109°		4,977.	2,095.
phase φ.	109°	33,760.		117°	116°.

BIJLAGE 17	FORMULIER. C AANEENSCHAKELING DER VAKKEN.			
	VAK L	VAK M.	VAK C	VAK D.
L. x h_a .	$(0,90273 + 0,004040j) h_M$		$(1,00063 + 0,99109j) h_C + (-0,06146 - 0,02074) Q_{D0}$	
M. x Q_a .	$(0,02252 + 0,09130j) h_M$		$(0,01632 + 0,04305j) h_C + (-0,03937 - 0,01530j) Q_{D0}$	
h_1 .	$(0,96021 + 0,13970j) h_M$	$(0,99002 + 0,01690j) h_M$	$(0,99231 + 0,13494j) h_C + (-0,10003 - 0,02604j) Q_{D0}$	$(1,00702 + 0,05067j) h_C + (-0,6203 - 0,01016j) Q_{D0}$
N. x h_a	$(0,03020 + 1,15552j) h_M$		$(0,11407 - 1,61300j) h_C + (-0,03113 + 0,09004) Q_{D0}$	
O x Q_a .	$(0,06767 - 1,66007j) h_M$		$(0,06167 - 1,06640j) h_C + (0,97790 + 0,06404j) Q_{D0}$	
Q_1	$(0,10595 - 2,01639j) h_M$	$(0,01421 - 1,67400j) h_M$	$(0,17574 - 2,60020j) h_C + (0,94677 + 0,16360j) Q_{D0}$	$(0,02724 - 1,07940j) h_C + (0,99016 + 0,03335j) Q_{D0}$
h_1	$1,19171 - 0,60911j$	$1,12491 - 0,79009j$	$1,26090 - 0,29900j$	$1,24629 - 0,45026j$
amplitude	1,340.	1,304	1,396	1,320
fase k .	27°.	36°.	13°.	20°
Q_1 .	$-2,14170 - 3,24597j$	$-1,32000 - 1,09453j$	$-1,26971 - 4,43467j$	$-0,66611 - 2,42013j$
amplitude.	3,009.	2,309.	4,613	2,510.
fase φ .	128°.	125°	106°	106°

FORMULIER D : BEREKENING VERVANGINGSGRÖÖTHEDEN

bij STROMENDE ZIJVAKKEN.

	sectie C			D			F			L			G		
	H	Z	H+Z	H	Z	H+Z	H	Z	H+Z	H	Z	H+Z	H	Z	H+Z
a_0	5,00	0,50		4,50	0,50		4,50	0,50		3,50	0,50		3,50	0,50	
h_m	2,10	2,10		2,17	2,17		2,14	2,14		2,21	2,21		2,20	2,20	
a_m	7,10	2,60		6,67	2,67		6,64	2,64		5,71	2,71		5,70	2,70	
b_s	0,65000	0,30000	0,95000	0,34500	0,30000	0,64500	1,00000	1,00000	2,00000	0,50000	1,20000	1,70000	1,55000	0,50000	2,05000
A_M	4,61500	0,7000	5,39500	2,30115	0,00100	3,10215	6,64000	2,64000	9,28000	2,03000	3,19200	6,02200	8,70050	1,33500	10,12250
a_r	6,94021	2,56570		6,42169	2,62330		6,55297	2,62613		5,53469	2,64025		5,62001	2,64170	
b	0,65000	0,16900	2,34000	0,34500	1,00000	2,22500	1,00000	1,90000	2,90000	0,50000	1,25000	1,75000	1,55000	2,90000	4,45000
l	0,56000	0,46000		0,32500	0,32500		0,27000	0,27000		0,45000	0,45000	0,32000	0,32000	0,32000	
c	0,50000			0,50			0,50			0,50			0,50		
$(c^2 a^2 a_r)_m. (2)^2 \cdot (5)^2 \cdot 6.$	36,99613	0,30092		0,50110	0,42076		72,22946	4,57577		11,00169	6,74566		100,60913	1,17706	
$w = l/c^2 a^2 a_r (\theta)/(10)$	0,01243	1,10337		0,30220	0,77241		0,00373	0,05900		0,04060	0,06670		0,00294	0,27106	
$w = \sqrt{1/w}$	0,96900	0,91920		5,11500	1,13700		16,37500	4,11700		4,96292	3,07200		10,42970	1,91700	
$w_v = w_h + w_z$			9,00020			6,25200			20,49200			9,03492			20,34670
$w_v = 1/w_v^2 = (\theta)/(16)$			0,01022			0,02557			0,00230			0,01201			0,00241
$M' = l/q A_M = (\theta)/g \cdot (5)$	0,01012	0,05712		0,01415	0,04137		0,04130	0,01052		0,01636	0,01436		0,00371	0,02443	
$1/M' = 1/(15)$	96,53214	17,50123		70,70125	24,21520		2,39600	9,462315		61,12469	69,63700		269,54177	40,93327	
$1/M'_h + 1/M'_z = 1/M'_v$			114,03237			0,491653			334,01915			130,76257			310,47504
$M'_v = (\theta)/g(5)$			0,00070			0,01056			0,00299			0,00764			0,00322
$a_{m_v} = A_{M_v}/b_{s_v}$			5,60			4,01			4,64			3,62			4,94
$1q = (7_v) \cdot (\theta)$			1,27640			0,72313			0,70300			0,70750			1,42400

FORMULIERE: DEBIET amplitudes uitgedrukt in spanningen.

$hA_1 = (+0.90914 + 0.01442j) hC + (-0.00014 - 0.00520j) \varphi ba.$	$\varphi ba = (-07.24501 + 55.73442j) hC + (07.10201 - 53.07106j) hC$ -10.96053 - 27.09253j 29.23 112°
$\varphi A_1 = (0.02275 - 4.62206j) hC + (0.90694 + 0.02353j) \varphi ba.$	$\varphi a_1 = (-07.40907 + 52.94006j) hC + (07.24600 - 55.73467j) hC$ 11.53999 - 32.02921j 34.00 109°
$hC_1 = (-0.99231 + 0.13494j) hC + (-0.100003 - 0.03604j) \varphi da.$	$\varphi da = (-0.79415 + 3.14332j) hC + (9.15069 - 1.92247j) hC$ -0.10765 - 1.10195j 1.1072 96°
$\varphi C_1 = (0.17574 - 2.60020j) hC + (0.94677 + 0.16360j) \varphi da.$	$\varphi c_1 = (-0.04054 + 1.53650j) hC + (9.15565 - 3.01202j) hC$ -1.26971 - 4.43467j 4.613 106°
$hE_1 = (0.99004 + 0.00605j) hK + (-0.01571 - 0.00636j) \varphi ea.$	$\varphi ea = (-54.69033 + 22.14071j) hC + (+54.34103 - 21.56327j) hK$ -6.04392 - 10.26234j 12.335 123°
$\varphi E_1 = (0.00424 - 1.23092j) hK + (0.99607 + 0.00972j) \varphi ea.$	$\varphi e_1 = (-54.69060 + 21.52211j) hC + (+54.34130 - 22.10125j) hK$ -7.34037 - 11.00034j 13.901 122°
$hN_1 = (1.04104 + 0.00753j) hI + (-0.13570 - 0.01794j) \varphi na.$	$\varphi na = (-7.24261 + 0.95750j) hC + (7.62366 - 0.36205j) hI$ 0.01042 - 1.70313 1.703 90°
$\varphi N_1 = (0.05240 - 1.22160j) hI + (0.90926 + 0.00123j) \varphi na.$	$\varphi n_1 = (-7.24260 + 0.35009j) hC + (7.62365 - 0.96120j) hI$ -0.52501 - 3.17112 3.214 109°
$hK_1 = (0.99670 + 0.00376j) hI + (-0.0151 - 0.00420j) \varphi ka.$	$\varphi ka = (-61.61273 + 17.56045j) hK + (61.47546 - 17.27001j) hI$ -3.74529 - 4.64352j 5.966 131°
$\varphi K_1 = (0.00120 - 0.60140j) hI + (0.99052 + 0.00511j) \varphi ka.$	$\varphi k_1 = (-61.61132 + 17.22761j) hK + (61.47405 - 17.62050j) hI$ -4.12954 - 5.46057 6.053 127°
$hJ_1 = (0.99154 + 0.00572j) hQ + (-0.01332 - 0.00461j) \varphi ta.$	$\varphi ta = (-67.04434 + 23.20370j) hK + (66.60907 - 22.62399j) hQ$ -2.12367 - 3.34647j 3.963 122°
$\varphi J_1 = (0.00332 - 1.15940j) hQ + (0.99732 + 0.00774j) \varphi ta.$	$\varphi t_1 = (-67.04425 + 22.62267j) hK + (66.64979 - 23.20720j) hQ$ -2.71531 - 4.79430j 5.510 119°
$hL_1 = (0.96021 - 2.01970j) hH + () 0.$	$hM_1 = (1.01902 - 0.14045j) hI + () 0.$
$\varphi L_1 = (0.10595 - 2.01639j) hM + () 0.$	$\varphi M_1 = (0.32114 - 2.00794j) hI + () 0.$
$hG_1 = (0.90250 + 0.03002j) hH + () 0.$	$hH_1 = (1.01605 - 0.03106j) hQ + () 0.$
$\varphi G_1 = (0.04201 - 3.61644j) hH + () 0.$	$\varphi H_1 = (-0.06961 - 3.67060j) hQ + () 0.$
	$\varphi(3+4) = (-1.02291 - 7.60701j) + (7.902 0)$
	$\varphi(5) = (-1.50506 - 3.10113j) + (3.403 0)$
	$\varphi(2) = (-) + (0)$

knooppunt C:

$$\begin{aligned} \sum \rho_{ca} = \varphi_{c1} + \varphi_{e1} + \varphi_{n1} + \varphi_{s3+4} \\ 15.70757 + 71.19221j) h_c + (+ 0.7.24501 - 55.73442j) h_r. \\ 9.15565 - 33.01202j) h_q + (+54534130 - 22.10125j) h_k. \\ + (+ 7.62365) - (0.96120j) h_l = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.6627 - 3.24376j) h_c \\ 0.05737 - 0.43765j) h_c + (0.06620 - 3.24376j) h_k \\ 0.79374 - 0.06655j) h_c + (6.00156 - 1.59192j) h_k \\ 0.51166 - 39.11200j) h_c + (70.32315 - 27.19606j) h_k \\ 0.50400 + 20.76902j) h_c + (69.20914 - 27.01693j) h_k \\ 0.51290 + 31.575953j) h_c \end{aligned}$$

knooppunt G:

$$\begin{aligned} \sum \rho_{ka} + \varphi_{na} = \varphi_{L1} + \varphi_{B5} \\ 75.03017 - 20.07770j) h_q + (- 0.79415 + 3.14332) h_c \\ + (- 67.04434 + 23.20370j) h_k = 0. \end{aligned}$$

$$h_l = (+ 61.61273 - 17.56045j) h_k + (+ 7.24261 - 0.95750j) h_c + 69.42026 - 12.15147j$$

$$h_q = (- 67.04434 + 23.20370j) h_k + (- 0.79415 + 3.14332j) h_c + (- 7503017 + 20.07770j)$$

$$h_k = (- 60.01944 + 27.03706j) h_c + (1.01204 - 0.16975j) h_c + (- 70.44220 + 14.00704j)$$

$$h_r = (- 0.7.24501 + 55.73442j) h_r + (1.05002 - 0.24917j) h_r + 90.51290 - 31.57593j$$

knooppunt k:

$$\begin{aligned} \varphi_{ea} = \varphi_{f1} + \varphi_{k1} \\ (- 102.99660 + 61.41355j) h_k + (+ 54.69033 - 22.14071j) h_c \\ + (66.64979 - 23.20720j) h_q + (+ 61.47405 - 17.62050j) h_l = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (+ 53.90932 - 21.75940j) h_k + (+ 6.44316 - 1.550777) h_c \\ (+ 50.64500 - 24.76631j) h_k + (+ 7.60595 - 3.33750) h_c \\ (+ 66.70969 - 25.55606j) h_k + (0.75733 - 3.45207) h_c \\ (- 70.44220 + 14.00704j) h_k + (+ 68.09002 - 27.03706) h_c \end{aligned}$$

knooppunt L:

$$\begin{aligned} \varphi_{g1} = \varphi_{da} + \varphi_{fa} \\ (- 6942026 + 1215147j) h_l + (+ 61.61273 - 17.56045j) h_k \\ + (+ 7.24261 - 0.95750j) h_c = 0 \end{aligned}$$

$$h_l = (0.90412 - 0.09401j) h_k + (+ 0.10357 + 0.00433) h_c$$

$$h_q = (+ 0.90015 - 0.05016j) h_k + (+ 0.11040 - 0.00005) h_c$$

$$h_k = (+ 1.117436 - 0.17310j) h_c$$

$h_r = (1.20000 - 0j)$	1.200	0°
$h_c = (1.26090 - 0.29900j)$	1.296	13°
$h_k = (1.22641 - 0.51609j)$	1.331	23°
$h_l = (1.19171 - 0.60911j)$	1.340	27°
$h_q = (1.22054 - 0.50317j)$	1.353	26°

BIJLAGE 21	FORMULIER: G BEPALING MIDDENSTANDSVERVAL.											
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N.
b_0 totaal.	1.74.	2.60	2.34	3.23	1.98	2.90	4.45	3.80	2.85.	2.90	2.90	2.30
b_0 stroomvoerend vak.	1.20	1.25	0.65	0.35	1.00	1.00	1.55	2.00	1.00.	0.50	1.50	2.00
b_0 zijvak	0.54.	1.35	1.69	1.00	0.90	1.90	2.90	1.00	1.00	1.25	1.40	0.30
a_m stroomvoerend vak	22.07	16.09	7.10	6.67	10.12	6.64.	5.67.	3.72	6.66	5.66	3.77	2.55
a_m zijvak	7.07	3.99	2.30	2.27	2.62	2.24	2.07	2.42	2.36	2.36	2.47	2.35
$(2)^2(4)^2$	701.402	404.513	21.298	5.450	102.414.	44.090	77.230	55.354	55.354.	8009.	31.900	26.01
$(3)^2(5)^2$	14.576	14.919	15.109	19.052	6.593	19.716	69.272	10.975	13.301	10.090	11.950	0.50
$(3)^3(5)^3$	103.049	46.099	34.750	47.050	17.272	46.255	190.812	45.919	31.579	20.749.	29.536	1.60
$(6)(4)+(8)/(6)+(7) = dw.$	21.760	15.63	6.156	3.57	9.850	5.15	4.35	3.39	5.660	3.910	3.42	2.54.
sectielengte	0.996	1.000	0.156	0.066	0.731.	0.275	0.391	0.391	0.991	0.529.	0.469	0.002.
cos w	3.45	4.25	4.60	3.250	4.20	3.700	3.200	3.700	1.000.	4.500	3.900	3.500
$a_{144} \cdot (10)(11)/(9)$	0.23	0.039	0.020	0.114	0.045	0.020	0.041	0.045	0.046	0.000	0.077	0.175
				0.045								
$\varphi_{gem.}$	34.69	30.65	3.66	10.930	0.020	4.000	3.59	1.06	6.27	3.15	1.10	2.60
$l^2/c^2 A^2 a_z$	0.00007	0.00022	0.01022	0.00136	4.00000	0.00230	0.00241	0.00526	0.00251.	0.01201	0.01202.	0.02116
$\varphi^2/c^2 A^2 a_z (14)^2(15)$	0.09210	0.20546	0.13690	0.22737	0.00230	0.05404	0.03106	0.00591	0.09060	0.12711	0.01674.	0.14304
n_0	1.00920	1.01940	1.10204	1.05407	0.05404	1.31524.	1.20600	1.50004	1.14100	1.50000	1.49500	2.54715
n_1	0.16300	0.24302	0.00009	0.44500	6.22207.	1.12207	1.0340	-	0.00251.	1.67792	1.52450	3.31650
$(k-\varphi)$	100°	102°	109°	105°	110°	101°	90°	90°	0.69700	94°	92.5°	80°
$-\cos(k-\varphi)$	0.30902	0.20791	0.	-0.25002	0.19001.	0.19001.	0	0	104°	0.06976	0.04300	-0.17365
$0.04405 n_{1/2} \cos(k-\varphi)$	0.02136	0.02139	0	-0.01217	0.00507.	0.00507	0	0	0.24192		0.02766	-0.04110
$1.2916 n_0/\varphi_1$			0.035200.	0.17253	0.09906	0.26901			0.00031			0.49663
$1.4 n_1 \cos(k-\varphi) 1/2 \varphi_1$			0.10451.	-0.37977	0.00037	0.06076			0.20594			0.20710
(21). (16)	0.00197	0.00439	0	-0.00074	0.01027.	0.00495	0	0	0.03561	0.00620	0.00046	-0.03476
(22). (16)			0.05713	0.00153	0.02393	0.01940			0.00701			0.10092
(23). (16)			0.	0.00393	0.00010	0.00035			0.02319			+0.00053
φ_0			-0.47000	-0.47000	0.04000	0.470			0.00029			-0.370
$\varphi_0(25)$			-0.01040.	-0.01530	0.00959	0.00370			0.370			-0.03000
$\varphi_0^2(26)$			0.	0.00000	0.00740	0.00000			0.000204			+0.00162
(12)+(24)+(20)+(29)	0.025	0.043	0.009	0.090	0.063	0.034	0.041	0.045	0.00006	0.094.	0.077	0.115
h_m eind vak	2.075	2.110	2.200	2.217	2.101.	2.217.	2.250	2.303	0.0507	2.331	2.400	2.237
h_m vakgemiddelde	2.06	2.10	2.14.	2.21	2.15	2.10	2.22.	2.26	2.237	2.20	2.37.	2.10
									2.20			

