

doc-id
770743



Verslag M. 49



C 751
(D)

Waterbouwkundig Laboratorium.



Verslag over het modelonderzoek van het Hellegat.

Modelonderzoek nr. 49.

Delft, December 1934.

I N H O U D.

	pag.
1. Algemeen overzicht.....	1
2. De gedachtengang bij het oorspronkelijk inrichten v/h model,5	
3. Het model.....	11
4. De inrichting van het model voor de stationaire metingen....	16
5. De uitkomsten van de stationaire metingen bij de bestaande toestand.....	20
6. Veranderingen in de situatie.....	22

FIGURENLIJST.

1. Situatie van de S-vormige leidam.
2. Peilingen van 26-27 April '32.
3. Toestand Hellegat in 1870.
4. Algemeene situatie.
5. Resultaten van de getijberekening.
6. Overzicht modelbouw.
- 7a. Situatie van het model in het laboratorium.
- 7b. Overzicht van het model met bruinkoolvak.
8. Schema van een getijmachine.
9. Schema met stroomen, die zijn aangehouden.
10. Toestand 0; uitsluitend met eb gestroomd, daarna alleen met vloed.
11. Toestand 0; na afwisselend eb en vloed.
12. Toestand 0; contrôlemeting afwisselend eb en vloed.
13. Toestand 0 met Helsehe haven.
14. Toestand 1.
15. Toestand 2.
16. Toestand 3.
17. Toestand 4.
18. Toestand 5.

.....

1. Algemeen overzicht.

Het modelonderzoek, dat in 1931 door de Rijkswaterstaat aan het Waterbouwkundig Laboratorium werd opgedragen, had betrekking op de instandhouding van het Hellegat, de vaargeul, die de verbinding vormt tusschen het Hollandsch Diep en het Volkerak.

Deze vaargeul veranderde onophoudelijk van plaats, wat onder andere tengevolge had, dat perioden van goede bevaarbaarheid afwisselden met tijdvakken, waarin de vaart door het ontstaan van ondiepe drempels werd gehinderd. Om een betere toestand te verkrijgen was een leidam ontworpen, westelijk van de lijn, waarlangs de vaargeul liep in die perioden, waarin de bevaarbaarheid het beste was. Het in westelijke richting opdringen, wat de geul altijd deed, moest door de dam worden voorkomen.

Volgens het oorspronkelijke ontwerp (figuur 1) lag de kop van de leidam aan de zuidzijde (roode tonnelijn) van het vaarwater in het Hollandsch Diep. Het tracé vertoonde een flauwe S-vormige bocht en sloot even ten noordwesten van Ooltgensplaat tegen de wal van Overflakkeo aan.

Van een dergelijke dam mag redelijkerwijze worden verwacht, dat hij in staat zal zijn een vaargeul van voldoende diepte (ongeveer 5 m onder N.A.P.) te handhaven. De vraag werd echter geopperd, welke invloed de dam zou hebben op de stroomen,

die de verdeling van het water over Hollandsch Diep, Haringsvliet en Volkerak bepalen. In het belang van de oestercultuur was het ongewenscht, dat door een wijziging in de waterverdeling het zoutgehalte van het water in het Volkerak zou veranderen. Dientengevolge werd aan het laboratorium de vraag gesteld, of door middel van een proef op kleine schaal

de invloed van de ontworpen leidam op de stroomverdeling kon worden nagegaan.

Een dergelijk onderzoek werd, hoewel zeer moeilijk, mogelijk geacht. In de winter van 1931 op 1932 werden de noodige voorstudies verricht, in Maart 1932 kon met de bouw van het model worden begonnen.

De moeilijkheden, die moesten worden overwonnen, om het model geschikt te maken voor het nemen van betrouwbare proeven, bleken nog groter te zijn, dan aanvankelijk was verwacht. De waterverdeling is niet alleen afhankelijk van de peilen, die op een bepaald oogenblik voorkomen, doch ook van die, welke aanwezig waren gedurende de periode van eenige uren, welke daaraan voorafging. Het is dus **nodig** deze vroegere hoogten in het model in de juiste volgorde en in het juiste tempo te reproduceeren. Dit beteekent dat het model moet worden voorzien van een inrichting om het verloop van het getij na te bootsen. Later zal blijken, dat de nauwkeurigheid, waarmee deze getij-inrichting moet werken, zeer groot is.

Bijna een jaar, nadat het eigenlijke model was voltooid, was het nog niet gelukt om deze nauwkeurigheid te bereiken. Het zag er niet naar uit, dat dit binnenkort wèl het geval zou zijn.

Intusschen werd in 1931 het noordoostelijk deel van de leidam, ter lengte van 2000 m, aangelegd. De uitwerking van deze dam was gunstig. De gebaggerde vaargeul behield een voldoende diepte en bleef, zonder drempelvorming, in verbinding met het diepe gedeelte van het Hollandsch Diep. Alleen bij het zuidelijke uiteinde van het gemaakte werk vormde zich een drempel, tusschen de nieuwe geul en die in het Volkerak. Wanneer het zou gelukken deze drempel te verwijderen, of althans te verdiepen, zou men kunnen afzien van de aanleg van het overige deel van de leidam tusschen het gereed zijnde gedeelte en de kust van Overflakkee. Daarmede werd de kans op verandering van het zoutgehalte in het Volkerak zeer gering. Veilig mag immers worden aangenomen, dat dit gedeelte van de dam

geen verandering in de stroomverdeling zou teweegbrengen. Het aanleggen ervan beteekende niets anders, dan het vastleggen van een toestand, die vroeger herhaaldelijk had bestaan. Ook zonder de bouw van dit damgedeelte zou de geul vroeger of later de gewenschte loop weder tijdelijk terugkrijgen. (fig. 2)

De urgentie van de proeven werd tengevolge van een en ander minder groot, hoewel de wenschelijkheid bleef bestaan om te onderzoeken welke gevolgen het aansluiten van de dam-1931 tegen Overflakkee zou hebben, wanneer eventueel later tot het uitvoeren van dit werk toch moest worden overgegaan. Het lag voor de hand van de aanwezigheid van het model partij te trekken om daarin een onderzoek in te stellen naar de mogelijkheid van het verkrijgen van een voldoende vaardiepte bij het zuidelijke uiteinde van de leidam van 1931. In deze zin werd de opdracht uitgebreid; het oorspronkelijke doel mocht echter niet uit het oog worden verloren.

Voor het doen van een nauwkeurig onderzoek naar de te verkrijgen diepte zou het noodig zijn geweest dezelfde moeilijkheden op te lossen als bij de proef voor de waterverdeling het geval was. Evenals de waterverdeling wordt de beweging van het zand over de bodem beheerscht door de getijbeweging.

Daarom is het noodzakelijk, dat ook voor dit onderzoek het model voorzien is van een getij-installatie. Mede in verband hiermede werd dus voortgegaan met pogingen om de nauwkeurigheid van de getij-inrichting in voldoende mate op te voeren.

Toen men hierin in de zomer van 1933 nog niet was geslaagd, stelde de Rijkswaterstaat voor, proeven te nemen omtrent de zandbeweging bij het zuidelijk einde van de bestaande leidam met een stationair werkend model. Dit komt er op neer, dat men aan de drie uiteinden van het model in Hollandsch Diep, Haringvliet en Volkerak een constant niveau handhaaft en dat men een stroom van bepaalde sterkte door het model leidt. Zodoende is het

mogelijk, dat in het model in groote trekken hetzelfde stroombeeld ontstaat, dat in de werkelijkheid op een bepaald oogenblik van het getij voorkomt. Men kan bijvoorbeeld streven naar de stroomverdeeling ten tijde van hoogwater of naar die, welke twee uur na laagwater voorkomt.

Het verkrijgen van meer dan een globale overeenkomst tusschen de waterbeweging in het model en die in de werkelijkheid is met een stationair werkend model uitgesloten. Met de versnelling en vertraging van de waterbeweging van oogenblik tot oogenblik, die in de werkelijkheid een niet te verwaarloozen rol speelt, kan in het model geen rekening worden gehouden.

Aanvankelijk werd het dezerzijds dan ook niet gewenscht geacht stationaire proeven te nemen. Door den opdrachtgever werd er echter op aangedrongen om op deze wijze althans eenige gegevens te verzamelen. Aan deze wensch is gevolg gegeven. In Augustus 1933 werd begonnen met metingen omtrent de zandverplating in het stationair werkend model. Eerst werd de bestaande toestand in het model nagegaan. Daarbij bleek, dat de diepteverhoudingen in het model wel belangrijke verschillen met die in de werkelijkheid te zien gaven, doch dat het algemeene beeld toch vrij goed met de werkelijkheid overeenkwam.

In de winter 1933-1934 is achtereenvolgens nagegaan welke invloed op de beweging van bodemmateriaal in het model wordt uitgeoefend door een vijftal wijzigingen in de situatie. De onderzochte wijzigingen betroffen betrekkelijk geringe uitbreidingen van de leidam aan de zuidzijde of dammen, die van de Brabantsche wal worden uitgebouwd.

Op grond van het waargenomen feit, dat de bestaande toestand in het model op dragelijke wijze wordt weergegeven, mag men aannemen, dat de invloed van het aanbrengen van de overeenkomstige situatiwijzigingen in de werkelijkheid in dezelfde richting zal gaan, als in het model. Er is een goede kans op, dat de wijziging die in het model de teste

toestand
voor de

scheepvaart opleverde, dit in de werkelijkheid ook zal doen. De proeven geven dus een aanwijzing voor de werken, die zullen moeten worden uitgevoerd wanneer men het vaarwater nog verder wenscht te verbeteren.

Het nemen van de proeven met het stationair werkend model verhinderde het doen van verdere pogingen tot verbetering van de getijmachines. De gevoeligheid van deze machines wordt namelijk beïnvloed door de toestanden in het model. Men mag uit de werking van een getijmachine op een ander model of in een proefopstelling niet concluderen, welke nauwkeurigheid in het model van het Hellegat zal worden bereikt.

Na het einde van het "stationaire" onderzoek is het werk aan de getijmachines niet dadelijk weder ter hand genomen. Zooals reeds is gezegd, maakte de gunstige uitwerking van de in 1931 gebouwde leidam de getijproeven minder urgent, en daarom zijn andere modelproeven in het laboratorium, waar meer haast bij was, voorgegaan.

Het model van het Hellegat wordt echter in stand gehouden en het ligt in de bedoeling om te trachten de getijproeven daarin nog uit te voeren, wanneer de gelegenheid zich daartoe voordoet.

2. De gedachtengang bij het oorspronkelijk inrichten van het model.

De stroomverdeeling bij het Hellegat over de drie daar bij elkander komende benedenrivieren, die oorspronkelijk het onderwerp van de proeven vormde, wordt beheerscht door de toestanden op de Zuidhollandsche wateren. Het getij in de Noordzee, dat door de zeegaten naar binnen dringt heeft evenzeer invloed als de afvoer van bovenwater door Nieuwe Merwede en Amer en de afmetingen van alle geulen die tusschen de zee en de bovenrivieren liggen.

Omgekeerd heeft een wijziging van de situatie bij het Hellegat invloed op de waterbeweging in het geheele gebied tusschen de bovenrivieren en de zee. Strikt genomen zou men daarom voor het beoordeelen van de gevolgen van een

dergelijke wijziging, het geheele gebied moeten onderzoeken. Alleen de gang van de waterbeweging buiten de zeegaten en de afvoer van de bovenrivieren zijn geheel onafhankelijk van de toestanden bij het Hellegat.

De invloed van een verandering op een bepaald punt P van het geulennet neemt echter sterk af, naarmate de afstand tot dat punt grooter wordt en daarom is het voor de practijk meestal niet noodig het onderzoek over het geheele gebied uit te strekken. Men mag de grenzen van het onderzochte gebied kiezen op eenige afstand van P en dan aan die grenzen de waterhoogten (veranderlijk met de tijd) als gegeven aannemen. Er wordt dan ondersteld, dat deze waterhoogten onafhankelijk zijn van de toestand in P en van de wijziging, die eventueel aan die toestand wordt aangebracht.

Met het kiezen van de grenzen moet men met groote voorzichtigheid te werk gaan. Herhaaldelijk is gebleken, dat een plaatselijke verandering in de getijbeweging een waarneembare invloed had op grooter afstand ¹⁾. In het geval van het Hellegat echter zijn de wijzigingen, zelfs bij het aanleggen van de geheele dam, van ondergeschikte aard. De bedoeling is om een bestaand vaarwater te consolideeren en alleen enkele weinig beteekende geultjes, als het Ventjagersgaatje en het Midden Hellegat, worden door de dam afgesneden. Men mag met stelligheid aannemen, dat de invloed van het leggen van de dam niet meer merkbaar zal zijn aan de peilschalen bij de Moerdijk, te Hellevoetsluis en te Bruinisse. Wordt een model gemaakt, dat zich tot deze plaatsen uitstrekt, dan kan men de waterspiegel aan de uiteinden op en neer laten gaan overeenkomstig de daar in de werkelijkheid verrichte waarnemingen. Aan deze randvoorwaarden moet niets worden veranderd, welke situatie in het Hellegat ook wordt voorgesteld.

Het maken van een model, dat een zoo groot gebied

1). Bijvoorbeeld het verdiepen van de rug van het Kornwerderzand na de afsluiting van het Amsteldiep.

uitbeeldt, en het werken ermee is niet goed uitvoerbaar. Voor de uitgebreidheid van een model bestaat een praktische grens en om die grens niet te overschrijden, zou een zeer kleine schaal moeten worden toegepast. Dit geeft echter aanleiding tot fouten in de waterbeweging en daarom is het gewenscht met de grenzen van het model zoo dicht mogelijk bij het Hellegat te komen. Gemeend wordt, dat geen fout van beteekenis wordt gemaakt, wanneer de modelgrens in het Volkerak wordt gekozen bij Dintelsas en in het Hollandsch Diep ongeveer 3 kilometer ten oosten van Willemstad.

In het Haringvliet moet de grens verder worden gelegd. Het is namelijk van belang, dat de stroomen, die ten zuiden en ten noorden van het eiland Tien Gemeten loopen, in hun juiste grootteverhouding en met de goede faseverschillen worden weergegeven. Dit kan het beste geschieden door de modelgrens te kiezen even ten westen van de westpunt van Tien Gemeten. De juiste stroomverdeeling over het Vuile Gat en de geulen ten zuiden van het eiland komt dan automatisch tot stand.

Tegen een zoo groote uitbreiding van het model in westelijke richting bestond geen bezwaar. De schaal van het model wordt bepaald door de breedte van de beschikbare ruimte, die over de geheele lengte zes meter bedroeg en plaatselijk tot acht meter kon worden uitgebreid. Deze acht meter moest overeenkomen met de afstand van Dintelsas tot de Beyerlandsche kust, ongeveer acht kilometer, zoodat de schaal 1:1000 moest worden. De lengte van het eindpunt in het Hollandsch Diep tot de westpunt van Tien Gemeten, ongeveer achttien kilometer, moest in het model dus 18 m bedragen. Deze afstand was ruimschoots aanwezig.

Het is niet geoorloofd de hoogteschaal van het model evenals de lengteschaal gelijk aan 1:1000 te maken. Deed men dit wel, dan zouden de diepten in het model zeer klein worden. De werkelijke diepten, die in een belangrijk deel van het gebied eenige meters bedragen en slechts op enkele plaatsen groter dan tien meter zijn, zouden dan in

het model met millimeters moeten worden gemeten. Het ligt voor de hand, dat het karakter van de modelstroomen in dit geval geheel anders zou zijn, dan dat van de stroomen in de werkelijkheid. Turbulentie zou niet optreden.

In een dergelijk geval is het aangewezen de hoogte- (diepte-)schaal groter dan de lengteschaal te maken, zoodat een samengetrokken model ontstaat. Dit middel is hier toegepast en wel in sterke mate: als hoogteschaal is gekozen 1:40, dus niet minder dan vijf en twintig maal de lengteschaal.

Alle hellingen zijn dientengevolge vijf en twintig maal te steil, ook het verhang van de waterspiegel. Dit heeft weer tengevolge, dat in het model te groote stroomsnelheden optreden, tenzij de bodem van het model veel ruwer wordt gemaakt, dan met de werkelijkheid overeenkomt.

Het hoogteverschil ^{tusschen} hoog- en laagwater, het tijverschil, bedraagt in het voorgestelde gebied ongeveer twee meter. In het model moet de waterspiegel het veertigste deel daarvan, dus vijf centimeter, op en neer gaan. De tijdschaal van het model bedraagt 1:158, zoodat een volle getijperiode van 12,4 uur wordt teruggebracht tot iets minder dan vijf minuten. De taak van de getij-inrichting is dus de waterspiegel bij de uiteinden van het model, *fig. 4* aangeduid door T (Tien Gemeten), D (Hollandsch Diep) en G (Dintelsas) in bijna vijf minuten ongeveer vijf en op en neer te brengen. Daarbij moet er op worden gelet, dat op elk van de drie punten de juiste amplitude moet worden verkregen en dat de goede phaseverschillen aanwezig zijn.

Allereerst moet worden vastgesteld wat de juiste amplituden en de goede phaseverschillen zijn. Voor T, D en G zijn de getijkrommen niet bekend. Wel is dit het geval voor Hellevoetsluis (H), Willemstad (W) en de Steenbergische Sas (S). De getijlijnen voor T, D en G zouden kunnen worden bepaald door rechtstreeksche peilschaalwaarnemingen, die worden vergeleken met de op dezelfde dag verrichte waarnemingen te H, W en S. Zij kunnen echter ook door berekening worden vastgesteld. Een geschikte methode

daarvoor is door Lorentz aangegeven. Uitgaande van de afmetingen van geulen en banken en van drie gegevens omtrent verticaal getij of stroom kunnen met deze methode de verticale waterbeweging en de stroom op alle plaatsen van het gebied worden berekend. De rekenwijze is evenmin als andere getijberekeningen exact; de benaderingen hebben slechts een zeer geringe invloed op de algemeene loop van het getij. Details, zooals een scherpe knik in de getijlijn, worden echter niet weergegeven. De hoeveelheid werk die voor de berekening moet worden verricht, is niet bijzonder groot, doch het is noodzakelijk dat de methode met oordeel wordt toegepast.

Daar dezerzijds veel - en gunstige - ervaring met de rekenwijze-Lorentz was verkregen, werd er de voorkeur aan gegeven, de verticale getijbewegingen voor T, D en G te berekenen. Dit heeft het voordeel, dat zoodoende ook de langs deze punten stroomende waterhoeveelheden bekend worden, wat van belang is voor het dimensioneren van de inrichtingen voor aan- en afvoer van water naar en van het model.

Het resultaat van de berekening is gegeven in figuur 5. Daarin zijn niet de getijlijnen zelf geteekend, doch de sinusoiden, die deze lijnen het beste benaderen. De niveauverschillen, die op een willekeurig oogenblik tusschen de punten onderling voorkomen, hebben dus ook een sinusoidaal verloop. Ziet men voorloopig af van de betrekkelijk geringe variatie van de middenstand van het eene punt naar het andere, dan vindt men voor de amplitude van het peilverschil:

tusschen T en D = 42 cm,
 " T en G = 31 " en
 " G en D = 34 ".

De oogenblikken, waarop deze grootste niveauverschillen voorkomen, zijn niet dezelfde. Eerst wordt het verval TG het grootst, bijna twee uur later bereikt het verval TD zijn maximum, terwijl het verval GD een naaijling van ruim drie uur ten opzichte van het verval TG heeft.

Daar de stroom in hoofdzaak door de vervallen wordt

beheerscht, moet de nauwkeurigheid worden vergeleken met de zoo juist genoemde vervallen. Deze hebben in het model een grootte van resp. $10\frac{1}{2}$, bijna 8 en $8\frac{1}{2}$ millimeter, zoodat van de getij-inrichting moet worden geëischt, dat daarmede geen grootere fouten worden gemaakt, dan omstreeks één millimeter waterhoogte. Dit is een zeer zware eisch. Ook in de buitenlandsche laboratoria is geen machine bekend, die in een vergelijkbaar geval deze nauwkeurigheid bereikt.

Nadat de getijberekening was uitgevoerd, kon voor de verdere werkzaamheden het volgende programma worden op gemaakt.

1. Ontwikkelen van een getijmachine, die aan de bovengenoemde eischen van nauwkeurigheid voldoet.
2. Bouwen van drie van dergelijke getijmachines.
3. In werking brengen van het model, zonder leidam, waarbij met behulp van de getijmachines aan de eindpunten T, D en G de juiste getijkrommen, in onderling verband, worden nagebootst.
4. Meten van de stroomen in het op deze wijze werkend model.
5. Aanbrengen van de leidam en weder in werking brengen van het model met dezelfde instelling van de getij machines.
6. Meten van de stroomen in het model met leidam en vergelijken daarvan met de stroomen van programmapunt 4. Uit deze vergelijking volgt de invloed van de aanwezigheid van de leidam op de stroomverdeeling.

Zoo noodig worden de metingen herhaald met gewijzigde situaties van de leidam.

De door de dam veroorzaakte geulvorming heeft uiteraard invloed op de stroomverdeeling. Om deze factor tot uitdrukking te brengen, was het noodig het model in de omgeving van de dam te voorzien van een bodem van een gemakkelijk beweegbaar materiaal. De geulen worden in het model dan ook door stroomen gevormd.

Een complicatie treedt nog op door de aanwezigheid

van water van verschillend soortelijk gewicht. Al naar gelang de phase van het getij, de hoogte van het zeeniveau en de afvoer van de bovenrivieren, komt in de omgeving van het Hellegat meer en minder zout water voor. Kennis werd genomen van een aantal metingen van het zoutgehalte, die ter plaatse waren verricht. Op grond daarvan mag worden geconcludeerd, dat de gradient van het zoutgehalte in den regel niet zoo groot is, dat de modelmetingen daardoor in belangrijke mate worden beïnvloed. Dit opent de mogelijkheid om in het model slechts met één soort water te werken en de verschillen in soortelijk gewicht te verwaarloozen.

Zooals reeds werd vermeld, is de uitvoering van dit programma niet verder dan tot het eerste punt gekomen. Bij de eerste proeven met een getijmachine werd in principe een goede werking verkregen. De door de machine veroorzaakte stand van het te regelen wateroppervlak slingerde echter om het gewenschte niveau. Dit zou geen bezwaar zijn, wanneer de fouten klein waren, doch dit was niet het geval. De amplitude van de afwijking was meer dan een centimeter, dus veel te groot.

Door de inrichting te verbeteren, gelukt het geleidelijk de afwijkingen te verkleinen, totdat de fout meestal niet meer dan eenige millimeters was. Het verder reduceeren van de afwijking is zeer goed mogelijk, doch dit eischt het maken van een geheel nieuwe installatie, waarin de gebreken van de oude moeten worden vermeden.

3. Het model.

De constructieve uitvoering van het model is tamelijk eenvoudig. Langs de oevers is een halfsteensmuurtje gemetseld tot eenige centimeters boven de hoogste te verwachten waterstand. Binnen deze muurtjes zijn raaien opgesteld. Deze raaien zijn vervaardigd van triplex en uitgesneden in de vorm, die overeenkomt met het profiel ter plaatse. Nadat de raaien met behulp van een waterpasinstrument zuiver op hoogte zijn gesteld, wordt de tusschen gelegen ruimte opgevuld met puin en zand, dat zorgvuldig

wordt ingewaterd. Over de vulling wordt een laagje cementmortel aangebracht, waarvan de bovenzijde het door de raaien aangegeven profiel volgt. *fig. 6*

Het eiland Tien Gemeten is binnen de muurtjes, die zijn kustlijn volgen, geheel tot boven hoogwater opgevuld. Buiten elk der einden van het model is een ruimte gereserveerd voor de in- en uitloopconstructie en de getijmachine.

In dat gedeelte van het model, waar de bodem uit beweegbaar materiaal moet bestaan, zijn de raaien weggelaten. Er is hier een horizontale betonvloer gemaakt, op een zoodanig niveau, dat zelfs *op* de diepste plaatsen van de geulen nog materiaaldekking aanwezig blijft. De bak, die zodoende is gevormd, heeft een lengte van ongeveer 4 m, en een breedte van $4\frac{1}{2}$ m; overeenkomend met even zooveel kilometers in de werkelijkheid. *fig. 7a:7b.*

Het overige deel van het model ligt zoo ver van de dam verwijderd, dat de aanwezigheid van de dam daar geen belangrijke invloed op de geulvorming zal hebben. Daar de bodem hier in overeenstemming met de bestaande toestand is gebracht, mag men aannemen, dat dit modelgedeelte met de vaste bodem de werkelijkheid zoowel zonder als met dam goed weergeeft.

Zooals reeds is opgemerkt, moet de modelbodem, althans het vaste deel ervan, ruw worden gemaakt. Om de grootte van de oneffenheden af te leiden, moet worden ingegaan op de schaal van de stroomsnelheid, die in het model behoort te worden toegepast.

Bij een model van een recht kanaal, waarin een stationaire stroom heerscht, is de graad van ruwheid van de wand vrijwel onverschillig. Men moet dan de snelheidschaal zoodanig kiezen, dat het niveau het juiste verhang vertoont. De verdeling van de stroomsnelheid over het geheele profiel zal dan ten naastebij juist zijn.

De stroom in het model van het Hellegat verschilt voornamelijk in drie opzichten van die in het eenvoudigste geval. Door verandering van de snelheid van plaats tot

plaats treden niveauverschillen op (kracht van Bernoulli) door de kromming van de stroombanen ontstaat verhang loodrecht op die banen (centrifugaalkracht) en eindelijk gaat ook het versnellen en vertragen van het water (getijbeweging) met verhang gepaard. Deze drie verschijnselen moeten, met de door de wrijving veroorzaakte niveauverschillen, onderling in de juiste verhouding worden weergegeven.

Met de kracht van Bernoulli is dit uitsluitend het geval, wanneer de schaal der snelheden gelijk is aan de vierkantswortel uit de hoogteschaal, dus $1:\sqrt{40} = 1:6,33$. Het dwarsverhang is dan ook op de juiste schaal.

Om de invloed van de versnelling zuiver na te bootsen, kan men niet meer beschikken over de snelheidsschaal, die immers door de vorige voorwaarde vastligt. Men heeft echter de schaal van de tijd nog in de hand. Door deze gelijk te nemen aan het quotient van de lengteschaal en de vierkantswortel uit de hoogteschaal ($\frac{1:1000}{1:\sqrt{40}} = 1:158$), wordt de invloed van de versnellingsterm in het model op de juiste wijze weergegeven. Met deze schalen wordt ook bereikt, dat een modelwaterdeeltje in een bepaalde tijd ook met de werkelijkheid overeenkomende afstand aflegt. (omdat het product van tijdschaal en snelheidsschaal gelijk is aan de lengteschaal).

Alle stroomingsverschijnselen in het model worden dus op de juiste wijze weergegeven, wanneer de ruwheid van de wanden zoodanig wordt gekozen, dat de modelsnelheden gelijk zijn aan de werkelijke gedeeld door 6,33. Dat de wanden zeer ruw moeten zijn, wordt begrijpelijk, wanneer men bedenkt, dat de kracht, die het water voortbeweegt (het verhang) in het model 25 maal zoo groot is, als in de werkelijkheid het geval is.

Om de grootte van de oneffenheden, die de ruwheid veroorzaken, te schatten, kan gebruik worden gemaakt van de formule van Strickler. Deze formule is niet exact, maar deelt dit euvel met alle andere stroomformules. Men kan volgens Strickler schrijven:

$$V = 210 (R:\rho)^{1/6} \cdot R^{1/2} \cdot I^{1/2}.$$

Hierin beteekent:

V de snelheid,
 R de hydraulische straal, in de werkelijkheid
 praktisch gelijk aan de diepte,
 ρ de gemiddelde grootte van de oneffenheden en
 I het verhang.

(De coëfficiënt 210 geldt wanneer alle grootheden in eenheden van het centimeter-gram-seconde-stelsel worden uitgedrukt; maakt men voor de lengte-eenheid gebruik van de meter, dan moet de coëfficiënt 21 zijn).

Bij overgang van de werkelijkheid op model wordt in het eerste lid V kleiner evenredig aan de snelheids-schaal, dus aan de wortel uit de hoogteschaal. In het rechter lid is dit ook het geval met de factor $R^{\frac{1}{2}}$. Hieruit volgt, dat het product $(R:\rho)^{1/6} \cdot I^{\frac{1}{2}}$ in een model en werkelijkheid gelijk moet zijn, met andere woorden, dat de verhouding $\rho:R$ in dezelfde reden moet veranderen als I^3 . In het model is het verhang groter dan in werkelijkheid; de verhouding is hoogteschaal:lengteschaal (samentrekkingsgraad λ). De verhouding van de oneffenheden tot de waterdiepte moet in het model dus λ^3 maal zoo groot zijn, als in de werkelijkheid; de absolute grootte van de oneffenheden, dus λ^3 maal de diepteschaal.

Bij dit model met lengteschaal 1:1000, diepteschaal 1:40, dus $\lambda = 25$ moet de korrelgrootte dus $25^3 \times 1:40 = 390$ maal worden vergroot. Is de gemiddelde grootte van de korrels bij het Hellegat 0,02 cm, dan moeten de oneffenheden in het model afmetingen van omstreeks 8 cm hebben. De wrijving langs de bodem in de werkelijkheid wordt niet alleen bepaald door de korrelgrootte, doch ook door het voorkomen van zandribbels en ruggen. Om hiermede rekening te houden, zou men tot nog groter oneffenheden in het model komen. Hier staat echter tegenover, dat in het model tengevolge van het samentrekken op veel plaatsen de beloopende steil worden, waardoor de hydraulische straal R kleiner wordt, dan de gemiddelde diepte D. Het verschil is vooral van belang in de diepe geulen, waar de meeste stroom trekt. Gemiddeld over het geheele model genomen zal

de verhouding R;D tusschen $\frac{1}{2}$ en $\frac{2}{3}$ liggen. Dit veroorzaakt kleinere stroomsnelheden, die moeten worden gecompenseerd door verkleining van de oneffenheden ρ tot het zestiende, resp. vijfde deel.

Wordt met dit alles rekening gehouden, dan komt men tot de slotsom, dat de grootte van de oneffenheden in het model ruim een centimeter moet zijn.

Dit is verwezenlijkt, door het model te bekleeden met grof grint, geplakt in een dun laagje cement. De diepten zijn zoodanig *gehooren*, dat de theoretische bodem, overeenkomend met de werkelijkheid, ligt op ongeveer twee derde van de dikte der grintkorrels. Het bovenste derde deel van de korrels steekt dus uit in het gebied, dat water voorstelt.

Ofschoon geen nauwkeurige metingen zijn verricht, is wel de indruk verkregen, dat de stroomen in het ruw gemaakte model nagenoeg de goede sterkte hebben.

Een uitvoerige beschrijving van de getijmachine is hier niet op zijn plaats. Het principe is tamelijk eenvoudig; het is in figuur 8 aangeduid.

Bij het modeleinde wordt door een leiding A iets meer water aangevoerd, dan de grootste hoeveelheid, die op dit punt tot het model moet toetreden. Het overschot stroomt weg over een klep K, waarvan de hoogte kan worden verستeld door een motor M. De vlotter V, die de hoogte van de waterspiegel aangeeft, hangt aan een draad, voorzien van twee elektrische contacten a. Een ander contact ~~is~~ bevestigd aan het raam R, dat op en neer wordt bewogen in het rythme van het verlangde getij. Deze beweging kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door het draaien van een ~~excentriek~~ E, aangedreven door een synchroonmotortje S.

De afstelling van het geheel is zoodanig, dat er geen contact is tusschen a en b, wanneer de waterstand gelijk aan de gewenschte is. Wanneer dit niet het geval is, wordt het contact gemaakt en dit heeft tengevolge,

dat een relais, met commutator C wordt bekrachtigd. Hierdoor gaat de klepmotor M draaien en wel zoodanig, dat de klep K wordt geheven, wanneer de waterstand te laag is, terwijl bij een te hoog niveau K wordt neergelaten.

De stroomverdeeler (honigraat) H is noodig om het plaatselijk doorschieten van de stroom in het model te voorkomen.

Op de registreertrommel T wordt zoowel het gewenschte als het werkelijke verloop van de waterstand opgeschreven, zoodat het mogelijk is een indruk te verkrijgen van de fouten, die worden gemaakt. Deze fouten zijn onder meer afhankelijk van de stand van aanvoer, afvoerklep, honigraat en vlotter ten opzichte van elkander. Voorts staan zij in verband met het zoogenaamde overregelen, waarbij de installatie op een te hooge waterstand reageert, door het veroorzaken van een te laag peil. Daardoor blijft de waterstand steeds om het gewenschte peil slingeren.

De maatregelen, die tegen het overregelen worden genomen en die hier niet zullen worden besproken, moeten de amplitude van deze slinginging kleiner maken, dan de grootste fout, die mag worden toegelaten.

4. De inrichting van het model voor de stationaire metingen.

Om een globaal inzicht te verkrijgen in de verplaatsing van zand in de omgeving van de leidam, werden zoo goed mogelijk de stroomen gereproduceerd, die in twee verschillende fasen van het getij bestaan. Voor een van die fasen werd gekozen een periode, eenige uren voor hoogwater te Willemstad, waarin sterke vloedstroommen loopen, Het tweede tijdstip moet in de periode van sterke ebstroommen liggen, ongeveer midden tusschen hoogwater en het volgende laagwater. Men mag aannemen, dat de belangrijkste verplaatsing van het bodemmateriaal omstreeks de gekozen tijden voorkomt.

Om de sterkte van de stroommen, die men door het model moet laten gaan, te bepalen, beschikt men over de waarnemingen, die de Rijkswaterstaat heeft uitgevoerd.

Deze waargenomen stroomen zijn vergeleken met de resultaten van de getijberekeningen. De gemeten of berekende stroomen kunnen niet in het model worden weergegeven, omdat daarin de berging van water bij vloed ontbreekt. Zoo moet de stroom bij vloed door het Hollandsch Diep gelijk zijn aan de som van die door het Haringvliet en Volkerak; in de werkelijkheid is de stroom in het Hollandsch Diep kleiner. Na lang wikken en wegen zijn voor de modelstroomen twee schema's opgezet, één voor vloed en een voor eb, die in figuur 9 zijn geteekend. De stroom door het Volkerak is aan de sterke kant gehouden, vooral bij eb. De bedoeling hiervan was een flinke verplaatsing van het bodemmateriaal in de Hellegaten te verkrijgen.

De in fig. 9 vermelde getallen zijn de stroomen van de werkelijkheid, uitgedrukt in m^3/sec , om de modelstroomen te vinden moeten ze worden gedeeld door de schaal der stroomen $1: (1000 \times 40 \times \sqrt{40}) = 1: 253000$. De hoeveelheden die aan de modeluiteinden moeten worden aan- en afgevoerd, zijn dus in liters per seconde:

		Aanvoer l/sec	Afvoer l/sec
Haringvliet	T	40	21
Hollandsch Diep	D	48	60
Volkerak	G	20	27

Op deze punten zijn inrichtingen gemaakt om deze aan- en afvoeren te kunnen verwezenlijken. Om de aanvoer te meten werd elk der uiteinden aangesloten op een der aanwezige meetgoten, waarin zich horizontale stuwen met scherpe kruin zonder zijdelingsche contractie bevinden. Voor het Volkerak werd de meetstuw van de glazen goot van het laboratorium gebruikt. Het water stroomde door deze goot, waarvan een ruit was weggenomen. De daardoor ontstane opening voerde naar het model. Voor de afvoer werd in T en V gebruikt gemaakt van cilindervormige overloopstuwen, waarvan de hoogteligging verstelbaar was. Met deze stuwen was de afvoer te regelen en ook te meten.

Bij vloed, wanneer hier geen water moest worden afgevoerd, werden de stuwen opgehaald, tot de over-

stortrand boven de waterspiegel uitstak. Bij eb werd de klep die in D water kon doen wegvloeien op zijn beurt gesloten.

Behalve de goede stroomverdeeling moet ook de juiste hoogteligging van de waterspiegel aanwezig zijn. Dit werd geconstateerd met een peilnaald, die te Willemstad was opgesteld.

De watersnelheid in het model is veel kleiner dan die in werkelijkheid (modelschaal 1:6,33). Het water in het model is daardoor in veel mindere mate, dan het water in de werkelijkheid, in staat om vaste deeltjes te transporteren. Om hieraan tegemoet te komen moet het bodemmateriaal in het model dus gemakkelijker beweegbaar zijn, dan het zand uit het Hellegat. Deze meerdere bewegelijkheid is niet gezocht in verkleining van de korrelgrootte - waartegen bezwaren bestaan - doch in vermindering van het soortelijk gewicht. Als bodemmateriaal werden gebruikt bruinkoolkorrels, met een diameter van 1 tot 3 mm. Dit materiaal beweegt reeds bij stroomsnelheden van omstreeks 10 cm/sec, terwijl het werkelijke zand eerst bij veel grotere snelheden wordt meegenomen. Wel is de verhouding groter dan 1:6,33, zoodat het modelmateriaal relatief nog te moeilijk beweegt, doch hierin wordt geen bezwaar gezien. Zooals reeds bij verscheidene modellen is gebleken, wordt de algemeene zandbeweging met een ietwat te zwaar materiaal goed weergegeven. Geulen en ruggen vormen zich op dezelfde plaatsen en ongeveer in dezelfde omvang als in de werkelijkheid. De verschillen betreffen details. Op een plaats, bijvoorbeeld waar de stroomsnelheid in het model iets te klein is om het materiaal in beweging te brengen, zal een geringe uitschuring, die wellicht in de werkelijkheid ontstaat, zich niet vormen.

Deze verschillen zijn in ieder geval van veel minder belang, dan de afwijkingen in de stroomen, die het gevolg zijn van het feit, dat de met de getijbeweging samenhangende versnellingen en vertragingen in het stationaire model niet worden weergegeven. Het heeft dientengevolge

geen zin een nog meer bewegelijk bodemmateriaal te gebruiken (fijnere bruinkoolkorrels of puimsteendeeltjes), waardoor de uitvoering van de proeven moeilijker zou worden, zonder dat daar een grotere nauwkeurigheid mee wordt bereikt.

De uitvoering van de stationaire proeven is als volgt. De bruinkoolbodem wordt onder een bepaald profiel gelegd, dat niet al te veel afwijkt van het beeld, dat in de werkelijkheid aanwezig is. Nadat dit profiel in teekening is gebracht wordt gedurende een aantal uren ebstroom door het model geleid. Om de verdiepingen en verondiepingen, die zijn ontstaan, te leeren kennen, wordt het model voorzichtig drooggezet en het profiel wederom opgenomen.

De uitgangsligging wordt nu weer hersteld, door de banken en kuilen gelijk te strijken, waarna de vloedstroom de gelegenheid krijgt om zijn uitwerking te doen gevoelen.

Op deze wijze verkrijgt men een indruk welke geulen en drempels door de vloed en welke door de eb ontstaan.

Het is echter ook mogelijk, dat de werking van de eb de invloed ondervindt van de door de vloedstroom gevormde banken en omgekeerd. Om dit te onderzoeken worden vloed en eb afwisselend eenige uren door het model gevoerd. Bij elke verandering van de stroomrichting wordt het profiel van de bodem wel opgenomen, maar niet veranderd. Nadat dit verscheidene malen is herhaald, gaat het bodemrelief langzamerhand een evenwichtstoestand naderen. Toch is na een vijftal cycli nog duidelijk aan het opgenomen profiel te zien, of de vloed- of ebstroom de laatste beurt heeft gehad. De tijd, die elk tot zijn beschikking heeft, komt overeen met omstreeks het vijftig- tot honderdvoud van de zes uren, die in de werkelijkheid verloopt tusschen twee opvolgende stroomkenteringen. De invloed van de laatste stroomrichting komt dus veel te sterk tot uiting in het opgenomen profiel.

Er moet daarom steeds op gelet worden of een tekening van een bodemprofiel geldt voor de toestand 'na

vloed'' of ''na eb''.

Het opnemen van het bodemprofiel geschiedt met behulp van een stilstaande waterspiegel. Men laat de waterspiegel dalen in het model tot een bepaald aantal meters onder N.A.P. en markeert dan de grens van land en water door daarlangs een witte draad te leggen. Nadat het waterniveau is gedaald tot de hoogte, waar men de volgende dieptelijn wil leggen, wordt de bewerking herhaald. Wanneer alle draden zijn geplaatst worden een of meer foto's genomen met de optische as van het toestel in verticale stand, zoodat, op eenige parallax na, een onvervormd beeld van de dieptelijnen ontstaat.

5. De uitkomsten van de stationaire metingen bij de bestaande toestand.

Bij de bestaande toestand (toestand nul of T 0) is een vrij groot aantal metingen uitgevoerd. Allereerst was het noodig na te gaan in hoeverre de uitkomsten verschillen van de werkelijkheid. Voorts is nagegaan, welke invloed wordt uitgeoefend door een aantal kleine variaties van de situatie, zooals het al of niet aanwezig zijn van de dammen van de Helsche haven en verschillen in hoogte- ligging van enkele banken.

Eenige resultaten van deze metingen zijn verzameld in de figuren 10 t/m 13. Daarin is de dieptelijn van vier meter onder L.W. (eigenlijk L.L.W.S., 11 decimeter onder N.A.P.) geteekend als de meest markante lijn; voorts is de lijn van L.W. zelf opgenomen. Behalve de in deze figuren verwerkte gegevens, die zijn afgeleid uit de nauwkeurige opnamen van het bodemprofiel, zijn voor het beoordeelen van de toestanden nog gebruikt de globale schetsen, die telkens van de situatie zijn gemaakt.

Uit al deze gegevens blijkt, dat door de eb de diepte in het noordoostelijk deel van de vaargeul langs de leidam toeneemt. In den regel vermeerdert daar ook de breedte, alleen één meting, die van figuur // vormt in dezen een uitzondering. Het uit deze geulverruiming af-

komstige zand blijft langs de leidam in beweging, doch zet zich ten deele af voorbij het zuidwestelijk uiteinde van de dam. Hier vormt zich een drempel, die steeds minder diepte heeft dan 4 meter. Vooral bij de proeven, waarbij uitsluitend eb heeft geloopt (figuur 10), is deze drempel sterk ontwikkeld.

De vloed schuurt deze drempel gedeeltelijk weg en brengt het zand weder naar de noordoostkant van de geul. De verkleining van het profiel is hier echter van minder belang. Een groot deel van het materiaal wordt verder getransporteerd in de richting van het Hollandsch Diep.

F. fig. 11, 12, 13 Afwisselend werken van eb- en vloedstroom geeft een dergelijk beeld. Telkens na eb bevindt zich de bank weer aan de Volkerakzijde, de rug is echter minder sterk ontwikkeld, dan het geval was bij de proeven, waarin de vloed geheel was uitgeschakeld. De vloedstroom graaft door de rug heen en vormt een doorgaande geul van meer dan vier meter. Deze doorbraak bevindt zich aan de zuidoostzijde van het vaarwater, dat dientengevolge een bochtig verloop krijgt. De zwarte-tonnen-kant werkt dus uit.

Bij de noordoostkop blijft de toestand gunstig voor de scheepvaart; geleidelijk treedt verdieping op. Dit geschiedt trouwens in het geheele vaarwater, wanneer de proeven zeer lang worden doorgezet. Men heeft daarbij echter te maken met een verschijnsel, dat wel in het model optreedt, maar waarvan het voorkomen in de werkelijkheid geenszins zeker is. Wat is toch het geval. Het beweegbare bodemmateriaal bevindt zich in het model alleen in de omtrek van de dam; op grootere afstand heeft men de vaste bodem. Losse deeltjes, die door de stroom een eindweegs worden medegevoerd, zullen op de vaste bodem terecht komen en soms niet meer naar het Hellegat terugkeeren. Materiaal, dat door de vloed in het Hollandsch Diep is gebracht, kan bij ebstroom wellicht in de richting van Tien Gemeten worden verplaatst. Langzamerhand zal een deel van het materiaal zich dus verspreiden, zoodat er minder overblijft in de daarvoor bestemde bak, waar de gemiddelde diepte dus toe-

neemt. De algemeene verdieping kan, anders dan in de werkelijkheid, niet worden gecompenseerd door de aanvoer van bodemmateriaal van elders, omdat dit vastligt.

Alle proeven zullen dus ten langen leste tot vergroting van de diepten in en om het Hellegat moeten leiden.

Als conclusie zal men uit de proeven slechts mogen afleiden, dat de vloed niet bij machte is de door de eb gevormde drempel aan het zuidwestelijk einde op te ruimen, terwijl bij de noordoostkop van de dam een overheerschende neiging tot verdiepen bestaat, vooral bij eb.

Thans dient de vraag onder oogen te worden gezien in hoeverre de modelresultaten overeenkomen met de werkelijkheid. Zooals was verwacht, is van een overeenstemming in details geen sprake. Een kaart, samengesteld uit peilingen, die zijn verricht geruime tijd na het tot stand komen van de dam, vertoont groote verschillen met diepte-kaarten van het model. Het feit, dat er in de werkelijkheid is gebaggerd, kan hiervoor geen afdoende verklaring geven. De verschillen bevinden zich niet alleen in de vaargeul, doch ook in de overige deelen van het model, zooals in de omgeving van het Midden Hellegat en van de plaat tusschen die geul en de leidam.

Toch is een algemeene gelijkenis tusschen het model en de werkelijkheid onmiskenbaar. Het ^{is} daarom geoorloofd een poging te wagen om door modelproeven globaal te beoordeelen, hoe de uitwerking van een wijziging in de situatie op de vaargeul zal zijn.

6. Veranderingen in de situatie.

Bij een verandering zal men moeten streven naar verwijdering van de zuidwestrug, waarbij er op moet worden getoet, dat de diepte in het noordoosten, die groot genoeg is, niet nog wordt vermeerderd.

Ongetwijfeld dankt de bank zijn ontstaan aan het feit, dat de ebstroom voorbij de dam zich in de breedte kan uitbreiden, wat stroomverzwakking en dus vermindering van bodemtransport met zich mee brengt. Dit zijdelings

uitbreiden zou kunnen worden verminderd door de dam te verlengen. Men komt dan in het gebied, waar de stroom van het Midden Hellegat die in het Oost Hellegat nadert.

Bij het verlengen van de dam kan men de neutrale rechte verlenging kiezen, of wel men kan het nieuwe gedeelte ombuigen, hetzij in de richting van de geul of in tegengestelde zin. Buiging naar de geul concentreert de ebstroom meer dan een rechte dam in een beperkt gebied maar kan het bezwaar hebben, dat de stroom, vooral bij vloed, in de geul wordt verzwakt, ten koste van de stroom door het Midden Hellegat. Daarentegen mag men verwachten dat een buiging met de bolle zijde naar het Zuidoosten een vloodscheppende werking zal hebben, doch dat dit gunstige feit zal worden tegengewerkt door de vorming van een neerstroom bij eb, die de zandafzetting bevordert.

Als eerste wijziging, aangeduid als toestand I (T 1), is een rechte verlenging van de leidam met 600 meter genomen. In het model heeft dit geen verbetering tengevolge. De algemeene stroomverdeling en het beeld van de beweging van het bodemmaterieel, wijken niet veel van de vroegere af. Weer treedt bij de noordoostkop verdieping op en vormt zich met eb de bank in het zuidwesten, maar ditmaal gelukt het de vloed niet, de dieptelijnen van vier meter hier open te krijgen. Zelfs nadat gedurende zes uren onafgebroken vloedstroom heeft gelopen, is de bank, die door de voorafgaande ebstroom was gevormd, nog aanwezig (figuur 14).

Betere resultaten worden verkregen door de damverlenging in zuidelijke richting om te buigen (toestand 2). De zuidwestelijke drempel is veel minder geprononceerd en zelfs nadat, van de begintoestand uitgaande, uitsluitend ebstroom heeft gelopen, is er een doorgaande vaargeul van meer dan vier meter aanwezig. Na twaalf uur eb is de toestand door den waarnemer gekenschetst als zeer fraai. De geul, die bij de noordoostkop is ontstaan, heeft zich dan uitgebreid tot bij het zuidwesteinde, zonder daar een bank van beteekenis te vormen. De vergroting van de capaciteit

van het vaarwater komt dan ook tot uitdrukking in de stroomverdeeling.

Bij toestand 0 was de naar het Volkerak trekkende ebstroom nog niet geheel en al voor de helft afkomstig uit de vaargeul langs de dam. 54 procent van het totaal wordt geleverd door Midden en West Hellegat tezamen. In toestand 2 is de verhouding gewijzigd ten gunste van het Oost Hellegat, dat 63 procent van het totaal levert. Uiteraard zijn de stroommetingen niet zoo nauwkeurig, dat men conclusies zou mogen trekken uit verschillen van enkele procenten, ook reeds omdat men nooit tweemaal achtereen volkomen dezelfde toestand in het model zal kunnen instellen. Het verschil tussche de stroomen in toestand 0 en in toestand 2 is echter van die grootte, dat men mag aannemen, dat ook in de werkelijkheid het uitkrouwen van de leidam in de aangegeven richting tot eenige versterking van de ebstroom door het nieuwe vaarwater aanleiding zal geven. Vermoedelijk zal daarmee een vermindering van het vermogen van het Midden Hellegat gepaard gaan.

Eenerzijds is er reden om deze verandering toe te juichen, daar de omstandigheden bij het zuidwesteinde verbeteren. Daarentegen is het de vraag of de stroomversterking wel gewenscht is met het oog op de verdieping bij de noordoostkop, die tengevolge van de grootere stroomsnelheid nog toeneemt, zooals ook in het model blijkt.

De vloedstroom geeft weinig aanleiding tot opmerkingen. Er wordt eenige materiaal in noordoostelijke richting verplaatst, waardoor de diepte bij de noordoostkop iets afneemt. Ook bij het zuidwestelijk eind van de leidam, dat nu meer dan vroeger in de stroombaan ligt, treedt eenige ontgronding op. Het daaruit afkomstige materiaal wordt neergezet op een boogvormige bank, die het eind van de dam tot middelpunt heeft en die aansluit tegen het nieuwe deel van de dam. Deze aansluiting wordt door de eb weer opgeruimd en zoo ontstaat geleidelijk een tongvormige uitbuiging van de vier-meter-lijn, die zich in oostelijke richting uitstrekt. Dit resultaat is te zien op figuur 15, dat de toestand weergeeft, die in het model is ontstaan na-

dat daardoor achtereenvolgens zijn geleid: 12,5 uur eb, 9,5 uur vloed, 5,75 uur eb en ten slotte 6 uur vloed.

In tegenstelling met de eerder uitgesproken verwachting, is ook de capaciteit van de nieuwe geul voor de vloedstroom toegenomen. Van de totale stroom uit het Volkerak gaat niet minder dan ruim 80 procent daardoor, tegen 64 procent in toestand 0. Wederom moet worden opgemerkt, dat aan deze getallen slechts een beperkte waarde mag worden toegekend, doch dat zij waarschijnlijk maken, dat in de werkelijkheid de volgens toestand 2 uitgebouwde leidam eer een versterking dan een verzwakking van de stroom door de nieuwe vaargeul zal veroorzaken.

Tengevolge van dit resultaat werd het onnoodig om een nieuw onderzoek te doen met een damverlenging die naar het westen is afgebogen. Het doel daarvan zou immers slechts zijn het vangen van meer vloedwater, dat in toestand 2 reeds in voldoende mate geschiedt.

Men kan zeggen dat, volgens de modelproef, toestand 2 een gunstige oplossing is voor zoover betreft de toestand bij het zuidelijk eind van de dam. Er is alleen eenige twijfel of de versterking van de stroom wel gewenscht is in verband met mogelijk te groote verdieping bij de noordoostkop. Het loont daarom de moeite nog te zoeken naar een andere wijziging in de situatie, waardoor de stroom bij het zuidwesteinde meer wordt geconcentreerd, zonder dat dit tot vergrooting van het vermogen van het geheele Oost Hellegat aanleiding geeft.

Behalve door verlengen van de leidam kan men deze wijziging verkrijgen door het uitbouwen van een of meer hoofden aan de Brabantsche oever. De in het model onderzochte toestanden 3, 4 en 5 zijn op deze wijze verkregen.

Bij toestand 3 is een dam, ter lengte van 350 meter, tegenover het zuidwestelijk eind van de leidam aangelegd. Dit hoofd ligt bijna geheel boven de laagwaterlijn, zoodat men à priori mag verwachten, dat de uitwerking gering zal zijn. Dit is dan ook het geval. Wel ontstaat bij vloed een sterke aantasting van de bodem bij de kop van het hoofd, zoodat zich een verdieping

vormt, die in noordelijke richting een vrij groote uitbreiding verkrijgt, doch deze kuil staat niet in verbinding met de vaargeul. De eb doet weder een bank voorbij het zuidwestelijk einde van de leidam ontstaan, waardoor een situatie ontstaat, die weinig van die van toestand 0 afwijkt. De geul is minder goed, dan uit de ligging van de vier-meter-lijn in figuur 16 zou volgen. Deze lijn ontstond nadat achtereenvolgens ruim 6 uur eb, ruim 9 uur vloed, bijna 6 uur eb, ruim 6 uur vloed, wederom ruim 6 uur eb en ten slotte niet minder dan 8 uur vloed door het model had gestroomd.

Om een sterkere uitwerking te verkrijgen werd de dam verschoven naar het Zuidwesten, waar de stroom de wal dichter nadert en tevens tot 500 meter verlengd (toestand 4). Strommetingen toonden aan, dat de verdeling van het Volkerakwater bij eb noch bij vloed veel afweek van dat bij toestand 0. De vernauwing van het profiel aan de zuidwestelijke zijde heeft op de vaargeul daar ter plaatse een gunstige invloed.

De neiging om gedurende de ebstroom ter verondiepen is nog wel aanwezig, doch niet in sterke mate. Dat zich achter de leidam een geultje vormt, is niet zeer belangrijk. De groote verplaatsing van het bodemmateriaal geschiedt thans door de vloedstroom. In de nauwe passage tusschen leidam en hoofd is de stroomsnelheid groot genoeg om de ebbank aanzienlijk te verdiepen. Tegelijkertijd vormt zich wederom een sterke ontgronding bij de kop van het hoofd.

Het grootste deel van het meegevoerde materiaal blijft in de vaargeul langs de leidam in beweging, zoodat daar een voldoende diepte wordt onderhouden. Bij de noordoostkop, ongeveer op de plaats waar de stroom uit het ~~Oost~~ Hellegat die uit het Haringvliet ontmoet, vormt zich een drempel, die maakt, dat na een vloedstroomperiode in het model de diepte van vier meter niet meer doorloopt. (figuur 17, na 6 uur eb, 6 uur vloed, 10 uur eb en 6 uur vloed). Bij de bestaande situatie (toestand 0) was de neiging voor het vormen van een vloeddrempel ook wel aanwezig, maar in veel

mindere mate dan thans, nu de aangevoerde zandhoeveelheden grooter zijn. Men kan constateeren, dat door het bouwen van het vloedscheppende hoofd de zandbeweging naar het noordoosten is gaan overheerschen, in tegenstelling met vroeger, toen de zuidwestgaande verplaatsing de sterkste was. In toestand 0 heeft men dus steeds drempelvorming aan de Volkerakzijde en verdieping aan de kant van het Hollandsch Diep; in toestand 4 is het juist andersom.

Het ligt nu voor de hand aan te nemen, dat de beide toestanden geliedelijk in elkander overgaan, wanneer de lengte van het hoofd van nul tot 500 m toeneemt. Er moet een lengte te vinden zijn, kleiner dan 500 meter, waarbij de invloed van de dam zoodanig is, dat de zandbeweging in beide richtingen even sterk is. De ebstroom onderhoudt dan een zekere diepte op de door de vloed opgeworpen drempel aan de noordoostkop en de vloedstroom zorgt voor een gelijke diepte op de ebdrempel bij het zuidwesteinde van de leidam. Uit de resultaten van de modelproef zou men kunnen afleiden, dat deze evenwichts-diepte groot genoeg is om aan de eischen van de scheepvaart te voldoen. Het is echter niet aangetoond, dat deze conclusie met zekerheid mag worden getrokken; daarvoor wijken de omstandigheden in het model te veel van de werkelijke af.

Men zou kunnen overwegen, het hoofd geleidelijk uit te bouwen en, het vaarwater geregeld oppeilend, zoodoende experimenteel te bepalen welke lengte de meest gunstige is. Daarbij moet er wel op worden gelet, dat steeds aan de kop van het hoofd een zeer sterke neiging tot uitschuren aanwezig is. Wil men voorkomen, dat bij verlengen van het hoofd door een groote diepte moet worden gebouwd, dan zal een uitgebreide bezinking voor de kop niet zijn te vermijden.

Nog is nagegaan, welke toestand wordt verkregen, wanneer een lang hoofd (lengte 525 m) op dezelfde plaats wordt aangelegd, waar in toestand 3 het korte hoofd aanwezig was (toestand 5, figuur. 18). Dit hoofd blijkt minder

sterk te werken, dan dat van toestand 4. De bank bij de noordoostkop van de leidam vormt zich aanvankelijk bij vloed wel, maar wordt door de ebstroom weder in sterke mate verdiept.

Minder goed te verklaren zijn de verschijnselen aan de Volkerakzijde. De ebdrempel is daar niet sterk ontwikkeld, zoodat steeds na eb de doorgaande diepte van meer dan vier meter aanwezig is. Daarentegen zet zich nu en dan na vloedstroom hier zand in de geul af. Dit is in het model eenige malen geconstateerd, onder andere de laatste maal, dat vloed door het model was gevoerd. De toen opgenomen 4-meter-lijn is in figuur 18 geteekend.

Vermoedelijk is in toestand 5 het evenwicht tusschen de zandbeweging naar het noordoosten en die naar het zuidwesten

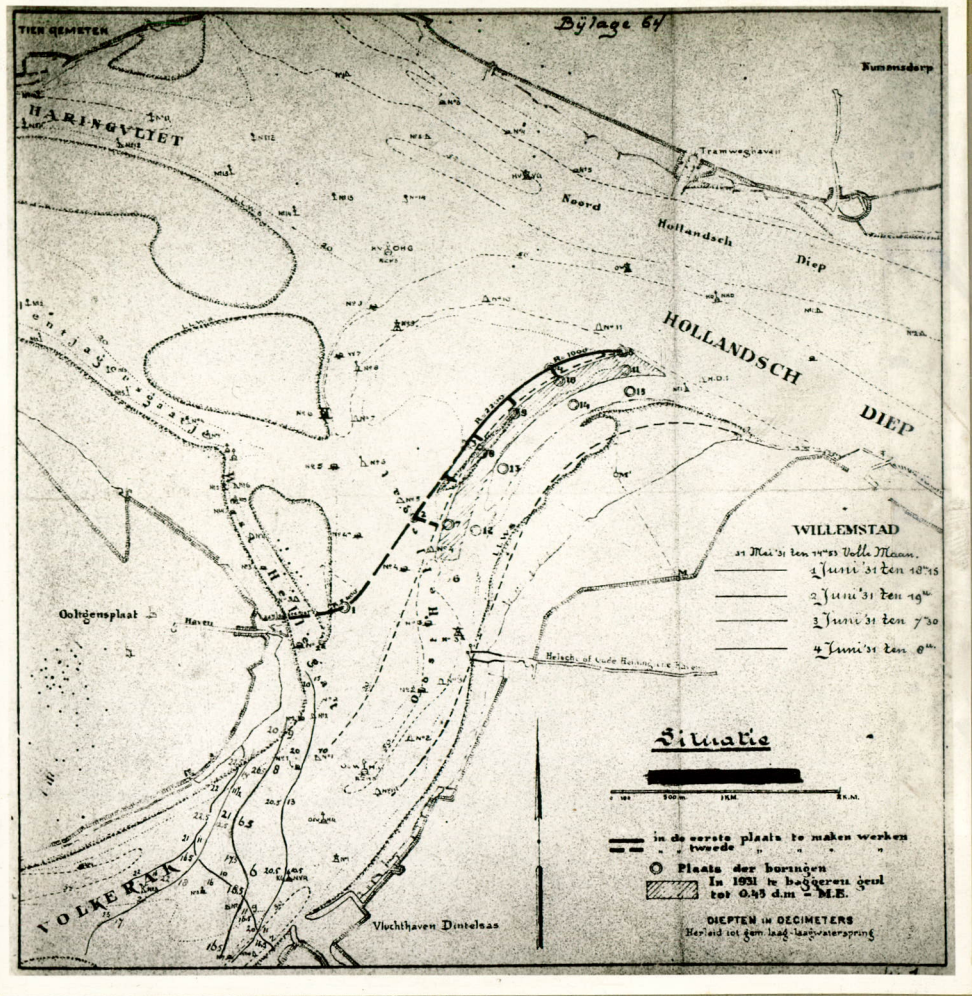
Om te kiezen tusschen de toestanden 4 en 5 geeft het modelonderzoek weinig houvast. In beide gevallen is de vaargeul beter, dan bij de bestaande toestand, maar veel verschil tusschen 4 en 5 is niet op te merken. Wellicht zou men kunnen zeggen, dat de toestand 5 een ietwat minder zekere indruk maat, dan toestand 4. Wellicht ware laatstgenoemde te verkiezen; ook omdat daarbij de dam korter kan zijn, dan bij toestand 5.

Resumeerend kan worden gezegd, dat de modelproeven met het stationair werkend model er op wijzen, dat verbetering van het vaarwater bij het zuidwestelijk einde van de leidam op twee verschillende manieren kan worden bereikt. Ten eerste kan de leidam zelf in gebogen strekking, volgens toestand 2, met ongeveer 600 meter worden verlengd. Deze wijze van doen schijnt verdere verdieping van de geul bij de noordoostkop van de leidam tengevolge te hebben en daarom is het wellicht beter de andere verbeteringsmogelijkheid te benutten. Deze bestaat uit het maken van een hoofd aan de Brabantsche zijde, ter lengte van omstreeks vijf honderd meter of minder. De plaats van dit hoofd kan worden gekozen volgens toestand 5 of wel volgens toestand 4. Wellicht zou een uitbreiding van het modelonderzoek omtrent

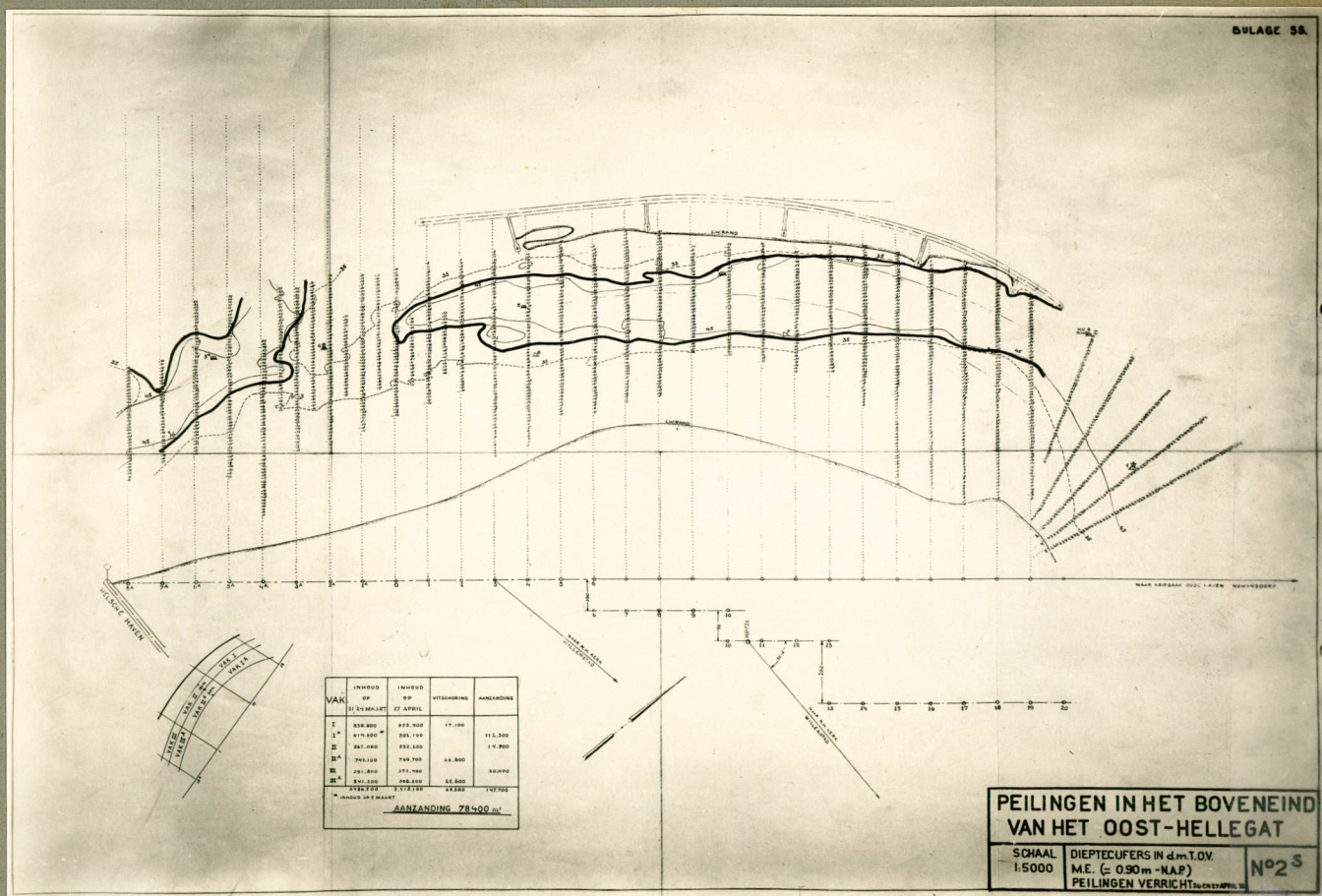
de keus tusschen beide meer licht kunnen verschaffen. Het is niet bepaald noodzakelijk daarbij de getijbeweging weer te geven. Ook in een stationair werkend model kan het onderzoek in meerdere mate worden verfijnd, dan bij de hiervoor beschreven proeven het geval was.

: - : - : - : - : - : - : - : - : - :

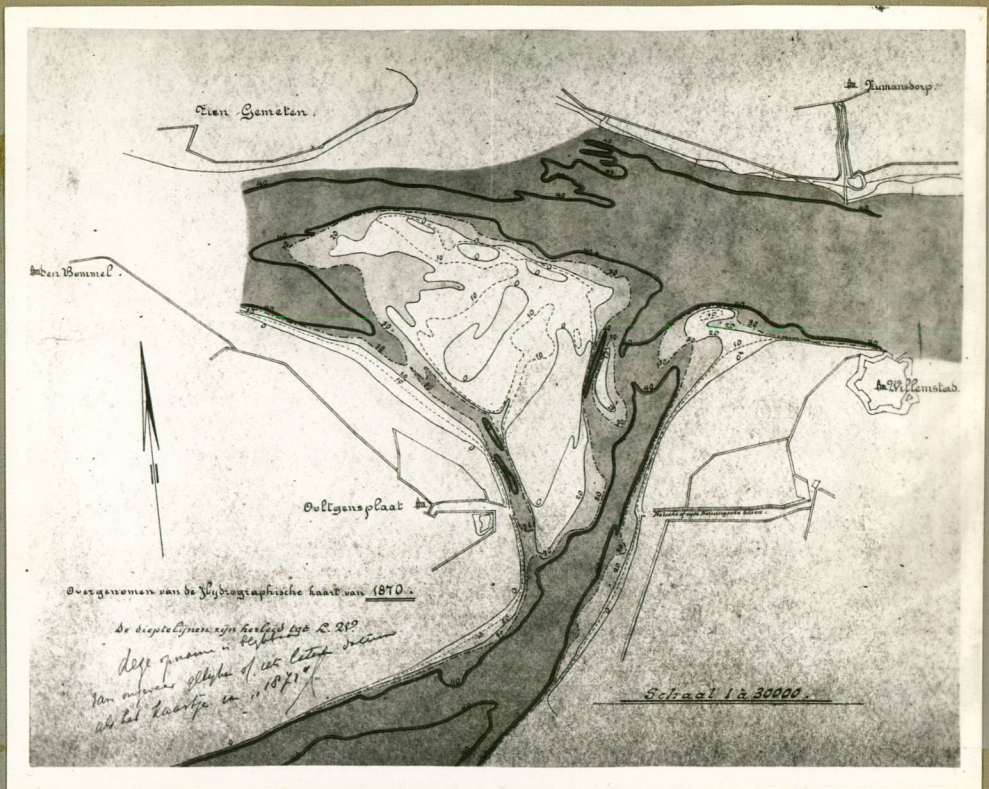
Delft, November 1934.



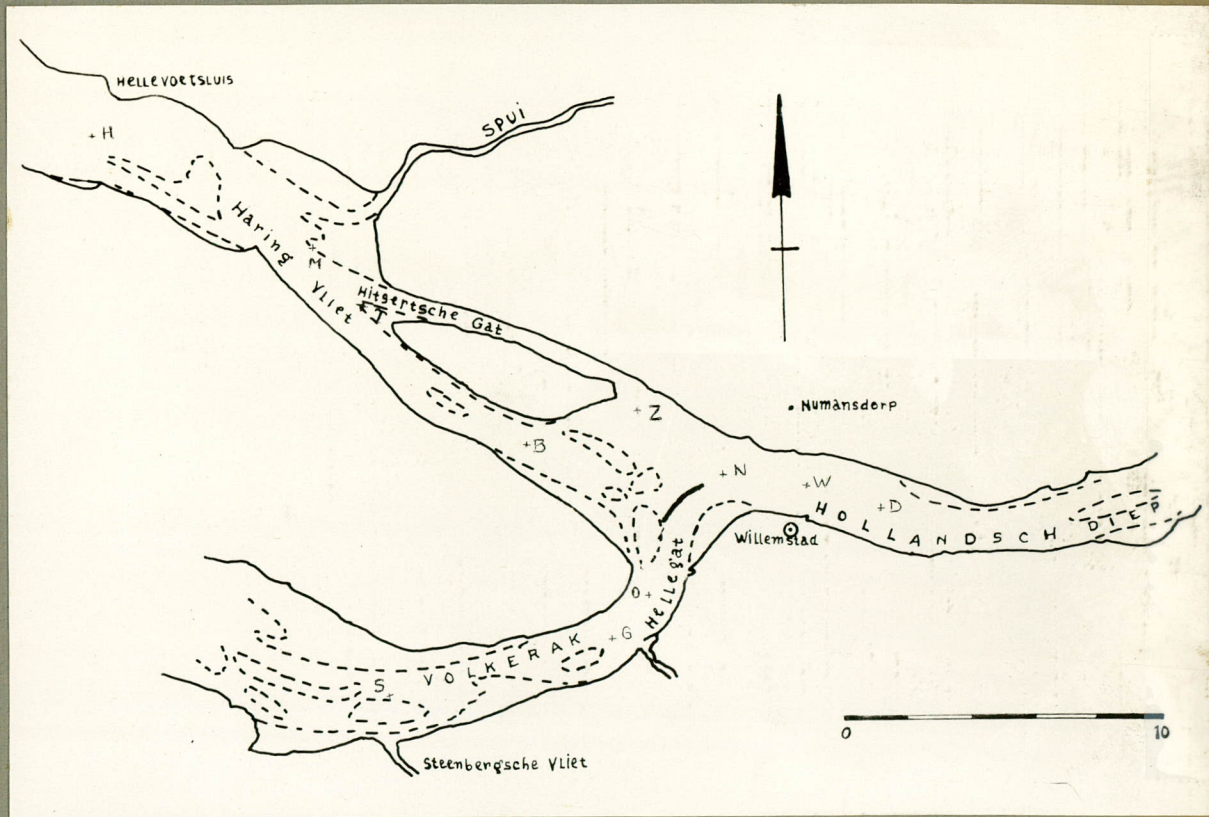
1. Situatie van de S-vormige leidam.



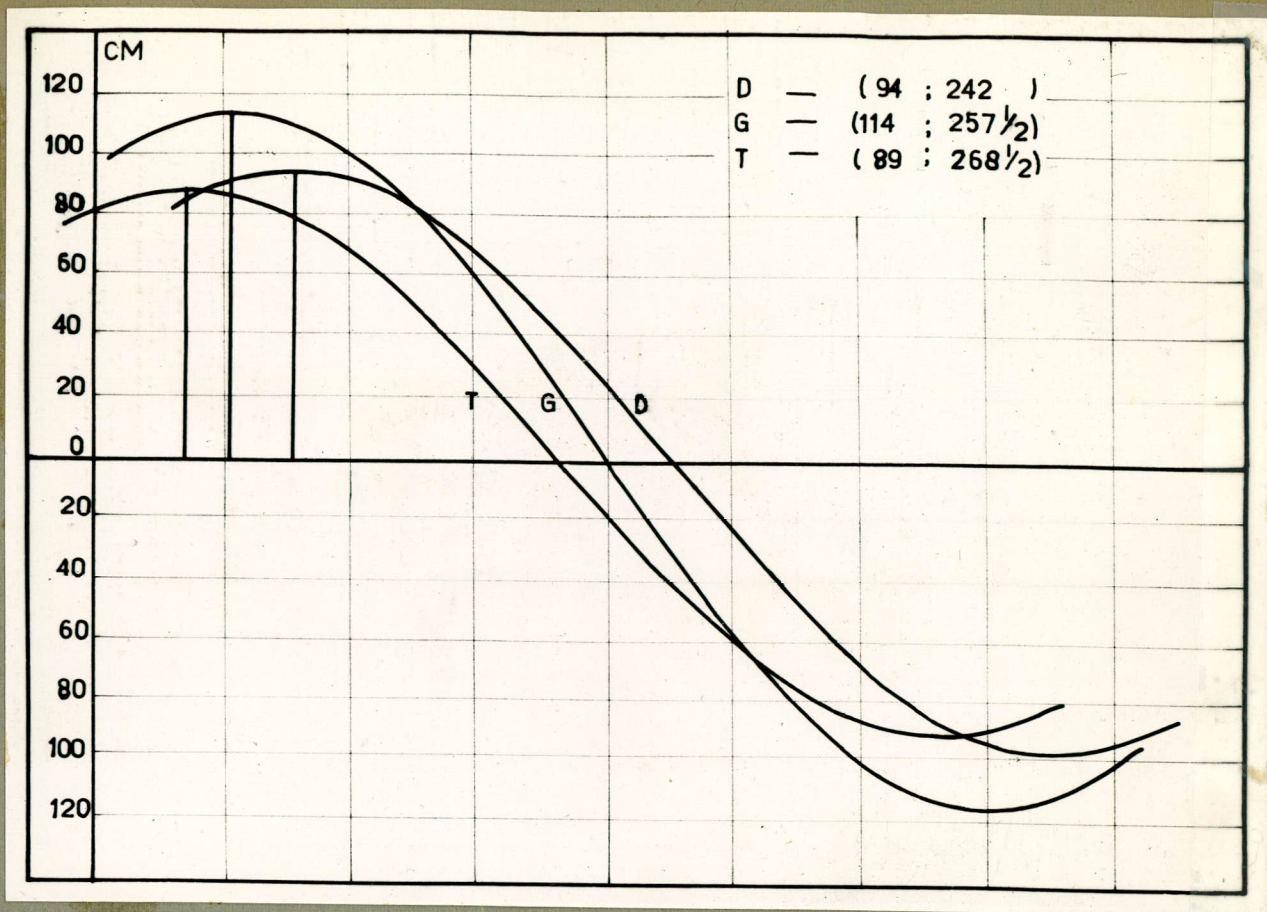
2. Peilingen van 26-27 April '32



3. Toestand Hellegat in 1870.



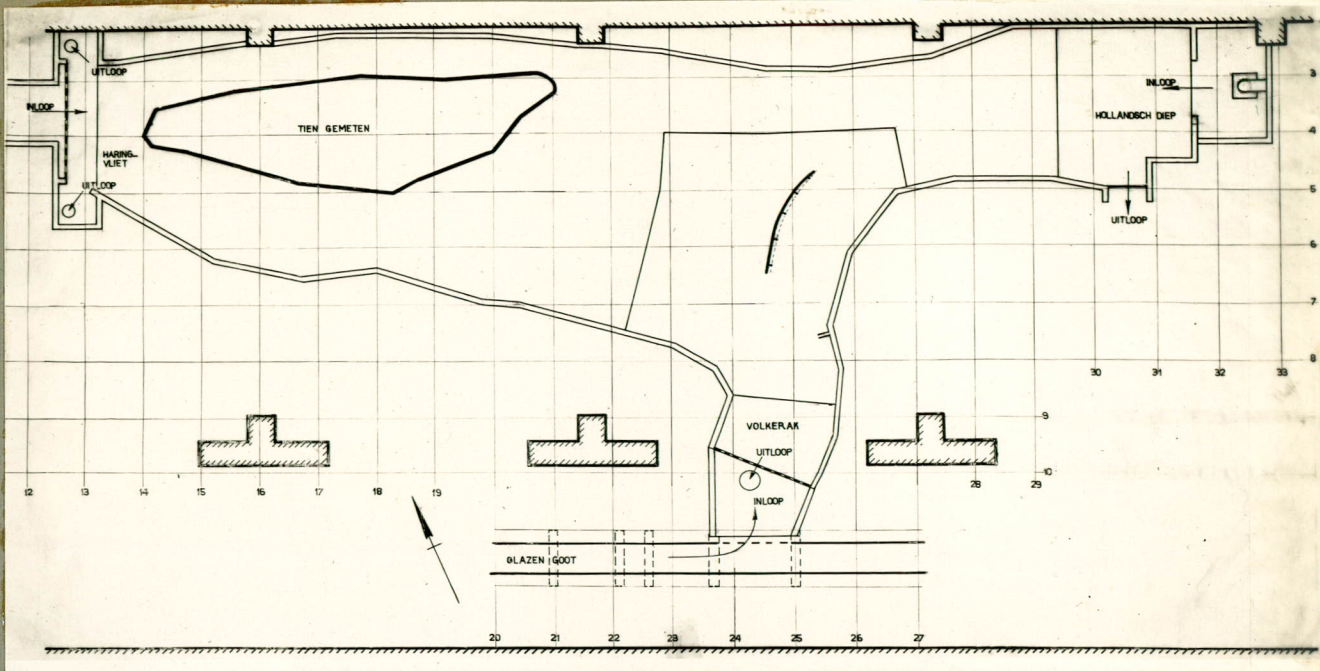
4. Algemeene situatie.



5. Resultaten van de getijberekening.



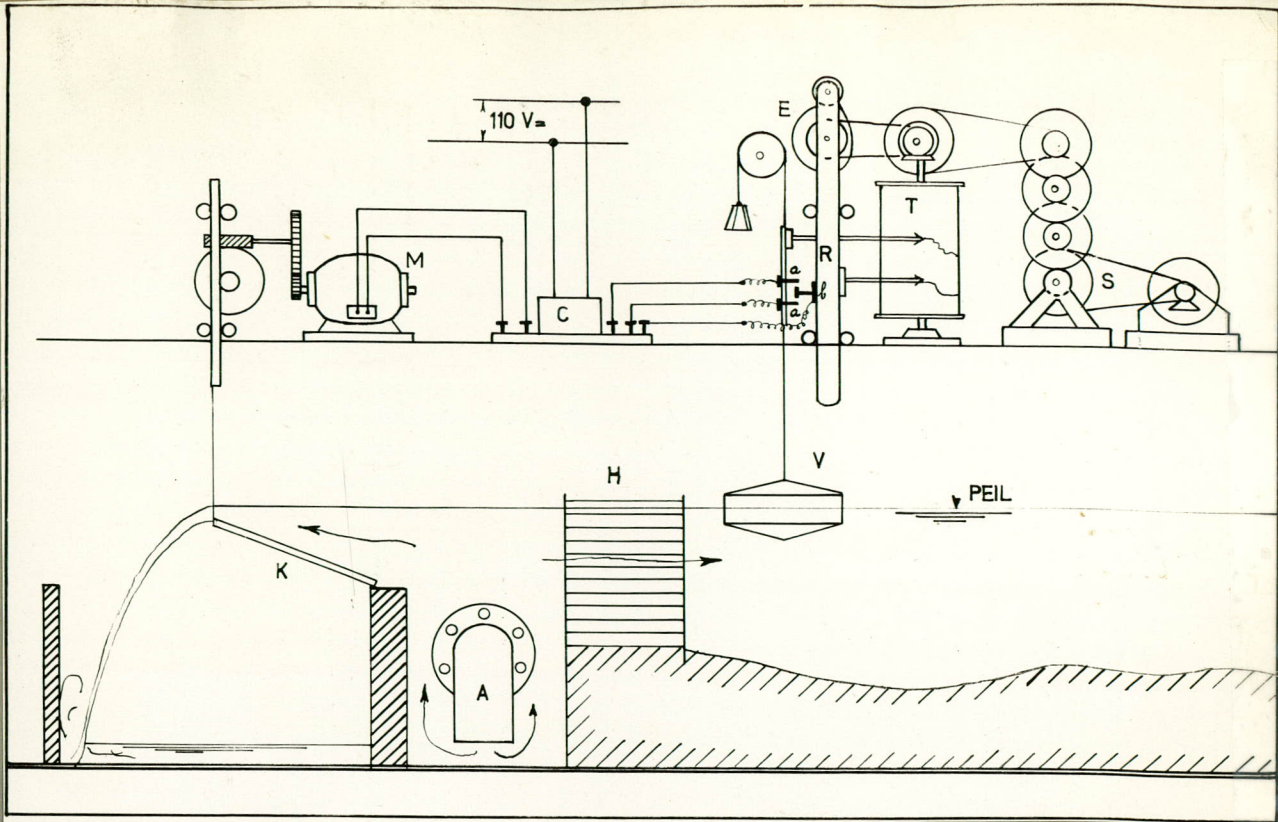
6. Overzicht modelbouw.



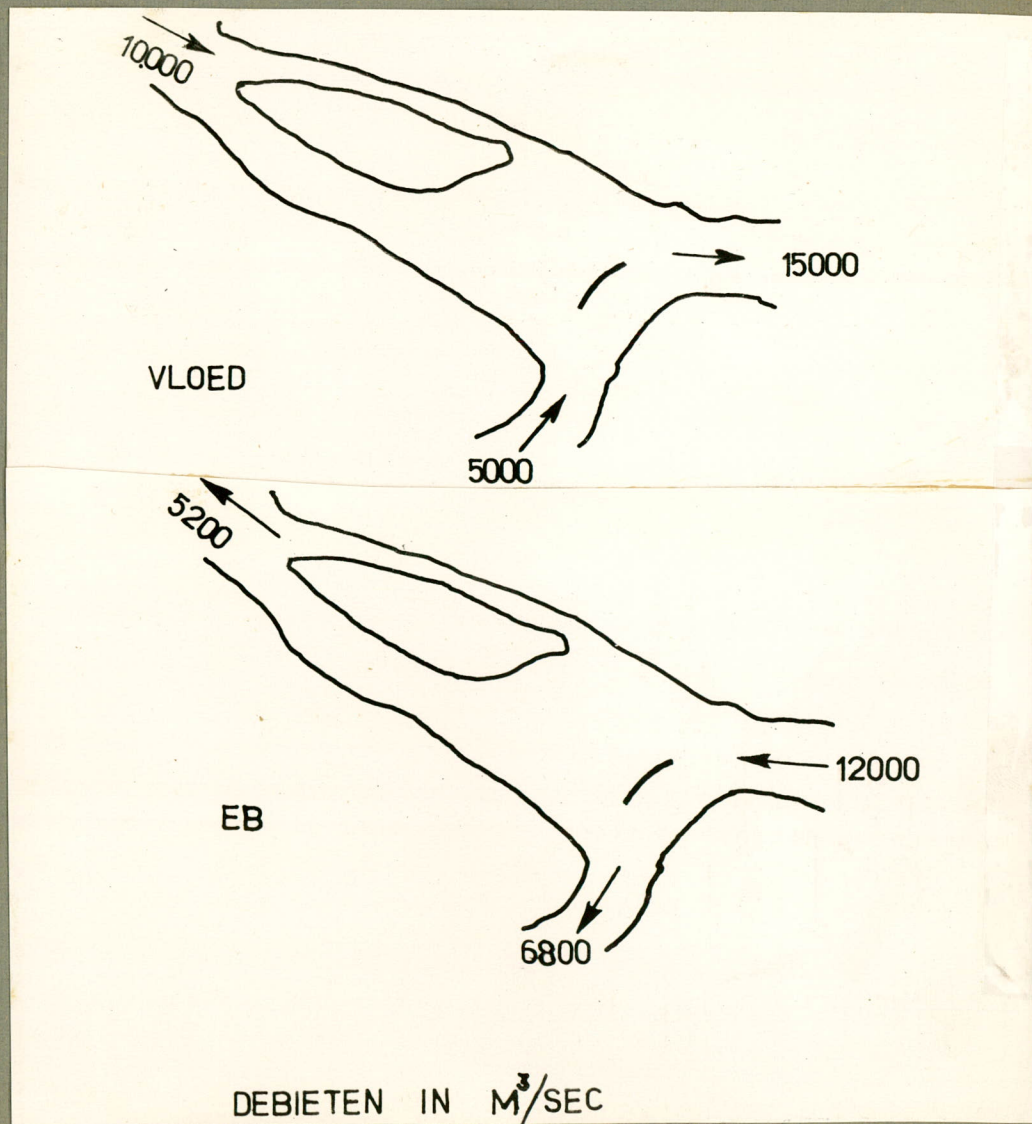
7a. Situatie van het model in het laboratorium.



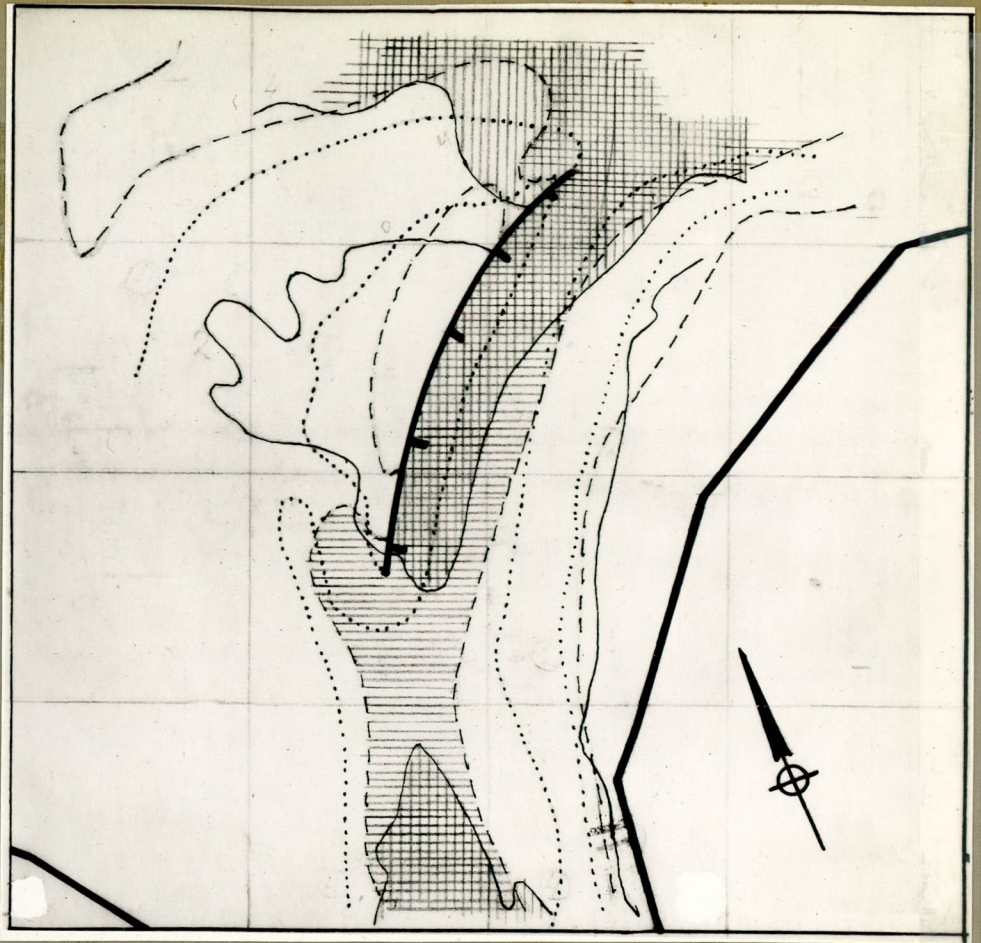
7b. Overzicht van het model met bruinkoolvak.



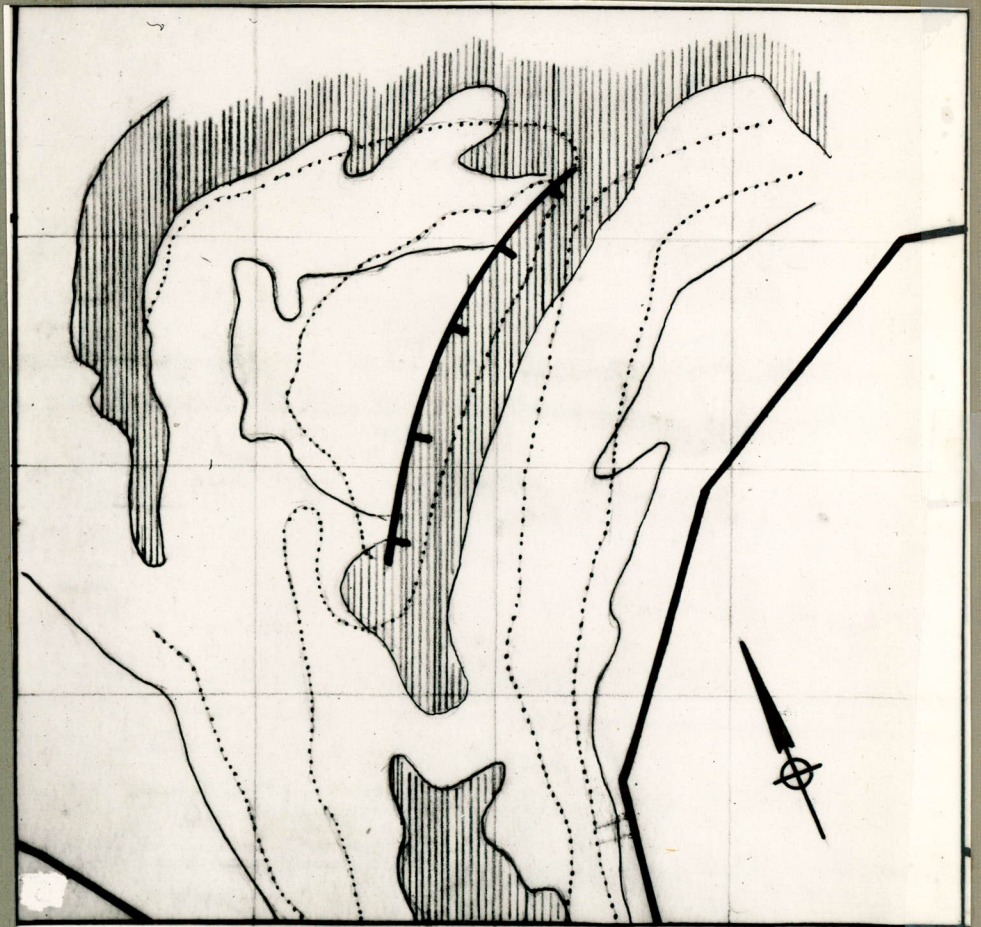
8. Schema van een getijmachine.



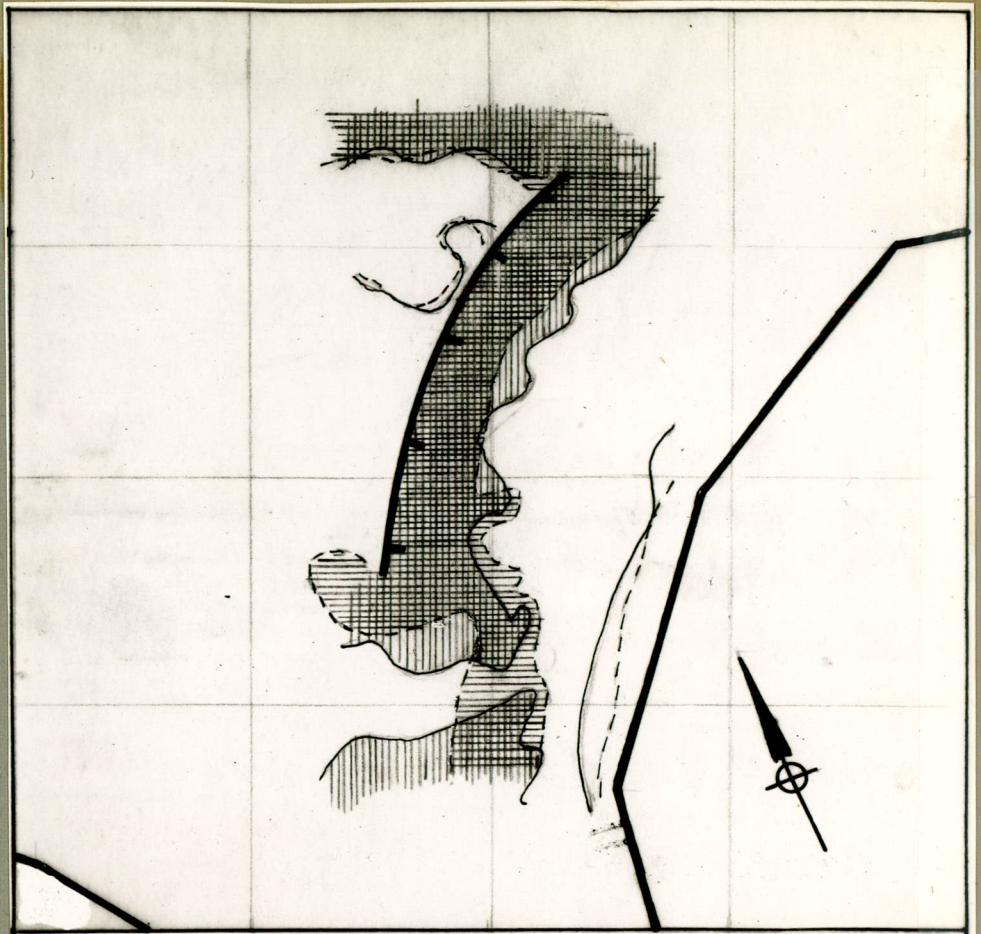
9. Schema met stroomen, die zijn aangehouden.



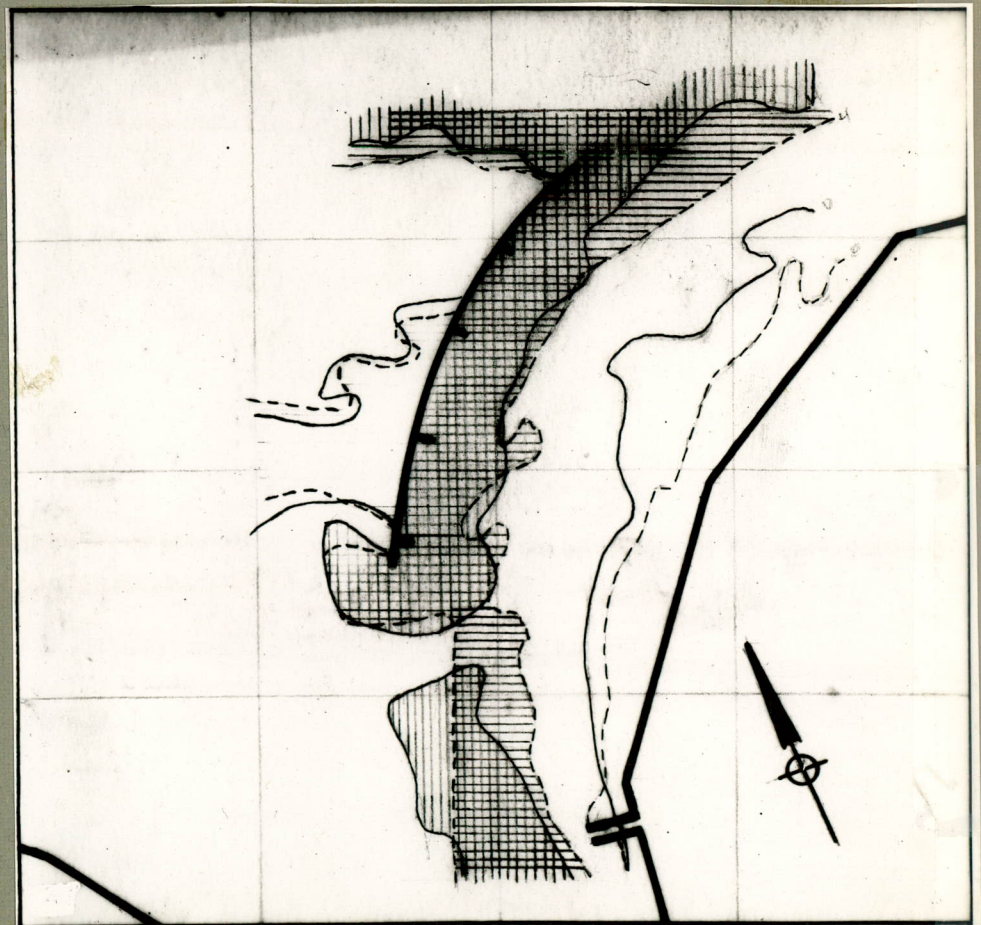
10. Toestand 0; uitsluitend met eb gestroomd,
daarna alleen met vloed



11. Toestand 0; na afwisselend eb en vloed.
.....uitgangstoestand. — na eb. - - - na vloed

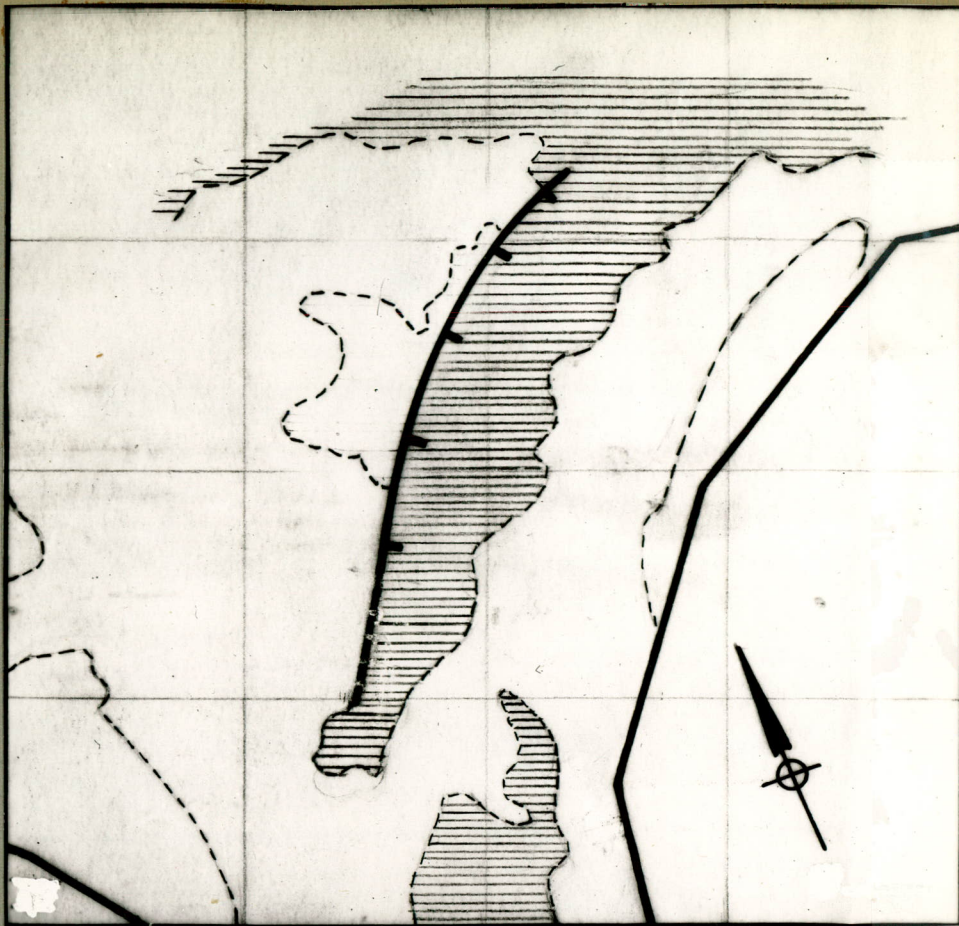


12. Toestand 0; contrôlemeting afwisselend eb en vloed.

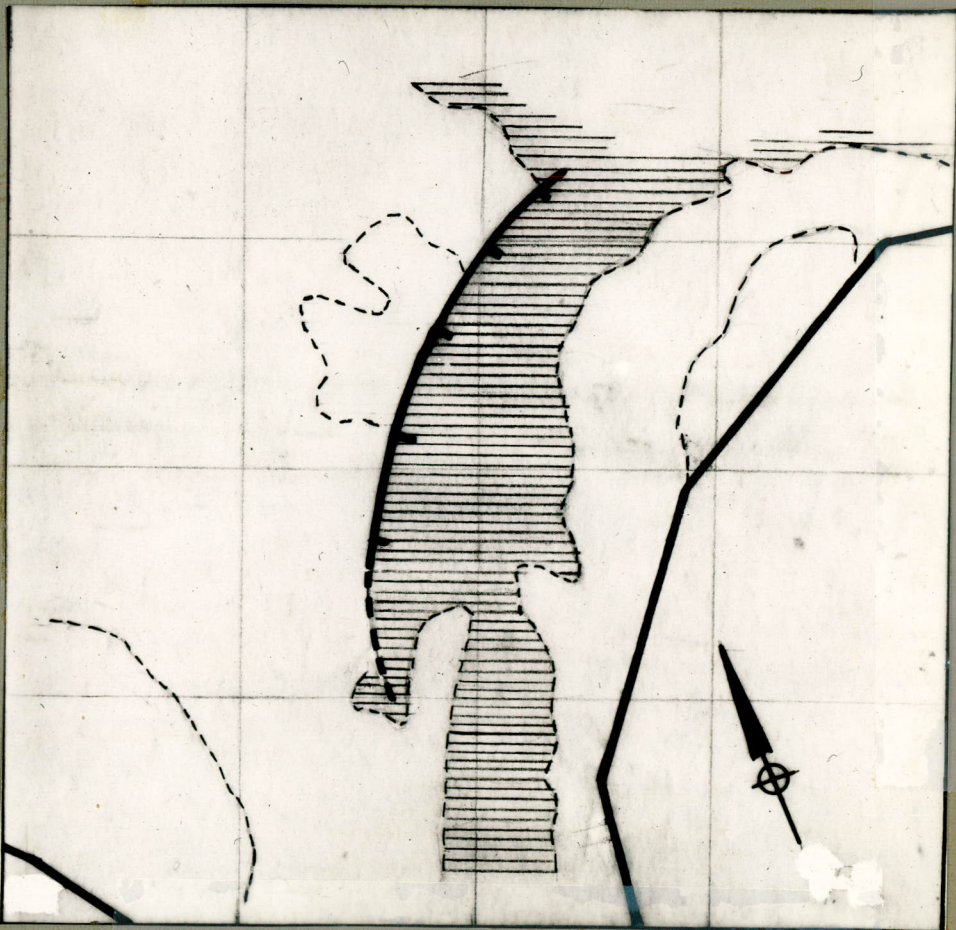


13. Toestand 0 met Helseche haven.

.....uitgangstoestand. — na eb. - - - - na vloed.

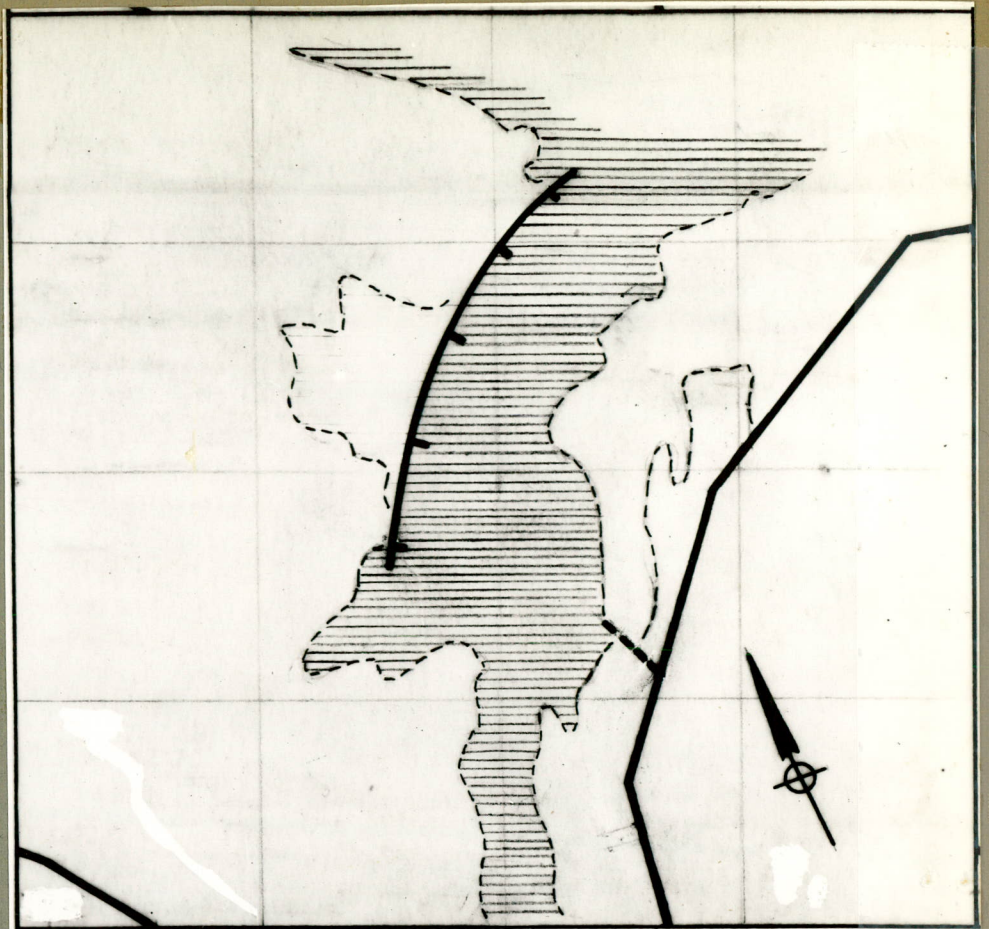


14. Toestand 1.

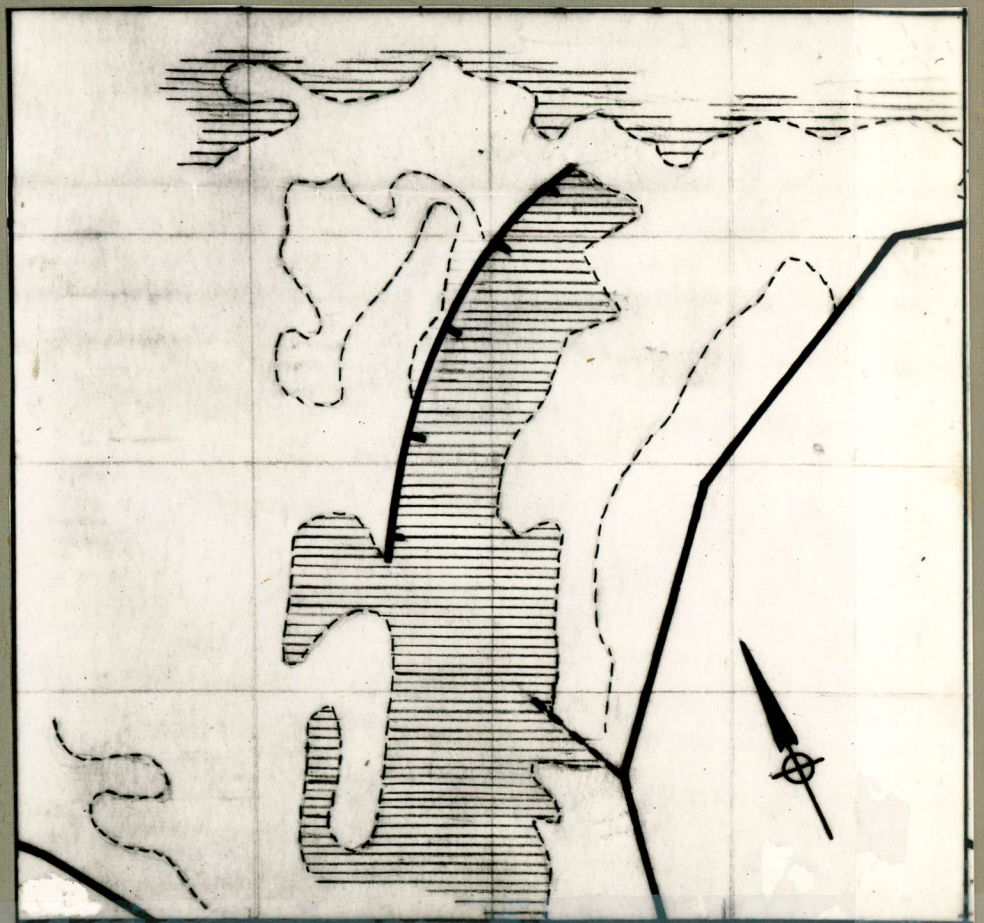


15. Toestand 2.

.....uitgangstoestand. — na eb. - - - - na vloed.

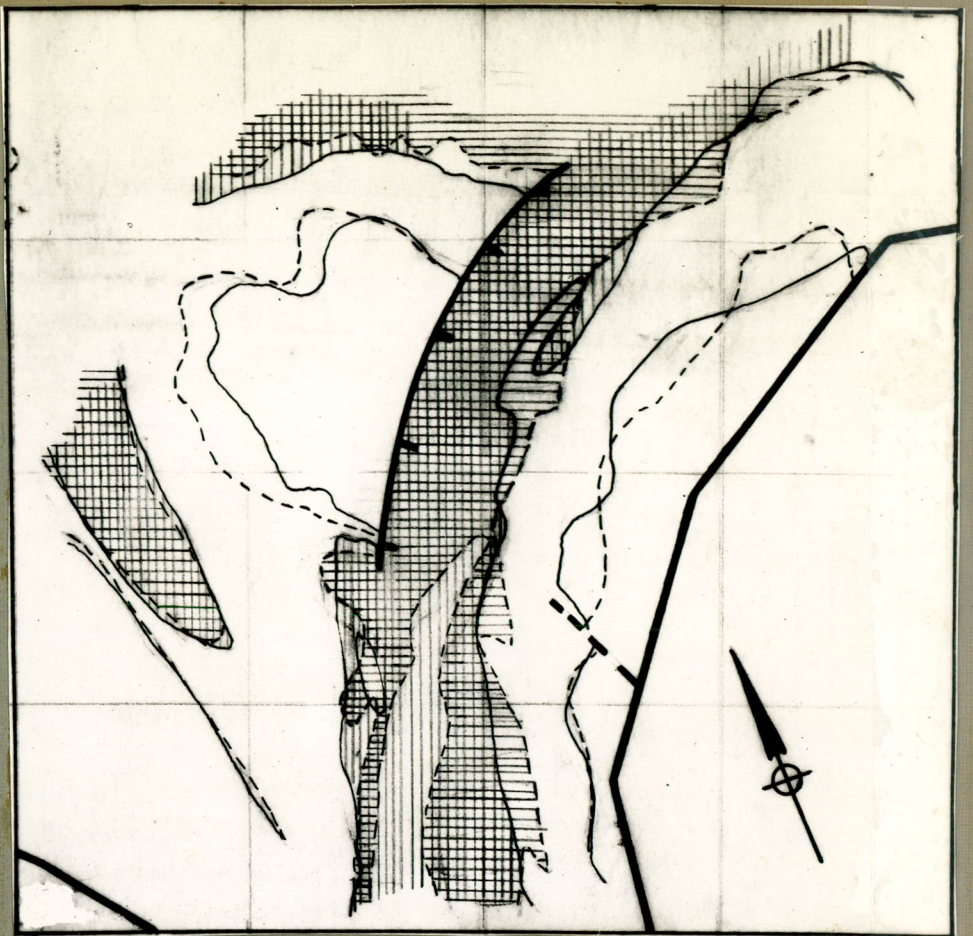


16. Toestand 3.



17. Toestand 4.

.....uitgangstoestand. — na eb. - - - - na vloed.



18. Toestand 5.

.....uitgangstoestand. — na eb. - - - na vloed

Seitz

„Leitz“-Jurismap

Gegarandeerd houtvrij Manilla carton 360 gr/qm. zwaar
in 9 verschillende kleuren

blauw, rood, groen, chamois, grijs, oranje, citroen, bruin, violet.

No. 922 H folio (36×23 c. M.)

No. 924 kwarto en Din (31×23 c. M.)

No. 928 oktavo (25×16 c. M.)

No. 923 Effekten (37×26 c. M.)

No. 925 Muziekmap groot (35,5×27 c. M.)

No. 927 Muziekmap klein (28×18 c. M.)