

165

Dr. J. P. Maxson
Dr. A. Walker

3520

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheek
postbus 600
8200 AP Lelystad



ZUIDERZEEWERKEN
ZUIDELIJKE POLDERS

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheek
postbus 600
8200 AP Lelystad

Met afz. 1

Notagroep II
Waterstaat en hydrologie
no 7

165

BESCHOUWINGEN OVER STROOMEN IN DE VERBINDINGEN
TUSSCHEN MEREN.

door dr. ir. J. P. Mazure

en

ir. A. Volker.

Inhoud.



- § 1. Inleiding.
- § 2. Ervaringen in bestaande verbindingen.
- § 3. Methode ter berekening van de stroomsnelheid in een verbinding.
- § 4. Toetsing van de berekeningsmethode.
- § 5. Aan het verschijnsel verbonden bezwaren en naar aanleiding daarvan te stellen eischen.
- § 6. Maatgevende omstandigheden.
- § 7. Toepassing op een concreet geval.

b
81706 3520

BIJLAGEN.

- A. Friesche merengebied, 1 : 100 000.
- B. Staat van verkregen inlichtingen Friesche merengebied.
- C. Uittreksel uit de waarnemingen in het sluitgat van den Noordoostelijken polder.
- D. Berekeningen van stroomsnelheid en verval in het sluitgat van den Noordoostelijken polder.
- E. Berekende en waargenomen stroomsnelheid en verval in het sluitgat van den Noordoostelijken polder.
- F. Waterstandsveranderingen te Nijkerk (April 1933 - December 1939).
- G. Situatie van IJmeer en Gouwmeer, 1 : 100 000.
- H. Berekeningen betreffende de verbinding tusschen IJmeer en Gouwmeer.

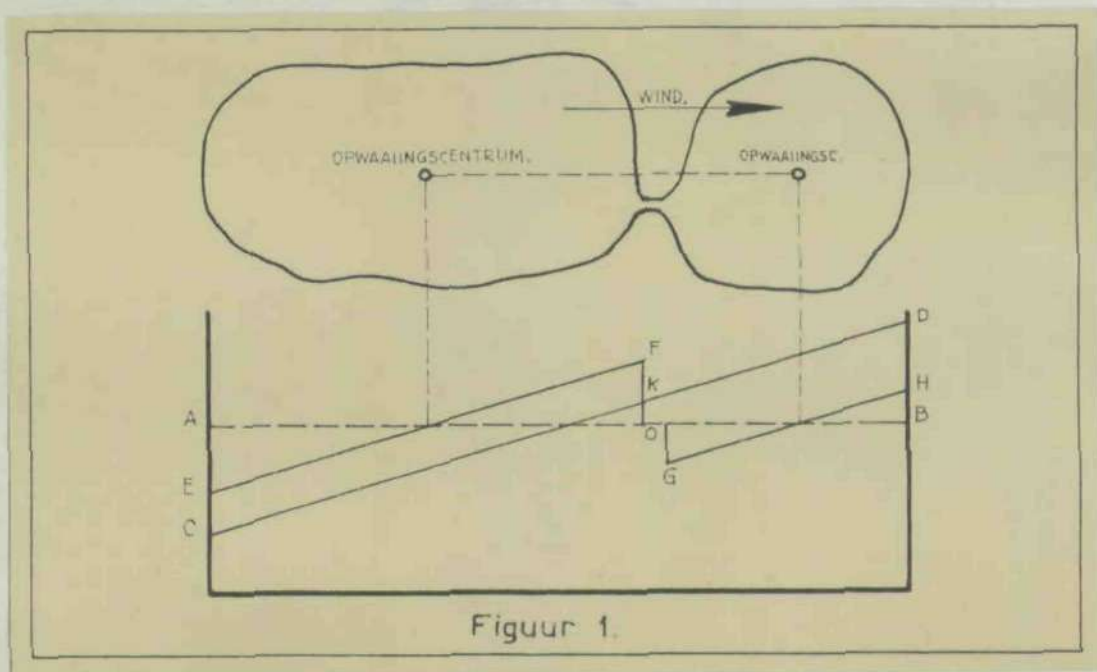
§ 1. INLEIDING.

Indien twee ruime waterbekkens door een betrekkelijk nauwe verbinding met elkaar in gemeenschap staan, kunnen - ook indien geen water behoeft te worden afgevoerd - onder bepaalde omstandigheden door deze verbinding sterke stroomen trekken, die op verschillend gebied bezwaren meebrengen.

Als oorzaak van dergelijke stroomingen kunnen onsymmetrische luchtdrukveranderingen, verschillen in dichtheid en stationnaire winden optreden. Van praktisch belang zijn echter slechts de stroomingen, die ontstaan ten gevolge van veranderingen in den wind.

Onder invloed van een lang aanhoudenden wind van constante richting en sterkte neemt een wateroppervlak een zekere doorgaande helling aan. De theorie van dit verschijnsel wordt hier bekend verondersteld.

Ook voor het samenstel van twee waterbekkens met een nauwe verbinding geldt, dat wind den vorm van het wateroppervlak zal beïnvloeden. Voor de in fig 1 voorgestelde situatie zal derhalve een lang aanhoudende wind volgens de aangegeven richting leiden tot een waterspiegel als voorgesteld door de lijn CD.



Figuur 1.

Het is duidelijk, dat, alvorens deze toestand wordt bereikt, een volume water, dat in doorsnede wordt voorgesteld door KBO, door de nauwe verbinding van het eene meer naar het andere moet zijn gestroomd. Dit zal tijd vereischen en wel te meer,

naarmate de opening nauwer is en de beide meren grooter zijn. In den eersten tijd na het optreden van den wind zal dus niet de gezamenlijke waterspiegel een doorgaande helling vertoonen, doch zal de waterspiegel in elk bekken afzonderlijk opwaaien. Bij snel aangroeienden wind en zeer nauwe verbinding zullen deze aanvankelijke waterspiegels worden voorgesteld door EF en GH. Dit beteekent, dat in de verbinding een verval FG optreedt. Het is dit verval, dat oorzaak van de genoemde sterke stroomen is.

Bij het maken van de Zuidelijke inpolderingen in het IJsselmeer zullen een aantal randmeren ontstaan, die op verschillende plaatsen zullen moeten worden overbrugd ten behoeve van een goede verbinding van de nieuwe polders met het oude land. Dit leidt tot situaties, zooals hiervoor zijn beschreven en de mogelijkheid bestaat derhalve, dat de dientengevolge te verwachten stroomen bezwaren zullen meebrengen, zoowel voor de scheepvaart als op ander gebied. In dat geval zullen maatregelen moeten worden getroffen om deze bezwaren op te heffen of te verminderen.

In het algemeen kunnen de stroomsnelheden in een verbinding tusschen twee waterbekkens op twee manieren worden vermindert en wel:

- 1e. door de verbinding ruimer te maken. De wateruitwisseling tusschen de beide meren vindt dan sneller plaats en de vorm van den waterspiegel zal minder afwijken van de stationnaire opwaaiing, die bij den heerschenden wind behoort. Het verval in de verbinding vermindert dientengevolge.
- 2e. door de verbinding langer te maken. Het optredende verval wordt dan over een grootere lengte verdeeld, waardoor de stroomsnelheid kleiner wordt. Het is daartoe noodzakelijk, dat de verbindingsgeul een min of meer prismatisch profiel bezit zonder sterke vernauwingen, daar anders ter plaatse hiervan de stroomsnelheden toch hoog blijven. Een dergelijke geul, die door zijn weerstand de optredende stroomen vermindert, wordt aangeduid als weerstandsgeul.

In welke richting in een bepaald geval de oplossing gezocht zal worden, hangt van vele plaatselijke omstandigheden af, die niet uitsluitend op waterloopkundig gebied liggen. In de eerste plaats zullen de meerdere kosten van de overbrugging, die door het wijder maken van de verbinding ontstaan, moeten worden vergeleken met de kosten van de leidammen, die de weerstandsgeul moeten begrenzen. Ook andere overwegingen kunnen echter een rol spelen. Voor een nauw contact tusschen den nieuwen polder en het oude land kan het gewenscht zijn, de lengte van de brug te beperken. Indien men in bepaalde gevallen de uitwisseling van water tusschen de twee naburige meren wenscht te beperken, zal een weerstandsgeul de voorkeur verdienen boven een wijde opening. Ook de belangen van de scheepvaart kunnen ten gunste van de eene of de andere oplossing pleiten.

De beslissing ten aanzien van de wijze, waarop een verbinding tusschen twee randmeren van de Zuidelijke polders tot stand moet worden gebracht, zal dus voor elk geval afzonderlijk, met inachtneming van alle plaatselijke omstandigheden, moeten

worden genomen. Het verdient echter aanbeveling, de waterloopkundige eischen, welke aan deze verbindingen moeten worden gesteld teneinde te groote stroomsnelheden te vermijden, als algemeen probleem te onderzoeken.

Te dien einde is in de eerste plaats getracht, ervaringen te verzamelen omtrent bestaande situaties, die vergelijkbaar zijn met die, welke bij de randmeren van de Zuidelijke polders zijn te verwachten (§ 2). Vervolgens is in § 3 een methode ontwikkeld ter berekening van de stroomsnelheden, die bij gegeven verloop van den wind in gegeven situaties zijn te verwachten. Deze berekeningsmethode is getoetst aan gegevens, die bij het in § 2 vermelde onderzoek zijn verkregen (§ 4). Na dit, op een verklaring en weergeving van de verschijnselen gerichte onderzoek volgt in § 5 de behandeling van de vraag, welke verschijnselen nog als toelaatbaar zijn te beschouwen (§ 5).

Indien men de geschetste gang van zaken vergelijkt met de berekening van een bouwconstructie kan men zeggen, dat § 2 overeenkomt met het observeeren van het gedrag van overeenkomstige constructies, dat § 3 het pendant is van de statica, die bij gegeven belastingen en afmetingen de spanningen leert afleiden en dat § 5 het onderzoek naar de toe te laten spanningen weergeeft. Terwijl men echter bij de toegepaste mechanica kan uitgaan van maximale belastingen, is dit hier niet het geval; de meteorologische omstandigheden vertoonen geen maximale waarden, doch een frequentieverdeeling. Ook hetgeen toelaatbaar wordt geacht, zal dus slechts kunnen worden opgegeven onder vermelding van de maximale frequentie, waarmede het mag worden overschreden.

In verband hiermede diende voor de toepassing van de in § 5 verkregen regels in § 6 nog een onderzoek te worden uitgevoerd naar de frequentie van snelle veranderingen in de opwaaiing, daar hieromtrent geen gegevens bestonden. Als toepassing is tenslotte in § 7 één bepaald geval nader onder oogen gezien.

§ 2. ERVARINGEN IN BESTAANDE VERBINDINGEN.

Het was van belang, na te gaan in hoeverre de in de vorige paragraaf beschreven verschijnselen in de practijk tot uiting komen en daar tot moeilijkheden of bezwaren leiden.

Het Friesche merengebied kwam daarvoor in de eerste plaats in aanmerking. De lengte- en diepteverhoudingen van deze meren zijn bevorderlijk voor het ontstaan van opwaaiingsverschijnselen van dezelfde orde van grootte als in de randmeren van de Zuidelijke polders in het IJsselmeer zijn te verwachten en de drukke scheepvaart in dit gebied waarborgt, dat de praktische gevolgen van stroomen in de verbindingen tusschen de meren niet onbemerkt zullen blijven. Een bezwaar is slechts, dat de toestand in Friesland zeer ingewikkeld en onoverzichtelijk is, doordat een groot aantal meren en verbindingen invloed op elkaar uitoefenen. Dientengevolge is het niet wel mogelijk, de hier optredende verschijnselen theoretisch te berekenen en dus is het ook niet mogelijk, waarnemingen in dit gebied te bematten voor een kwantitatieve toetsing van de voor eenvoudige gevallen opgestelde theorie (zie § 3).

Om deze reden is bovendien gebruik gemaakt van de waarnemingen bij het sluitgat van den dijk van den Noordoostelijken polder. Door de groote oppervlakken der betreffende bekkens en de groote stroomsnelheden, die optraden, is dit geval niet zoo direct vergelijkbaar met de randmeren e.d. van de Zuidelijke polders, doch de eenvoudige constellatie maakt het bij uitstek geschikt voor een toetsing van de theorie.

A. Ervaringen in het Friesche merengebied.

De Friesche merenstreek bestaat uit een reeks van meren, die op verschillende punten door betrekkelijk nauwe openingen met elkaar in verbinding staan. Bijlage A geeft hiervan een overzicht.

De verbindingen zijn van tweeërlei aard; op enkele plaatsen bestaan ze uit een brugopening in een scheidingsdam (Galamadammen, brug Oude Weg en Terhornereschutsluis), doch meestal worden ze gevormd door vrij lange, betrekkelijk nauwe kanalen, waarin één of meerdere overbruggingen voorkomen (draaibrug Scharster Rijn, drasibrug Jelteloot, draaibruggen Follegasloot, draaibrug Woudsend enz.).

Stroommetingen of andere exacte waarnemingen betreffende de windstroomen zijn in dit gebied nagenoeg niet verricht. Het onderzoek was derhalve in hoofdzaak van kwalitatieven aard. Op velerlei punten werd geïnformeerd bij bewoners ter plaatse, of er stroomsnelheden optraden en zoo ja, of daardoor de scheepvaart hinder van werd ondervonden. In het bijzonder werd navraag gedaan bij bruggen en sluizen, daar verwacht kan worden, dat de moeilijkheden daar culmineeren. In bijlage B is een overzicht gegeven van de daarbij verkregen inlichtingen. Voor aandauiding der plaatsnamen kan naar bijlage A verwezen worden.

Hieruit wordt dezerzijds het volgende geconcludeerd.

In de eerste plaats bleek, dat bij stormachtige winden het optreden van belangrijke stroomsnelheden in de verbindin-

gen tusschen de meren een verschijnsel is van algemeene bekendheid. De volksmond zegt, dat dan "het water van het eene meer in het andere wordt gezet". In alle kanalen, vaarten en openingen treedt dit op. In overeenstemming met de theorie bleek het, dat het oogenblik van sterkste stroom niet steeds samenvalt met dat van grootste windsnelheid, terwijl bij aanhoudender storm de stroomsnelheid weer afneemt. Ook bij vermindering van den wind treden stroomsnelheden op, ditmaal tegengesteld gericht.

Wat de hinder betreft door de scheepvaart ondervonden, werd geconstateerd, dat bij de eerste categorie verbindingen (bestaande uit een enkele opening) de grootste bezwaren werden ondervonden. Eenige malen per jaar zijn afgeladen motorschepen gedwongen zich met behulp van lieren door de opening te werken.

Bij de tweede categorie werd in de vaarten en kanalen zelf nooit hinder van beteekenis ondervonden. Dit is ongetwijfeld hieraan toe te schrijven, dat deze vaarten, waarvan het dwarsprofiel niet sterk varieert, als weerstandsgeulen fungeren.

Minder gunstig was het echter gesteld bij de bruggen, die over deze kanalen voorkomen. Bij vele dezer, die een plaatselijke vernauwing van het dwarsprofiel vormen, werden eveneens klachten vernomen over den hinder door de scheepvaart ondervonden. Uiteraard deden zich deze klachten niet voor bij bruggen, welke door de aanwezigheid van stroomopeningen practisch geen vernauwing van het kanaalprofiel veroorzaken. Door de sluiswachters der andere bruggen werd de groote weerstand, door de schepen ter plaatse ondervonden, dan ook toegeschreven aan het ontbreken van zoodanige stroomopeningen.

De bezwaren, die aan het doorvaren van een plaatselijke vernauwing verbonden werden geacht, bleken in hooge mate af te hangen van de situatie en de detaillering van het kunstwerk. Ligging in een recht kanaalvak, ruime wachtplaatsen en voldoende remmingwerken zijn factoren, welke in sterke mate bepalen of een bepaald kunstwerk als een beteekenende hinderenis wordt beschouwd. De indruk is verkregen, dat verschillen in dit opzicht van meer beteekenis zijn dan een relatief vrij belangrijk verschil in de maximale stroomsnelheden, die in de opening kunnen voorkomen.

Een soortgelijke ervaring werd destijds opgedaan bij het onderzoek naar de vraag bij welk verval schepen nog door een openstaande sluis konden varen zonder te grooten weerstand te ondervinden bij het varen tegen den stroom in en zonder te veel gevaar te loopen bij het varen met den stroom mee. Ook toen werd gevonden, dat ligging en detaillering van meer belang zijn dan een grooter of kleiner profiel (indien dit tenminste uitgaat boven een minimum maat, die slechts weinig groter is dan de doorsnede van het betrokken schip).

Dit verklaart ook, dat schippers soms meenen in de eene sluis of brug meer stroom te constateeren dan in een andere, hoewel daar hydraulisch geen redenen voor aanwezig zijn.

B. Waarnemingen in het sluitgat van den dijk om den Noordoostelijken polder.

Door den bouw van den dijk ten behoeve van den aanleg van den Noordoostelijken polder werd een deel van het IJsselmeer ter grootte van 48 000 ha afgescheiden van het overblijvende wateroppervlak (302 000 ha). De opening, die overblijft nadat de dijk over het grootste gedeelte van den omtrek reeds boven water is gekomen, noemt men sluitgat. Dit vormt dan de verbinding tusschen beide bekkens (fig 2). In beginsel is de situatie analoog aan die van fig 1; dat het eene meer het andere omvat, doet hieraan niets af.

Tijdens het dichten van de laatste opening, in de periode van 10 Juli tot 12 December 1940 zijn vele waarnemingen verricht betreffende het verval en de stroomsnelheid in het sluitgat. Een overzicht hiervan wordt gegeven in bijlage C.

Uit deze bijlage blijkt, dat tijdens een gedeelte van de periode de stroommetingen geacht moeten worden niet voldoende betrouwbaar te zijn. Op de resterende dagen bestaat een bevredigende overeenstemming tusschen de metingen van het verval en de stroomsnelheid. Door verschillende omstandigheden, o.a. omdat de punten, waartusschen het verval is bepaald, niet vlak bij het gat liggen, doch op eenigen afstand ervan, is de relatieve nauwkeurigheid van de kleine vervallen gering. Voor de kwantitatieve controle, op grond waarvan de bovenstaande conclusie is getrokken, zijn derhalve in hoofdzaak de dagen gebruikt, waarop een verval van tenminste 10 cm is waargenomen. De betreffende gegevens zijn verzameld in tabel 5 van bijlage C.

Tot 23 October is alle scheepvaart van en naar het Zwarte Water door het sluitgat gegaan. Eerst op 24 October is de nieuwe vaarweg door Zwarte Meer en Ramsdiep voor de scheepvaart opengesteld. In de periode van begin September tot 23 October bedroeg het gemeten verval bij ongeveer 20 % van het aantal waarnemingen 5 cm of meer (vergelijk tabel 2 van bijlage C), hetgeen globaal overeenkomt met een stroomsnelheid in het sluitgat van 0,9 m/sec. Vervallen van meer dan 10 cm (overeenkomende met een snelheid van ongeveer 1,4 m/sec) kwamen op verscheidene dagen voor. Het maximale waargenomen verval bedroeg 28 cm, de maximale stroomsnelheid 2,17 m/sec.

Hoewel het de vraag is, of een dergelijke toestand ook blijvend voor de scheepvaart te aanvaarden zou zijn, zijn in de genoemde periode geen klachten geuit en weinig bezwaren ondervonden. Slechts een enkele maal is een schip bij het tegen den stroom invaren door één der aanwezige booten geholpen. Varen met stroom mee heeft nimmer aanleiding gegeven tot moeilijkheden. Een gunstige omstandigheid was daarbij uiteraard, dat de breedte in het sluitgat steeds ruim was.

§ 3. METHODE TER BEREKENING VAN DE STROOMSNELHEID IN EEN VERBINDING.

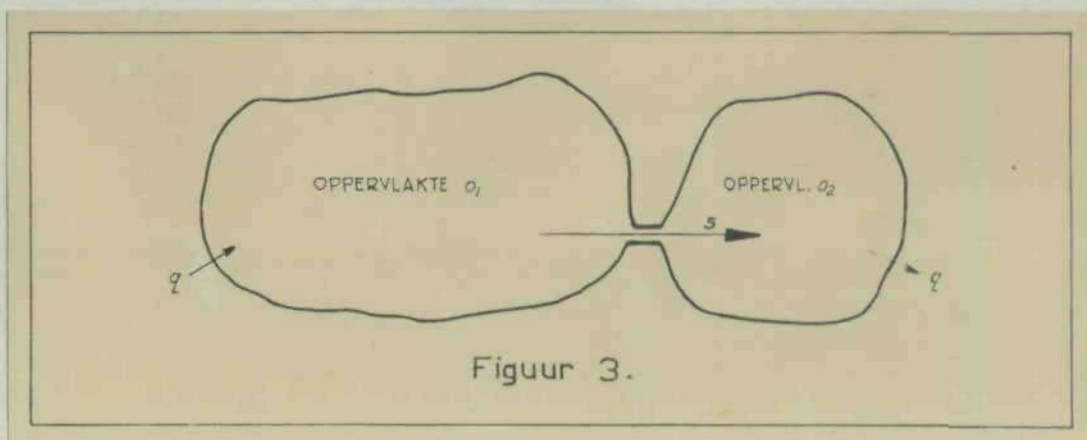
Om te kunnen nagaan, of een ontworpen verbinding tusschen twee te scheppen waterbekkens aan de te stellen eischen voldoet, is het noodzakelijk, door betrouwbare theoretische berekeningen een indruk te kunnen verkrijgen van de verschijnselen, die zich in een dergelijke verbinding zullen voordoen.

Zooals in § 2 reeds is aangegeven, ontstaat het verval in de verbinding, doordat wegens de beperkte capaciteit ervan een verandering van den wind zich aanvankelijk op elk meer zelfstandig doet gevoelen. Indien de verbinding zeer nauw is, kan de invloed van de doorstroomende waterhoeveelheden op het peil van de beide meren in eerste benadering worden verwaarloosd en zal de op- en afwaaiing op elk meer zich practisch onafhankelijk van het andere meer ontwikkelen (EF en GH in fig 1).

Bij een wind, loodrecht op de verbindinglijn van de beide zwaartepunten der meren zal deze op- of afwaaiing nul zijn, indien de verbinding eveneens in de genoemde lijn is gelegen, of, indien dit niet het geval is, zal de opwaaiing ter plaatse van de verbinding op elk meer ongeveer gelijk zijn (dit geldt exact, indien de diepte van de beide meren gelijk is en bij benadering, indien dit niet het geval is, tenzij er zeer groote verschillen in diepte bestaan). Een dergelijke wind zal dus geen noemenswaard verval in de verbinding veroorzaken.

Daarentegen zal een windcomponente volgens de verbindinglijn van de beide zwaartepunten ter plaatse van de verbinding op het eene meer opwaaiing, op het andere afwaaiing veroorzaken en dus een verval veroorzaken, dat aanleiding geeft tot een stroom door de verbinding. De waterverplaatsing door dezen stroom geeft op het opgewaaide meer aanleiding tot peilverlaging en op het afgewaaide meer tot peilverhooging, hetgeen het verval doet verminderen. Bij een lang aanhoudenden wind van constante richting en kracht zal op den duur het verval geheel verdwijnen en een doorgaande opwaaiing over de beide meren tot stand komen (CD in fig 1).

Bij de wiskundige behandeling zal worden uitgegaan van het geval, dat er ook een permanente stroom door de verbinding trekt, omdat het ééne meer op het andere afwatert. Dit wordt in de berekening ingevoerd door aan het ééne meer permanent een hoeveelheid water q toe te voegen en dezelve hoeveelheid aan het andere meer te onttrekken.



Figuur 3.

Uit den wind, die als functie van den tijd gegeven is, kan met behulp van een formule voor de opwaaiing de op- en afwaaiing aan weerszijden van de verbinding worden berekend. De som van deze beide grootheden zij aangeduid door W . Het verschil in waterstand tusschen de beide meren als geheel wordt y genoemd. Dit verandert onder invloed van de doorstroo- mende hoeveelheden s . Tusschen s en het verval in de verbin- ding z bestaat een betrekking, die afhangt van de grootte, lengte en aard van de verbinding, doch waarbij s in elk geval evenredig is met \sqrt{z} .

Een en ander kan als volgt in formules worden uitgedrukt:

$$s = y + W \quad (1)$$

$$-\frac{dy}{dt} = \frac{s}{o_1} + \frac{s}{o_2} - \frac{q}{o_1} - \frac{q}{o_2} = \frac{s - q}{o} \quad (2)$$

$$s = \pm A \sqrt{z} \quad (3)$$

Hierin treden als bekende coëfficiënten op: o_1 en o_2 , de oppervlakten der beide meren; o , een gereduceer- de oppervlakte, bepaald door:

$$o = \frac{o_1 o_2}{o_1 + o_2};$$

A , de coëfficiënt, welke het verband tusschen stroom en ver- val aangeeft. Op de bepaling van A wordt nader teruggekomen.

Integratie van (2) levert:

$$y = y_0 - \int \frac{s - q}{o} dt.$$

Indien als uitgangstoestand wordt genomen een station- naire toestand zonder wind geldt:

$$y_0 = z_0 \text{ en } s_0 = q, \text{ of}$$

$$y_0 = \frac{q^2}{A^2}.$$

Dus:

$$y = + \frac{q^2}{A^2} - \int \frac{s - q}{o} dt \quad (4)$$

$$z = y + W = W + \frac{q^2}{A^2} - \int \frac{s - q}{o} dt \quad (5)$$

Met behulp van de vergelijkingen (3) en (5) kan elke toestand stapsgewijs worden berekend. Indien men de ontwikke- ling tot een tijd t_1 heeft berekend, kan men den toestand op een volgend tijdstip t_2 vinden door eerst een schatting te maken van s ten tijde t_2 , daarna de in (5) voorkomende inte- graal te berekenen, vervolgens uit (5) z en tenslotte uit (3) s te bepalen. Daarna kan men zoo noodig een verbeterde waarde van de integraal bepalen.

Wordt slechts de maximale waarde van den stroom gevraagd, terwijl de opwaaiing zich regelmatig uit een evenwichtstoe- stand heeft ontwikkeld, zoo kan de berekening worden bekort. De tijd, waarin de toestand zich heeft ontwikkeld, wordt aan- geduid door T , terwijl de maximale waarde van den stroom door s_T wordt aangegeven. De waarde van de integraal kan dan wor-

den geschreven als:

$$\frac{\alpha(st - q)T}{0}$$

Indien de grootheid $s - q$ gelijkmatig van nul tot het maximum zou zijn gestegen, zou de coëfficiënt α de waarde $\frac{1}{3}$ verkrijgen. Dit is echter weinig waarschijnlijk. Meer aannemelijk is een parabolisch verloop, waarbij een waarde α van $\frac{2}{3}$ behoort. Daarmede kan (5) voor het tijdstip T worden geschreven als:

$$z_T = W_T + \frac{q^2}{A^2} - \frac{2(st - q)T}{30}$$

of na substitutie uit (3):

$$z_T = W_T + \frac{q^2}{A^2} + \frac{2qT}{30} \pm \frac{2TA}{30} \sqrt{z_T} \quad (6)$$

Voor W_T (positief) (negatief) geeft dit (indien met W en z de absolute waarden worden aangeduid):

$$z_T = W_T \pm \frac{q^2}{A^2} \pm \frac{2qT}{30} - \frac{2TA}{30} \sqrt{z_T} \quad (6a)$$

of:

$$z_T = W_T \pm \frac{q^2}{A^2} \pm \frac{2qT}{30} + \frac{2T^2 A^2}{90^2} \pm \frac{2TA}{30} \sqrt{\frac{T^2 A^2}{90^2} + W_T \pm \frac{q^2}{A^2} + \frac{2qT}{30}} \quad (7)$$

Indien men voor $\frac{q^2}{A^2}$ (het verval in den stationnairen toestand zonder wind) z_0 stelt en voor $\frac{2TA}{30} : m$, zoo kan deze formule worden geschreven als:

$$z_T = W_T \pm z_0 \pm mVz_0 + \frac{1}{4}m^2 - m\sqrt{\frac{1}{4}m^2 + W_T \pm z_0} \pm mVz_0 \quad (7a)$$

Thans rest nog een bespreking van den coëfficiënt A. Het bepalen hiervan is een bekend probleem van de hydraulica en komt neer op het vaststellen van de energieverliezen, die met een stroom s door de verbinding gepaard gaan. Deze verliezen kunnen worden onderscheiden in wrijvingsverliezen en vertragingverliezen. Wrijvingsverliezen treden in de eerste plaats op in de verbindingsgeul tusschen de beide meren, doch bovendien zal ook de convergeerende toestrooming in het eene en de divergeerende afstrooming in het andere meer met wrijvingsverlies gepaard gaan.

Het eerstgenoemde verlies is betrekkelijk eenvoudig te berekenen; voor een prismatisch kanaal bedraagt het:

$$\frac{s^2 l}{C^2 F^2 R}$$

(waarin F het dwarsprofiel, R de hydraulische straal en l de lengte van het kanaal, terwijl C den coëfficiënt van Chézy voorstelt).

Ter berekening van de wrijving bij het toestroomen kan men op het gevoel stroomlijnen teekenen en aan de hand daarvan het verlies berekenen. Indien de mond van de verbinding midden in een lange rechte kust valt, levert dit als uitkomst:

$$\frac{4}{\pi^2} \frac{s^2}{c^2 h^3 b}$$

(waarin h de diepte van het meer en b de breedte van den mond voorstelt).

De stroomlijnen bij de afstroming worden in hooge mate beheerscht door de relatieve beteekenis van den weerstand ten opzichte van het vertragsingsverlies bij de uitstroming. Dit laatste is bij kleinen weerstand gelijk aan:

$$\frac{s^2}{F^2 2g}$$

Bij andere verhoudingen is in het algemeen een nauwkeurige berekening van het vertragsingsverlies en het wrijvingsverlies bij de afstroming niet goed mogelijk; men zal echter steeds tot een aanvaardbare benadering komen, indien men voor het vertragsingsverlies de bovenstaande waarde neemt en het wrijvingsverlies gelijk stelt aan het wrijvingsverlies bij de toestrooming.

De vertragsingsverliezen worden hoofdzakelijk gevormd door het hiervoor reeds genoemde uitstromingsverlies; daarnaast kunnen in bijzondere gevallen verliezen ontstaan door contractie of door profielsveranderingen in de verbindingegeul. Ziet men hiervan af, dan wordt het totale energieverlies dus

$$z = \frac{s^2 l}{c^2 F^2 R} + \frac{8}{\pi^2} \frac{s^2}{c^2 h^3 b} + \frac{s^2}{F^2 2g}$$

zoodat de coëfficiënt A wordt:

$$A = \frac{1}{\sqrt{\frac{l}{c^2 F^2 R} + \frac{8}{\pi^2} \frac{1}{c^2 h^3 b} + \frac{1}{2gF^2}}} \quad (8).$$

Opmerking.

Bij ontbreken van een verbindingegeul - dus b.v. ook bij het geval van een sluitgat in een meerdijk - treedt een contractie van den stroom op. Hiermede kan rekening worden gehouden door in de formule voor toestroomings- en afstromingsweerstand voor b te nemen de breedte in de gecontracteërde doorsnede. In de formule voor het vertragsingsverlies dient dan tevens voor F het gecontracteërde profiel te worden gesubstitueerd.

§ 4. TOETSING VAN DE BEREKENINGSMETHODE.

De in de vorige § beschreven methode, die ook heeft gediend tot het voorspellen van de in het sluitgat van den Noordoostelijken polder te verwachten stroomen, kan aan de bij dit gat verrichte waarnemingen worden getoetst.

Bij het opstellen van de verwachting ten aanzien van de stromen zijn verscheidene gevallen berekend, die uiteraard in werkelijkheid niet zijn voorgekomen en die dus niet voor een vergelijking geschikt zijn. Voor dit doel is het aangewezen, enkele waargenomen omstandigheden na te rekenen volgens dezelfde methode, die voor de voorspelling heeft gediend.

De waarde van de opwaaiing W is niet afgeleid uit den wind. Hoewel meermalen is gebleken, dat de opwaaiingsformule:

$$\eta = 0,036V^2 \cos \varphi \times \frac{\ell}{d} \quad (9),$$

(waarin η de opwaaiing over een bepaald traject in cm, ℓ de lengte van het traject in km, d de maatgevende diepte in m, V de windsnelheid in m/sec en φ de hoek tusschen de windrichting en het traject voorstelt), de opwaaiingsverschijnselen op het IJsselmeer behoorlijk weergeeft, wordt de nauwkeurigheid toch ver groot, indien de waterstanden op het IJsselmeer zelve als maatstaf voor de opwaaiing worden genomen.

Het best geschikt hiervoor zijn de punten Enkhuizen en Lemmer. Dit traject is nagenoeg evenwijdig aan de verbindingslijn van de zwaartepunten van het IJsselmeer en den Noordoostelijken polder. Wat de waarde van φ betreft, geldt, dat de afstand van Enkhuizen tot Lemmer ($32 \frac{d}{8}$ km) grooter is dan de afstand van de beide zwaartepunten (28 km), doch hiertegenover staat, dat op het eerste traject ook de diepten in het algemeen grooter zijn. Beide factoren tezamen leiden tot de conclusie, dat de grootheid W kan worden aangenomen op 95 % van het waterstandsverschil tusschen Lemmer en Enkhuizen.

De waarde van W blijkt in de onderzochte gevallen zoo sterk te varieeren, dat de formules (6) en (7) niet mogen worden toegepast, doch met de formules (3) en (5) moet worden gewerkt. Nage-rekend zijn de volgende perioden:

29 Augustus, de dag met de grootste stroomsnelheden en vervallen in de eerste periode van de sluiting;

11, 12, 13 November, drie stormachtige dagen bij een sluitgatlengte van 550 - 600 m;

5, 6 December, de dagen met de ongunstigste toestanden in het sluitgat.

De berekeningen zijn voor één geval uitvoerig weergegeven in bijlage D; de resultaten zijn verzameld in de figuren van bijlage E. Zij zijn daarbij vergeleken met de beschikbare waarnemingen. Deze vergelijking is afzonderlijk uitgevoerd voor de stroomsnelheden en voor de vervallen.

Beschouwing van deze figuren leidt tot de volgende conclusies

1. De algemeene gang van de verschijnselen wordt door de theorie op goede wijze weergegeven. Dat de snelheden en vervallen op 11 - 12 November op een hooger niveau lagen dan op 29 Augustus, doch werden overtroffen door die van 5 - 6 December volgt ook uit de berekening. De opvallende omkeering van het verval, zooals deze op 29 Augustus en 12 November is waargenomen, wordt door de berekening treffend juist weergegeven.

2. Tusschen de afzonderlijke waarnemingen en de voor denzelfden tijd door de theorie voorspelde waarden bestaat in een aantal gevallen zeer goede overeenstemming, doch in andere gevallen treden vrij groote afwijkingen op.

3. Bij de vraag, of deze afwijkingen moeten worden toegeschreven aan tekortkomingen van de theorie, dient in de eerste plaats te worden bedacht, dat bij storm de verschijnselen op het IJsselmeer zeer grillig zijn en dat, zooals meermalen, o.a. bij het onderzoeken van stormen, is gebleken, ~~dat~~ de wind en dus ook het opwaaiingsgetal op verschillende trajecten onderling vaak vrij sterk kunnen afwijken. Hoewel de opwaaiing tusschen Enkhuizen en Lemmer de beste maatstaf is voor de opwaaiing tusschen de zwaartepunten van IJsselmeer en Noordoostelijken polder, zijn afwijkingen zeer goed mogelijk.

In de tweede plaats zijn de waterstandswaarnemingen niet in de onmiddellijke nabijheid van het sluitgat verricht, zoodat de waargenomen vervallen niet identiek behoeven te zijn aan de vervallen in het sluitgat.

In de derde plaats blijkt duidelijk, dat groote afwijkingen tusschen theorie en waarneming vooral optreden, indien gegronde reden bestaat om aan de betrouwbaarheid van de waarneming te twijfelen. In de periode 11 - 13 November is de eenige waarneming, die sterk afwijkt van de berekende waarde, die op 12 November te 13 uur. Terwijl in het algemeen de als "waarneming" ingeteekende punten zijn verkregen als het gemiddelde van drie snelheidsmetingen, berust juist deze slechts op één meting, waarvan de waarnemer zelf heeft aangegeven, dat deze de stroomsnelheid slechts "ongeveer" weergeeft. Ook de waarnemingen op 5 en 6 December, die eveneens niet geheel door de berekening worden gedekt, zijn door den waarnemer zoo onnauwkeurig gevoeld, dat hij het resultaat slechts in globale termen ("van 0 - 4 m/sec, afwisselend N en Z" e.d.) heeft weergegeven, terwijl bovendien de afwijking tusschen de verval- en de snelheidswaarnemingen op onbetrouwbaarheid wijst.

De afwijkingen, die tusschen waarneming en berekening optreden, kunnen dus in hooge mate worden teruggevoerd op onvolkomenheden van de waarnemingen en op onvoldoend nauwkeurige kennis van de omstandigheden, die als uitgangspunt van de berekening moeten dienen. Reden om aan de betrouwbaarheid van de theorie te twijfelen geven deze afwijkingen dus niet.

4. De voorkomende afwijkingen dragen geen constant karakter, in dien zin, dat de waarnemingen steeds grootere of steeds kleinere waarden zouden geven dan de berekening. Integendeel komen afwijkingen in beide richtingen vrijwel in gelijke mate voor. Dit bevestigt de onderstelling, dat de afwijkingen zijn

te wijten aan tekortkomingen in de waarnemingen of de gegevens, daar ook deze in beide richtingen kunnen afwijken. Een onvoldoende weergeving van de werkelijkheid door de theorie zou in het algemeen de tendentie hebben, een fout van constanten zin in te voeren en hiervan blijkt geen enkele aanwijzing te bestaan.

Een en ander leidt tot de slotsom, dat de in § 3 ontwikkelde theorie voor een algemeene weergeving van de verschijnselen in nauwe verbindingen tusschen twee waterbekkens met vertrouwen kan worden gebruikt, al zullen de resultaten geen aanspraak kunnen maken op groote nauwkeurigheid.

§ 5. AAN HET VERSCHIJNSEL VERBONDEN BEZWAREN EN NAAR AANLEIDING DAARVAN TE STELLEN EISCHEN.

Ter beoordeeling van de voorzieningen, die moeten worden getroffen ter vermindering van te groote stroomsnelheden in de verbindingen tusschen twee meren, is het noodzakelijk om normen op te stellen, waaraan deze verbindingen moeten voldoen. Dit kan slechts geschieden op grond van een inzicht in de bezwaren, die aan te groote stroomsnelheden in de verbinding kunnen zijn verbonden. Als zoodanig zijn in hoofdzaak te noemen.

- A. verplaatsing van bodemmateriaal door den stroom;
- B. gevaren bij het varen met den stroom mee;
- C. ondervonden weerstand bij het varen tegen den stroom.

In bijzondere gevallen kunnen nog andere factoren van waterloopkundigen aard van beteekenis zijn. Zoo is het mogelijk, dat bij enkele verbindingen tusschen de randmeren langs de Veluwe de wensch zal bestaan om de wateruitwisseling tusschen de beide meren te beperken, teneinde de kwaliteit van het water in één van de beide meren zoo goed mogelijk te doen zijn met het oog op de drinkwatervoorziening. Dergelijke factoren worden echter in zoo sterke mate door de plaatselijke omstandigheden beheerscht, dat een algemeene behandeling ervan weinig zin heeft. Met de bovengenoemde bezwaren, die bij nagenoeg elke verbinding van belang zijn, is dit echter wel het geval. Te dien aanzien valt het volgende op te merken.

A. Verplaatsing van bodemmateriaal door den stroom.

Het is een bekend feit, dat elk bodemmateriaal bij het overschrijden van een bepaalde stroomsnelheid wordt opgenomen en door den stroom getransporteerd naar andere plaatsen, waar het als gevolg van een vermindering van de stroomsnelheid weer tot afzetting komt. Dit kan leiden tot ongewenschte gevolgen, die kunnen bestaan uit hinderlijke verondiepingen, aantasting van de oevers of ontgronding van kunstwerken.

De thans onderzochte verbindingen bevinden zich uit dezen hoofde in een belangrijk gunstiger conditie dan waterwegen, waar regelmatige harde stroomen loopen. In dit geval immers komen de groote stroomsnelheden slechts zelden voor en worden zij gescheiden door lange perioden met geringe stroomen, terwijl bovendien de stroom met onregelmatige afwisseling in beide richtingen loopt. Er is dus in het algemeen weinig kans op een doorgaande verplaatsing van materiaal, die tot sterke veranderingen in de bodemligging zou leiden. Indien dit laatste onverhoopt wel het geval mocht zijn, zal de ontwikkeling ervan slechts geleidelijk kunnen geschieden. Ten aanzien van de algemeene stroomwerking is het derhalve niet noodzakelijk, bijzondere eischen te stellen aan de optredende stroomsnelheden; bij de toestanden, die uit anderen hoofde toelaatbaar worden geacht, is de kans op onaangename grondverplaatsing klein, terwijl men deze eventueel tijdig kan onderkennen en zoo noodig door gepaste, eenvoudige maatregelen (wegbaggering van een ondiepte, versterking van boordwoord ening) onschadelijk kan maken.

Eenigszins anders staat de zaak bij de ontgronding van kunstwerken. In de eerste plaats kunnen de gevolgen van een dergelijk verschijnsel veel ernstiger zijn dan bij een grondverplaatsing op een willekeurige plaats. Daarnaast bestaat in de omgeving van kunstwerken meer aanleiding voor een geconcentreerde aantasting, waarvoor ook minder kans bestaat, dat deze in de perioden met kleine stroomsnelheid weer snel wordt aangevuld. Er dienen derhalve goede waarborgen aanwezig te zijn, dat in geen geval een ontgronding kan optreden, die de standzekerheid van het kunstwerk in gevaar zou brengen.

Deze waarborg kan worden gezocht eenzideels in maatregelen, die de stroomsnelheid in de verbinding verlagen, anderdeels in een dusdanige voorziening van de voet van het kunstwerk, dat de standzekerheid bij de te verwachten snelheden verzekerd is (stortebedden, bezinking, bestorting).

Het is niet mogelijk, in het algemeen aan te geven, welke methode de doelmatigste zal zijn. Wel kan men zeggen, dat in elk geval moet worden vermeden, nabij het kunstwerk zoödanige, hoge snelheden toe te laten, dat dit hiertegen alleen kan worden beschermd door zeer uitgebreide voorzieningen van een ingewikkelde of van het normale afwijkende constructie. Dit is vooral van belang, omdat de hoge snelheden slechts in zeer uitzonderlijke gevallen voorkomen, zoodat het gevaar bestaat, dat de voor dit doel noodzakelijke bescherming op den langen duur niet in voldoende goeden staat zal worden onderhouden.

Op grond van ervaringen, opgedaan bij de sluitgaten van den afsluitdijk van de Zuiderzee en van de IJsselmeerpolders en bij de spuisluisen in den afsluitdijk kan deze stelregel op de volgende wijze worden uitgewerkt.

Snelheden van b.v. 4 m/sec moeten in elk geval worden vermeden. Reeds in korten tijd kunnen dergelijke snelheden op onvoldoend beschermde plaatsen tot zeer ernstige ontgrondingen leiden. Zoowel bij de beteugelingsdammen van den afsluitdijk als bij de stortebedden van de spuisluisen te den Oever en Kornwerderzand is gebleken, dat om den bodem tegen dergelijke snelheden te beveiligen niet volstaan kan worden met zinkwerk en bestorting, zoodat deze normaal gebruikelijk zijn, doch dat hiertoe moet worden gebruik gemaakt van buitengewone maatregelen (dikke wiepen, drempels, e.d.)

Ook bij lagere snelheden dan 4 m/sec zal men veiligheids-halve nog tot buitengewone beschermingsmaatregelen moeten overgaan. Eerst bij een snelheid van 2,5 m/sec staat het wel vast, dat normaal zinkwerk en normale bestorting door den stroom gedurende de enkele uren, dat deze aanhoudt, niet ernstig kunnen worden aangetast.

Wel kan een dergelijke stroomsnelheid in onbeschermden grond binnen korten tijd tot belangrijke ontgrondingen leiden. Om de standzekerheid van het kunstwerk te verzekeren, zal de bodembescherming zich derhalve over groote oppervlakten moeten uitstrekken.

Indien de maximale stroomsnelheid lager blijft, kan op deze voordelingen worden bezuinigd. Bij een snelheid van 2,0 m/sec behoeven aan de betreffende voorzieningen geen hoogere eischen te worden gesteld dan bij de kunstwerken in de rivieren het geval is. Weliswaar zal aldaar een snelheid van 2,0 m/sec in het algemeen niet voorkomen, doch een snel-

heid van 1,5 m/sec kan gedurende etmalen achtereen worden overschreden en ten aanzien van de ontgronding kan dit gelijkwaardig worden geacht aan een stroomsnelheid van 2,0 m/sec, die slechts enkele uren aanhoudt.

B. Gevaren bij het varen met den stroom mee.

Bij het varen met stroom mee zal nimmer de absolute onmogelijkheid bestaan om een verbinding te passeeren, doch wel kan het varen gepaard gaan met een zoo groot risico, dat het niet verantwoord mag worden geacht. Om bestuurbaar te blijven, dient het schip sneller te gaan dan de stroom en dit kan t.o.v. de oever een zoo groote snelheid beteekenen, dat zelfs een geringe aanraking met vaststaande voorwerpen in of langs het vaarwater een ernstige schade kan veroorzaken.

Het is duidelijk, dat de vraag, of dit het geval zal zijn, behalve van de stroomsnelheid ook in hooge mate afhangt van de inrichting van het vaarwater. Is dit ruim en onbelemmerd, dan zal zelfs een groote stroomsnelheid nog niet tot gevaren aanleiding geven. In de meeste gevallen zal echter in de verbinding een kunstwerk (brug) moeten worden gepasseerd. In dat geval zijn voor een veilige doorvaart de volgende punten van doorslaggeevende beteekenis:

- a. een wijde doorvaartopening, zoodat aan weerszijden van het vaartuig een ruime speling blijft en de kans op aanraking van de pijlers practisch uitgesloten is;
- b. vermijden van een plaatselijke vermeerdering van de stroomsnelheid bij het kunstwerk, dus het geven van een doorstromingsprofiel aan het kunstwerk, dat gelijk is aan het profiel van het verbindingskanaal.
- c. ligging van de brug in een recht en overzichtelijk vak, zoodat eenerzijds de brug tijdig kan worden geopend en anderzijds een schipper tijdig kan constateeren, dat hij wegens het gesloten zijn van de brug zijn schip dient te stoppen;
- d. lange, goed geleidende en doelmatig ingerichte remmingwerken, die het schip goed voor het midden van de doorvaartopening geleiden en het gelegenheid bieden om zonder gevaarlijke manoeuvres vaart te minderen en te stoppen;
- e. gescheiden vaarwegen voor de beide richtingen, zoodat schepen elkaar nimmer ter plaatse van het kunstwerk kunnen ontmoeten;
- f. inrichten van wachtplaatsen, zoodat schepen, die om één of andere reden in de nabijheid van het kunstwerk moeten wachten, geen vermindering van de doorvaartwijdte veroorzaken.

Indien aan de bovengenoemde eischen is voldaan - hetgeen zonder onevenredige kosten mogelijk is - zal het varen met den stroom mee zelfs bij vrij groote stroomsnelheden in het algemeen weinig risico meebrengen.

De practijk bevestigt deze stelling, zooals in § 2

bij de beschrijving van de in Friesland verkregen ervaringen, reeds is vermeld. Helaas zijn hieromtrent geen kwantitatieve gegevens verkregen. Dit is wel het geval voor enkele situaties waar de omstandigheden weliswaar niet geheel overeenstemmen met die, welke bij een brugverbinding over een weerstandsgeul optreden, maar die er toch mee vergelijkbaar zijn.

In de eerste plaats is er een aantal sluisen in Nederland, die vaak open staan en dan bevaren worden, ook indien er niet onbelangrijke stroomen door de sluis trekken. Het is duidelijk, dat het varen door een sluis met stroom mee meer gevaren oplevert dan het passeeren van een brug, want aan de brugopening kan gemakkelijker een groote wijde worden gegeven dan aan een sluis, terwijl door de grootere lengte van de sluis de kans op het aanvaren van de wanden toeneemt. Desniettegenstaande is bij een desbetreffend, reeds eerder genoemd onderzoek gebleken, dat het varen met stroom mee door de bovengenoemde sluisen in het algemeen weinig bezwaren meebrengt. Zoo wordt de schutsluis te Andel tusschen Maas en Waal, waarvan de sluishoofden bijna 13 m wijd zijn, nog bij vervallen van 12 cm zonder eenig bezwaar met stroom mee doorgevaren door schepen, die tot 9,20 m breed zijn. De indruk van het bedienend personeel is, dat dit nog bij belangrijk grootere vervallen het geval zou zijn, doch het reglement verbiedt dit. De kleinere Mallegatsluis te Gouda (wijdte 7,85 m) wordt zelfs bij vervallen van 25 cm door schepen van 100 à 200 ton nog met stroom mee bevaren. Meegedeeld werd, dat bij het in- en doorvaren van de sluis nimmer gevaren optraden, doch dat na het uitvaren door te geringe ruimte voorbij de sluis de kans op aanvaring niet uitgesloten was. Ook de ervaring bij andere sluisen (b.v. die te Gorcum, Arkelsche dam, Muiden) wijst in dezelfde richting.

De schutsluis te Andel best als vergelijkingsobject de meeste waarde, omdat het karakter van de scheepvaart hier waarschijnlijk het best overeenkomt met die, welke in de randkanalen en van de Zuidelijke polders kan worden verwacht. In het bijzonder is van belang, dat hier ook regelmatig schepen, bestaande uit een sleepboot en meer dan één sleepschip, passeeren. Ook deze ondervinden bij een verval van 12 cm (overeenkomende met een stroomsnelheid van ongeveer 1,3 m/sec geen hinder.

In één opzicht wijkt het passeeren van de genoemde sluisen af van het varen door een weerstandsgeul. Zoowel vóór als na het passeeren van de sluis bevindt het schip zich in vrij stil water, terwijl in de geheele weerstandsgeul een zelfde stroom staat als in de brugopening. De vraag is, welke van deze omstandigheden de gunstigste is. Vooral bij sleepen kunnen juist de verschillen in stroomsnelheid aanleiding tot moeilijkheden geven. Aan den anderen kant is het feit, dat men zich slechts kort in den sterken stroom bevindt een onmiskenbaar voordeel.

Dat echter ook over lange trajecten het varen met stroom mee geen bezwaren oplevert, wordt aangetoond door de riviervaart. Bij normaal hooge afvoeren komt een stroomsnelheid van 1,5 m/sec meermalen voor, zonder dat dit tot moeilijkheden voor de scheepvaart aanleiding geeft, ook niet bij het passeeren van bruggen. De vaarweg op de rivieren, evenals de brugopeningen, zijn wijder dan in de weerstandsgeulen valt te verwachten, doch hiertegenover staat, dat deze laatste een veel regelmatig karakter bezitten.

C. Weerstand bij varen tegen den stroom.

Bij varen tegen den stroom in is de bestuurbaarheid van een schip goed, doch neemt de weerstand toe, zoodat bij gelijk vermogen van de voortstuwingsmiddelen de snelheid (t.o.v. den wal) afneemt. Voor snelvarende schepen beteekent dit een vertraging, die, omdat de verbinding slechts een korte lengte bezit, niet van groote beteekenis is. Grooter is het nadeel voor langzame, diep geladen schepen; in bepaalde omstandigheden kunnen deze niet in staat zijn tegen den stroom op te varen, zoodat zij moeten wachten tot de stroom weer voldoende is afgenomen eer zij hun reis kunnen voortzetten. Dit is uiteraard een bezwaar, dat zoo min mogelijk mag voorkomen.

De vermeerdering van den weerstand, die bij het varen tegen den stroom optreedt, kan beter in cijfers worden uitgedrukt dan de onder A en B genoemde bezwaren. Groote nauwkeurigheid valt daarbij wel niet te bereiken, doch is voor dit doel ook niet noodig.

Voor den weerstand van een schip in een kanaal met waterafvoer zijn empirische formules opgesteld, die de volgende gedaante bezitten:

$$W = (\beta f + \gamma o) v_r^n \quad (10).$$

Hierin is:

- W: de ondervonden weerstand,
 f: de doorsnede van grootspant schip,
 o: de natte oppervlakte van het schip,
 v_r : de z.g. retour snelheid, d.w.z. de snelheid van het langs het schip terugstroomende water t.o.v. het schip,

β , γ en n: coëfficiënten.

De grootheid v_r kan worden berekend met behulp van de continuïteitsvergelijking en de vergelijking van Bernoulli, volgens welke geldt:

$$v_r = (v + v_s) \frac{F}{F - (f + Bs)} \quad (11),$$

$$z = \frac{v_r^2 - (v + v_s)^2}{2g} \quad (12),$$

waarin:

- v: de snelheid van het water in het kanaal,
 v_s : de snelheid van het schip t.o.v. de wal,
 B: de spiegelbreedte van het kanaal,
 z: de waterspiegeldaling naast het schip,
 F: de doorsnede van het kanaal.

Indien v en v_s zijn gegeven, kunnen (het eenvoudigst door probeeren) de waarde van v_r vinden en daarmee de ondervonden weerstand bepalen.

In de formule voor den weerstand stelt de term $\beta f v_r^n$ den vormweerstand voor en de term $\gamma o v_r^n$ den wrijvingsweerstand. Gewoonlijk kan men stellen:

$$f = 0,98 bd,$$

$$o = 0,85 l(b + 2d),$$

waarin l, b en d resp. lengte, breedte en diepgang van het schip voorstellen.

De waarde der coëfficiënten β en γ hangen af van de gekozen exponent n . Omtrent deze grootte bestaat geen zekerheid; in elk geval ligt n in de buurt van 2. In waterbouwkundige handboeken vindt men de formule vaak met $n = 2,25$, $\beta = 3,5$ voor stompe en $= 1,7$ voor scherp gebouwde schepen en $\gamma = 0,14$ voor ijzeren schepen (eenheden in kg, m en sec).

In elk geval kan met behulp van deze of een soortgelijke formule een voldoende betrouwbare indruk worden verkregen van den weerstand, die het schip ondervindt. De formule geldt voor vrijvarende schepen en voor gesleepte schepen is het gewenscht de gevonden weerstand met 20 % te vermeerderen.

Het benodigde vermogen in I.P.K. kan tenslotte, indien W in kg wordt uitgedrukt, worden gevonden uit:

$$N_1 = \frac{W \times v_r}{\gamma \times 75} \quad (13)$$

Hierin is $\frac{1}{2}$ het totale nuttig effect, waarin is verdisconteerd het theoretisch nuttig effect van de scheepschroef, de vermindering hiervan in de praktijk en de eigen weerstand van de sleepboot. Voor globale berekeningen kan voor γ de waarde van 0,25 worden aangenomen.

De formules zullen in het algemeen worden toegepast op het grootste type sleepschip, dat de verbinding kan bevaren, omdat hiervoor de omstandigheden het ongunstigst zijn. Ondersteld zal worden, dat een sleepboot van normaal type (b.v. 80 I.P.K.) met één of eventueel twee van de genoemde sleepschepen achter zich de verbinding tegen den stroom in wil bevaren.

Met behulp van de gegeven formules is het mogelijk, na te gaan, welke snelheid een sleep van een bepaalde samenstelling bij een bekende stroomsnelheid in de verbinding kan bereiken en welke bezwaren dus aan het passeeren van de verbinding zijn verbonden. Dit onderzoek is vrij bewerkelijk, terwijl, zoals reeds is opgemerkt, de nauwkeurigheid toch niet groot is. Derhalve zal het in het algemeen voldoende zijn, een eenvoudiger benadering toe te passen door er van uit te gaan, dat de snelheid, waarmee zware sleep en in betrekkelijk nauwe geulen en kanalen zonder stroom varen, normaal kan worden gesteld op 5 à 6 km/uur, dus rond 1,5 m/sec. De weerstand van de sleep hangt af van de relatieve snelheid t.o.v. het ongestoorde water in het kanaal en indien dit water een snelheid van v m/sec bezit, zal de snelheid van de sleep t.o.v. de wal bedragen $1,5 - v$ m/sec.

Gaat men er b.v. van uit, dat de snelheid t.o.v. de wal in een weerstandsgeul tenminste ongeveer 2 km/uur (rond 0,5 m/sec) moet zijn, wil het bevaren ervan niet als een ernstig bezwaar worden beschouwd, dan zal dus de stroomsnelheid in de geul niet groter mogen zijn dan 1,0 m/sec.

Indien men zich thans afvraagt, welke eischen op grond van de bovenvermelde beschouwingen aan de verbinding dienen te worden gesteld, komt men tot het volgende.

Mits aan het ontwerp van de verbinding de noodige zorg wordt besteed, zullen in het algemeen bij windstroomen het

snelst bezwaren optreden voor tegen den stroom varende schepen. Deze bezwaren dragen echter een veel minder ernstig karakter dan die, welke kunnen optreden voor de kunstwerken of voor de met stroom mee gaande vaartuigen. Zij bestaan niet in een risico van aanvaring of beschadiging, doch slechts in eenig tijdverlies, doordat het varen door de weerstandsgeul langen tijd in beslag neemt of in het uiterste geval doordat het schip eenigen tijd moet wachten, totdat de stroom verminderd is. Het is zeker niet onaanvaardbaar, indien dergelijke bezwaren zich gemiddeld één tot enkele malen per jaar voordoen. Indien men bij een weerstandsgeul van eenige lengte (ten minste 500 m) de bezwaren rekent aan te vangen, zoodra de vaarsnelheid in de geul minder dan 2 km/uur bedraagt, en de voorwaarde stelt, dat deze omstandigheid voor de ongunstigste sleep gemiddeld niet meer dan één tot enkele malen per jaar mag voorkomen, mag gezegd worden, dat de verbinding uit dit oogpunt aan hooge eischen voldoet. Zoodra hiervoor is uiteengezet, zal men veelal een snelheid van 1 m/sec als maatstaf hiervoor kunnen nemen.

Bij het varen met den stroom mee zullen - indien aan de hiervoor genoemde eischen ten aanzien van de ligging en inrichting van de doorvaartopening is voldaan - eerst bij hogere stroomsnelheden bezwaren optreden. Deze bezwaren dragen echter een ernstiger karakter; zij brengen gevaar mede voor aanvaring en beschadiging van het schip en dienen dus zooveel mogelijk te worden vermeden. Op grond van de hiervoor genoemde ervaringen - in het bijzonder die, verkregen bij de schutsluis te Andel en bij de riviervaart - kan worden geconcludeerd, dat bij een snelheid van 1,5 m/sec practisch nog geen gevaren aanwezig zijn, terwijl ook bij grotere snelheden de kans op aanvaring nog zeer gering is. Men komt zoodoende tot de eisch, dat een snelheid van 1,5 m/sec of meer slechts zeer zelden - b.v. gemiddeld niet meer dan één maal per 10 jaar - mag voorkomen.

Met het oog op de aantasting van de voorstellingen aan den voet der kunstwerken dient tenslotte te worden geëischt, dat ook in uitzonderlijk ongunstige omstandigheden geen grotere snelheid mag voorkomen dan 2,5 m/sec.

Men komt er dus toe aan een verbinding tusschen twee meren de volgende eischen te stellen:

- 1e. een stroomsnelheid van 1 m/sec /of een zoodanige stroomsnelheid, dat een stroomopwaarts varende sleep, bestaande uit een sleepboot van normaal type met zooveel van de grootste, ter plaatse te verwachten sleepschepen als normaal mag worden geacht, in de verbinding geen grotere snelheid kan bereiken dan 2 km/uur/ mag niet meer dan één tot enkele malen per jaar voorkomen.
- 2e. een stroomsnelheid van 1,5 m/sec of meer mag gemiddeld niet meer dan één maal per 10 jaar voorkomen.
- 3e. ook in uitzonderlijk ongunstige omstandigheden mag geen grotere stroomsnelheid voorkomen dan 2,5 m/sec.

De bovenstaande eischen kunnen worden beschouwd als standaardnormen, waarnaar in het algemeen de verbinding zal worden gedimensioneerd. De wijze, waarop zij zijn afgeleid, wijst er reeds op, dat zij niet mogen worden opgevat als wetten van Meden en Perzen, doch dat somtijds naar bevind van zaken ervan kan worden afgeweken.

Eenerzijds is het denkbaar, dat in een bepaald geval het geheel voldoen aan de eischen tot groote moeilijkheden leidt, terwijl de scheepvaart van ondergeschikte beteekenis is. Alsdan kan worden overwogen, of de beide eerstgenoemde eischen lager kunnen worden gesteld en welke compenseerende maatregelen (waarschuwingssysteem, hulpmiddelen e.d.) eventueel mogelijk zijn.

Anderzijds zal bij belangrijke scheepvaartwegen dienen te worden nagegaan of de eischen zonder onevenredige kosten kunnen worden opgevoerd. In het bijzonder lijkt dit van belang voor de beide laatstgenoemde factoren. Hoewel de gestelde eisch met de reële moeilijkheden van de vaart met stroom mee volledig rekening houdt, kunnen daarnaast nog psychologische bezwaren bestaan, die wellicht niet geheel worden ondervangen. In het bijzonder is dit mogelijk, omdat op de betreffende vaarwegen veel schepen zijn te verwachten, die zelden op sterk stroomende wateren (rivieren, zeearmen) verkeerden, zoodat de mogelijkheid om met een flinken stroom de verbinding te moeten passeeren, den schipper onrustig kan stemmen. Indien hierin zonder groote kosten of andere bezwaren verbetering kan worden gebracht, zal dit aanbeveling verdienen.

Voor de kunstwerken brengt een maximale snelheid van 2,5 m/sec de noodzaak mede van een uitgebreide verdediging van den voet van het kunstwerk. Deze kan tot normale proporties worden teruggebracht, indien de maximale snelheid wordt verlaagd tot 2,0 m/sec. De dientengevolge verkregen bezuiniging kan mede worden gesteld tegenover de kosten van de maatregelen om de snelheid te verlagen.

Alvorens de gestelde eischen in toepassing kunnen worden gebracht dient bekend te zijn, welke omstandigheden gemiddeld één tot enkele malen per jaar of gemiddeld één maal per 10 jaar voorkomen en welke als uitzonderlijk ongunstige omstandigheden kunnen worden beschouwd. Deze vraag wordt in de volgende paragraaf nader onderzocht.

§ 6. MAATGEVENDE OMSTANDIGHEDEN.

De in de vorige § gestelde vraag naar de omstandigheden, die gemiddeld één tot enkele malen per jaar, gemiddeld één maal per 10 jaar en slechts zeer uitzonderlijk voorkomen, kan niet door het opstellen van een frequentiekromme op eenvoudige wijze worden beantwoord. De reden hiervan is, dat (in tegenstelling met hetgeen b.v. bij waterstanden, windkracht e.d. het geval is) de in groote variatie voorkomende omstandigheden niet op éénduidige wijze volgens een bepaalde maatstaf kunnen worden gerangschikt. Aan de bepaling van de bovengenoemde maatgevende toestanden zal derhalve noodzakelijk onzekerheid blijven kleven.

Het heeft op grond hiervan geen zin, bij de statistische bewerking allerlei details in rekening te brengen. Een aanvaardbare vereenvoudiging is om uit te gaan van een zich regelmatig ontwikkelende opwaaiing, zooals in § 3 door de vergelijkingen (6) en (7) is beschreven. Voor de in de praktijk voorkomende omstandigheden kan bij de bewerking een gelijkwaardig verloop volgens de aan de genoemde formules ten grondslag liggende onderstellingen worden gesubstitueerd.

De van belang zijnde maximale waarde van het verval in de verbinding (z_T) hangt volgens formule 7 af van een aantal grootheden, die in twee groepen kunnen worden verdeeld. De grootheden van de eerste groep (q, A en O) hangen af van de situatie en zijn voor een bepaalde verbinding als vaste, gegeven waarden te beschouwen. In tegenstelling daarmee hangt de tijd T uitsluitend af van de meteorologische omstandigheden. Weliswaar heeft de grootheid w_T een van beide groepen afwijkend karakter, daar deze als opwaaiing zoowel afhangt van de plaatselijke als van de meteorologische omstandigheden, doch hiertusschen kan een scheiding worden gemaakt met behulp van de formule (9). In deze opwaaiingsformule stelt l/d de in hoofdzaak van de plaatselijke omstandigheden afhankende factor voor, terwijl de meteorologische omstandigheden worden weergegeven door den factor $0,036V^2 \cos \varphi$, waarvoor ω (het "opwaaiingsgetal") kan worden geschreven.

Het onderzoek naar de als maatgevend te stellen meteorologische omstandigheden dient dus betrekking te hebben op ω en T , m.a.w. op het opwaaiingsgetal en den tijd, waarin dit zich ontwikkelt.

Bij dit onderzoek kan men twee wegen inslaan, al naar men het opwaaiingsgetal afleidt uit den wind ($\omega = 0,036V^2 \cos \varphi$) of uit de opwaaiing op een meer, dat niet in belangrijke mate van de gegeven meren afwijkt ($\omega = \eta : l/d$). Voor het laatste komt in hoofdzaak het IJsselmeer in aanmerking. Principiëel hebben beide wegen hun voor- en nadeelen, doch uit praktisch oogpunt is bij een omvangrijk statistisch onderzoek een bezwaar van den eersten weg, dat men zoowel met de windsnelheid als met de windrichting rekening moet houden.

Daarom is voor de vaststelling van de één maal per jaar te verwachten omstandigheden de tweede weg gekozen en uitgegaan van waterstandswaarnemingen op het IJsselmeer. Dit meer bestaat echter nog niet lang genoeg om conclusies t.a.v. zeldzamer voorkomende opwaaiingen mogelijk te maken, zoodat ter bepaling van den één maal per 10 jaar en slechts zeer uitzonderlijk te verwachten toestand mede van windgegevens is gebruik gemaakt.

Strikt genomen zou het onderzoek voor verschillende richtingen (N - S, W - E, NW - SE en SW - NE) afzonderlijk dienen te worden uitgevoerd. Daar echter de frequenties van de absolute waarden van het opwaaiingsgetal volgens deze richtingen niet zeer uiteenlopen, kan wel worden aangenomen, dat dit ook niet het geval zal zijn met de frequenties van de veranderingen in het opwaaiingsgetal. Het onderzoek van deze laatste grootheid kan dan beperkt blijven tot één richting.

Als uitgangspunt van het onderzoek is genomen de opwaaiing tusschen het zwaartepunt van het IJsselmeer en Nijkerk. Daar de waterstand in het eerstgenoemde punt in den loop van een aantal uren niet van beteekenis verandert, geven de waterstandsveranderingen te Nijkerk direct een maatstaf voor de veranderingen van het opwaaiingsgetal over het genoemde traject.

Het onderzoek heeft zich uitgestrekt over de periode April 1933 - December 1939, omdat daarna de invloed van de indijking van den Noordoostelijken polder zich doet gevoelen. Opgeteekend zijn alle waterstandsveranderingen van meer dan 20 cm te Nijkerk benevens de tijd, waarover zij zich ontwikkelden. Deze gegevens zijn verzameld in bijlage F, terwijl in fig 4 elk geval is weergegeven in een assenstelsel, waarvan de abcis de waterstandsverandering η en de ordinaat de tijdsduur T voorstelt.

Deze figuur geeft aanleiding tot de volgende beschouwingen.

Voor een beoordeeling van den toestand, die als maatgevend kan worden beschouwd, dienen de punten, die in de figuur de voorgekomen toestanden weergeven, te worden gerangschikt naar de gevolgen, die zij voor de verbinding meebrengen, dus b.v. naar de maximale waarde van het verval, dat zij in de verbinding veroorzaken. Dit zou kunnen geschieden door in de figuur lijnen van gelijk maximaal verval (z_T) te teekenen.

In de formule (6) voor z_T kan de grootheid w_T (de som van de op- en afwaaiing in de beide meren aan weerszijden van de verbinding) evenredig worden gesteld aan de waterstandsverandering te Nijkerk η (waarbij de evenredigheidsfactor φ afhangt van de lengte- en diepteverhoudingen op de meren en op het IJsselmeer). Dus:

$$z_T = \varphi \eta + \frac{a^2}{H^2} + \frac{2a}{30} T - \frac{2AVET}{30} T.$$

In deze formule zijn φ , A en O voor een gegeven verbinding bekende waarden, zoodat bij een constante waarde van

st de betrekking tusschen ζ en T lineair wordt, m.a.w. de lijnen van gelijke ζ_T in fig 4 zijn rechten. De parameters van deze rechten hangen echter, behalve van ζ_T , ook af van φ , q , A en O . De rangschikking van de punten in fig 4 moet dus voor elke onderzochte verbinding geschieden volgens andere rechten.

Dit zou leiden tot een belangrijke uitbreiding van het aan het onderzoek verbonden werk, doch het blijkt, dat dit kan worden ontgaan, o.a. dank zij het feit, dat het voor een gegeven verbinding onverschillig is, welk punt van de gekozen lijn van gelijke ζ_T men als maatgevende toestand aanvaardt. Om dit aan te toonen is het doelmatig, eerst na te gaan, welke lijn van gelijke ζ_T maatgevend zal worden gesteld.

In bijlage F zijn zoowel het ontstaan als het verdwijnen van een op- of afwaaiing te Nijkerk als afzonderlijk geval aangeteekend en in fig 4 door een punt weergegeven. Dit zal in het algemeen te ongunstig zijn en is feitelijk alleen gerechtvaardigd, indien de extreme wind zoo lang is blijven bestaan, dat zich de daarbij behorende evenwichtstoestand in de beide meren aan weerszijden van de verbinding heeft kunnen ontwikkelen. Veelal is dit niet zoo en zullen de stroomsnelheden bij het verdwijnen van het windeffect belangrijk kleiner zijn dan met de verandering van het opwaaiingsgetal overeenkomt. Indien derhalve als maatgevend wordt aangehouden een toestand, die volgens fig 4 b.v. 15 x in de periode van $6 \frac{3}{4}$ jaar wordt bereikt of overtroffen, zoo zal dit in werkelijkheid wellicht niet meer dan 9 à 11 x het geval zijn, dus met een frequentie van 1 à 2 x per jaar. Volgens het in de vorige § gezegde is dit zeker niet een te gunstige aanname, want aldaar werd gesproken van een frequentie van één tot enkele malen per jaar.

Het gaat er dus om in fig 4 een rechte te trekken, die de 15 ongunstigste gevallen (dus met groote ζ en kleine T) afscheidt van de overige. Hoe deze rechte moet loopen (dus b.v. hoe de richting is, of in welk punt de ζ -as wordt gesneden) zal afhangen van de plaatselijke omstandigheden en voor elke onderzochte verbinding anders zijn. In figuur 4 zijn nu een aantal van deze lijnen getrokken binnen het geheele interval, dat in aanmerking komt (de hoek met de ζ -as kan niet grooter zijn dan 90° , terwijl aan gevallen, waarbij voor $T = 0$ $\zeta < 10$ om is, geen acht behoeft te worden geslagen, omdat voor de in aanmerking komende gevallen het verhoudingsgetal φ in het algemeen kleiner dan $\frac{1}{2}$ is, zoodat ζ_T in dat geval kleiner is dan 5 om en zonder bezwaar kan worden aanvaard).

Er blijkt nu een betrekkelijk klein gebied te zijn, waardoor al deze lijnen verlopen. Kiest men een punt in het midden van dit gebied, b.v. het punt $T = 4$ uur, $\zeta = 85$ om en stelt men de hierdoor bepaald de meteorologische omstandigheden maatgevend, dan zal men steeds een goede benadering verkrijgen van de bovengenoemde frequentie. Weliswaar heeft de aldus vastgestelde toestand voor de verschillende in aanmerking komende verbindingen niet volkomen dezelfde frequen-

tie, maar deze loopt toch niet verder uiteen dan in reden van 1 : 2 en ligt globaal tusschen 1 en 2 malen per jaar.

De waterstandsverandering η van 85 cm te Nijkerk moet worden omgerekend tot een verandering in opwaaiingsgetal ω volgens de formule $\omega = \eta : l/d$. Nu is strikt genomen de waarde van l/d over het traject tusschen het zwaartepunt van het IJsselmeer en Nijkerk verschillend al naar de grootte van de op- of afwaaiing te Nijkerk. Voor het onderhavige doel, dat van statistischen en globalen aard is, kan echter zonder bezwaar een gemiddelde waarde van l/d worden ingevoerd, zooals behoort bij een toestand zonder wind en een IJsselmeerpeil van 0,10 m - N.A.P. Hiervoor vindt men $l/d = 13$ (l in km, d in m).

Als maatgevende meteorologische omstandigheid, waarbij wordt geëischt, dat een normale sleepboot met een normaal zware sleep de verbinding tegen den stroom in moet kunnen bevaren, of globaal, dat de stroomsnelheid in de verbinding niet grooter is dan 1 m/sec, zal dus worden aangehouden een gelijkmatige verandering van het opwaaiingsgetal over een periode van 4 uur met een waarde van $85 : 13 = 6,5$.

De tijd, dat het IJsselmeer heeft bestaan, is te kort om conclusies te kunnen trekken t.a.v. de kleinere frequentie. De ongunstigste toestand, die in de periode 1933 - 1939 is voorgekomen, was een waterstandsverandering van 160 cm, d.w.z. een verandering van het opwaaiingsgetal met 12,3 in 5 uur. Het staat allerminst vast, dat dit de toestand is, die gemiddeld één maal in 7 jaar zal worden bereikt of overtroffen; deze toestand zal, omdat de beschouwde periode waarschijnlijk minder stormen vertoonde dan gemiddeld, wellicht iets ongunstiger zijn.

Teneinde meer gegevens over de kleine frequenties te verkrijgen, is gebruik gemaakt van een onderzoek naar de opwaaiing, die in de kom van de Zuiderzee optrad bij een aantal van de hevigste stormen, voorgekomen in de periode 1914 - 1935. Het is daarbij gebleken, dat de van het onderhavige standpunt ongunstigste toestanden zich hebben voorgedaan op:

6 November 1921, toen een opwaaiingsgetal van 23 in noordwestelijke richting zich in 2½ uur uit een praktische windstilte ontwikkelde;

29 December 1914, toen het opwaaiingsgetal uit zuidwestelijke richting zich in 5 uur ontwikkelde van 5 tot 23;

13 Januari 1930, toen de aanvankelijk zuidelijke wind naar het westen liep en na ongeveer 4 uur in deze richting een opwaaiingsgetal van 16 à 18 aanwezig was.

In de eerste plaats blijkt hieruit, hoe het opkomen van den storm van 6 November 1921 van het thans opgeworpen standpunt zeer veel ongunstiger was dan één van de andere onderzochte stormen en stellig een uitzonderlijk karakter draagt. Dit karakter blijft bewaard ook indien men stormen buiten de periode 1914 - 1935 in de beschouwing betreft. Het is algemeen bekend, dat het aanwakkeren van den wind tot stormkracht

op 6 November 1921 uitzonderlijk snel geschiedde en het is dus gerechtvaardigd, dat als uitzonderlijk ongunstige omstandigheid zal worden beschouwd een verandering van het opwaaiingsgetal met 23 in 2½ uur. Hierbij zal dus in de verbinding stellig geen grotere stroomsnelheid mogen optreden dan 2,5 m/sec.

Als omstandigheid, die ééns in de 10 à 20 jaar zal worden bereikt of overtroffen kan uit de gegevens met het noodige voorbehoud worden afgeleid een verandering van ω met 18 in 4 uur. Dit geldt echter in het algemeen en niet voor de verschijnselen volgens één bepaalde richting, waarop het bij een te onderzoeken verbinding juist aan komt. De frequentie volgens één richting bedraagt slechts $1/3$ à $1/4$ van de totale frequentie en voor een bepaalde verbinding kan men stellen, dat men ééns in de 10 jaar moet rekenen op een verandering van het opwaaiingsgetal met ongeveer 16 in 5 uur. Dit komt op bevredigende wijze overeen met hetgeen uit de periode 1933 - 1939 kon worden afgeleid.

Van de verbinding zal dus normaal worden geëischt, dat bij een gelijkmatige verandering van het opwaaiingsgetal met 16 over een periode van 5 uur in de verbinding geen grotere stroomsnelheid optreedt dan 1,5 m/sec.

§ 7. TOEPASSING OP EEN CONCREET GEVAL.

In de §§ 3, 5 en 6 ligt een aantal regels besloten, volgens welke men een ontworpen verbinding tusschen twee meren kan beoordeelen.

Ter toelichting hiervan en ter demonstratie van de wijze, waarop het ontwerpen van een dergelijke verbinding kan worden aangepakt, zal één geval nader worden behandeld. Daar voor is gekozen de verbinding tusschen het IJmeer en het Gouwmeer, die volgens het Algemeen Plan voor den Zuidwestelijken polder zal komen bij de Nes, alwaar een belangrijke toegangsweg tot den polder de waterverbinding van het IJmeer naar het Gouwmeer moet kruisen.

De plaatselijke gegevens betreffende deze verbinding zijn de volgende (vergelijk de kaart bijlage G).

De oppervlakte van het IJmeer bedraagt 6300 ha, die van het Gouwmeer 1820 ha, de gereduceerde oppervlakte is dus groot 1410 ha. De horizontale vormen, de ligging der zwaarte punten en enkele gegevens betreffende de diepte zijn weergegeven in de kaart bijlage G. De waarden van l/d zijn bepaald voor den waterstand van 0,40 m - N.A.P., zijnde dit globaal de gemiddelde waterstand, waarop kan worden gerekend in het seizoen, dat de hinderlijke stroomingen hoofdzakelijk zijn te verwachten. In dat geval wordt l/d voor het traject tusschen de verbinding en het zwaartepunt van het IJmeer globaal 2,65 en dezelfde waarde voor het Gouwmeer 2,10; totaal dus 4,75 (l in km, d in m). De waarde van w in cm kan dus worden berekend door de verandering van het opwaaiingsgetal ω te vermenigvuldigen met 4,75.

Op het Gouwmeer wateren af het gemaal van den Zuidwestelijken polder bij Edam, de polder Katwoude - Hoogendijk en de loozingsmiddelen van Schermerboezem te Edam en Monnikendam. Voor de beide laatstgenoemde sluizen is slechts af en toe spuimogelijkheid aanwezig, terwijl zij zelden zoo lang achtereen spuien, dat de toestand van Gouw- en IJmeer zich kan aanpassen. Voor het onderhavige doel behoeven zij derhalve niet in rekening te worden gebracht en kan voor q (formules 6 en 7) worden ingevoerd de opbrengst van de beide gemalen, die te stellen is op resp. 27 m³/sec en 2 m³/sec, dus totaal rond 30 m³/sec.

Voor de verbinding gaat een belangrijke scheepvaartweg, te weten die van Amsterdam (Oranjesluizen) via een 600-tons polderkanaal naar Enkhuizen, Stavoren en Kornwerderzand. Als normaal zware sleep zou derhalve kunnen worden gerekend, dat twee afgeladen Kempenaars met de afmetingen (lengte x breedte x diepgang) van 50 x 6,6 x 2,4 m door een sleepboot van 80 I.P.K. worden voortgetrokken. Te verwachten valt, dat 's zomers ook de zeilvaart met pleziervaartuigen een druk gebruik van de verbinding zal maken. Gerekend is, dat de verbinding zal worden uitgebaggerd tot een diepte van 3,4 m - N.A.P., zoodat de diepte bij den aangenomen waterstand 3,0 m bedraagt. De taluds zijn voorloopig bepaald op 1 : 3.

De drie in § 6 geformuleerde eischen komen in het onderhavige geval neer op het volgende:

1. Bij een verandering van het opwaaiingsgetal met 6,5 in 4 uur, d.w.z. $w_m = 6,5 \times 4,75 = 31$ cm en $T = 4$ uur, mag de stroomsnelheid in de verbinding niet meer bedragen dan 1 m/sec. (Daar, zooals nader zal blijken, de andere

- eischen in dit geval zwaarder zijn, kan met den globalen vorm van den eersten eisch worden volstaan).
2. Bij een verandering van het opwaaiingsgetal met 16 over een periode van 5 uur mag in de verbinding geen hogere stroomsnelheid optreden dan 1,5 m/sec. Voor IJ- en Gouwmeer beteekent dit $w_T = 16 \times 4,75 = 76$ cm en $T = 5$ uur.
 3. Bij een verandering van het opwaaiingsgetal met 23, dus van w_T met 109 cm in 2½ uur mag in de verbinding geen grotere snelheid optreden dan 2,5 m/sec.

Er dienen dus een drietal berekeningen te worden uitgevoerd met drie verschillende combinaties van waarden voor w_T en T . Voor elke berekening geldt het volgende.

De snelheid in de verbinding kan worden beïnvloed door variatie van het profiel (F) of door variatie van de lengte (l). Bij gegeven waarde van F en l is uit formule (8) de waarde van den coëfficiënt A (het doorlaatvermogen) te berekenen, waarna door toepassing van formule (7) het maximale verval s wordt bepaald. Uit $s = AVz$ en $v = s : f$ volgt tenslotte de maximale snelheid v .

Reeds met het oog op de afwatering van het Gouwmeer is het duidelijk, dat een te klein doorlaatvermogen niet toelaatbaar is. Indien de coëfficiënt $A = 100$ bedraagt, wordt bij den maximalen afvoer zonder wind het verval reeds 9 cm en een hogere waarde is zeker niet aanvaardbaar.

De uitvoering van de berekening is weergegeven in bijlage H.

In fig 5 zijn de resultaten van de berekening voorgesteld, waarbij F varieert van het minimale doorlaatvermogen ($A = 100$) tot 900 m² en l van 0 tot 3000 m.

Bij beschouwing van de resultaten blijkt, dat voor de drie onderzochte gevallen de toestand in het algemeen gunstiger wordt indien de lengte en het profiel van de weerstandsgeul toenemen. Voor zeer kleine profielen neemt echter de snelheid bij verdere verkleining weer af. In dat geval is het doorlaatvermogen reeds zoo klein, dat door de vulling en lediging van de beide waterbekkens geen van belang zijnde vermindering van het verval wordt verkregen. Bij een constant verval zal echter de snelheid met de grootte van het profiel afnemen onder invloed van den factor R in de formule $v = CVRI$. Bij grooter profielen overweegt steeds de invloed van de vulling en lediging der bekkens, waardoor bij kleiner profiel grotere vervallen optreden.

Het is duidelijk, dat de wateruitwisseling van minder belang is naarmate de opwaaiing sneller tot stand komt. In overeenstemming daarmee is, dat in het derde geval, waarvoor T slechts 2½ uur bedraagt, reeds bij grootere profielen en kleinere lengten een omkeering van den invloed van het profiel op de snelheid optreedt dan bij andere gevallen. Bovendien is bij geval 3 de invloed van het profiel duidelijk minder dan bij de andere gevallen, terwijl daarentegen de geullengte een grooteren invloed heeft.

Nagegaan dient thans te worden, op welke wijze kan worden bereikt, dat de opgestelde standaard-normen (die in fig 5 eveneens zijn aangegeven) niet worden overschreden. Een overzicht hiervan wordt gegeven in onderstaande tabel.

MINIMALE WAARDEN VAN F BIJ GEGEVEN LENGTEN VAN DE WEERSTANDSGEUL.

<i>l</i>	0	200	500	1000	2000	3000
volgens eisch 1	380	340	290	185	-	-
volgens eisch 2	485	435	365	240	-	-
volgens eisch 3	600	450	235	-	-	-
Totaal	600	450	365	240	-	-

Het blijkt, dat, indien de opening tusschen de beide meren een profiel van 600 m² verkrijgt (d.w.z. een breedte van ruim 200 m') geen weerstandsgeul noodig is. Wordt daarentegen aan de weerstandsgeul een lengte gegeven van omstreeks 1500 m, dan zijn bij geen enkele, in aanmerking komende grootte van het profiel te groote snelheden te vreesen. Ook tusschengelegen oplossingen met weerstandsgeulen ter lengte van minder dan 1500 m en waarvan de profielen kleiner dan 600 m² zijn, voldoen aan de normen.

Welke oplossing zal worden gekozen, hangt van vele overwegingen af, op slechts enkele waarvan hier in het kort kan worden ingegaan. Zoo zal het voor laveerende zeilvaartuigen van belang zijn, dat de breedte van de verbinding niet minder bedraagt dan 120 m, d.w.z. het profiel ten minste 330 m. In dat geval zal de geul dus een lengte moeten verkrijgen van ongeveer 600 m.

De situatie ter plaatse (zie bijlage G) is zoodanig, dat men door de verbindingsgeul door of langs het buitenland de Nes te leggen, op ongedwongen wijze en zonder kosten van betekenis een weerstandsgeul kan verkrijgen ter lengte van 1000 à 1200 m. Daar de scheepvaart door deze verbinding zeer belangrijk is en bij de Nes een zeer belangrijke toegangsbrug tot den polder komt, lijkt het aangewezen om gebruik te maken van de gelegenheid, die daardoor ontstaat om de verbinding aan hogere eischen dan de standaardnormen te doen voldoen. Indien de weerstandsgeul een lengte verkrijgt van 1000 m en een profiel van 400 m² zal de stroomsnelheid in de drie maatgevende gevallen resp. bedragen 0,76, 1,28 en 1,91 m/sec en zal de verbinding derhalve aan hoge eischen voldoen.

AANVULLENDE BEREKENING BETREFFENDE DE STROOMSNEELHEDEN IN DE VERBIN-
DING TUSSCHEN IJMEER EN GOUWMEER BIJ DE NES.

Geullengte 1000 m; diepte in de geul 3 m; taluds 1 : 3; $C = 50$;
diepte in de meren 2,8 m.

De contractie in het brugprofiel is verwaarloosbaar gedacht.

(Geulprofiel 330 m² geeft waterspiegelbreedte van 120 m).

Berekende maximale stroomsnelheden bij de drie maatgevende omstan-
digheden en bij de volgende vier gevallen:

I.	Geulprofiel	240 m ² ,	brugprofiel	240 m ² ;
II.	"	330 m ² ,	"	240 m ² ;
III.	"	330 m ² ,	"	280 m ² ;
IV	"	330 m ² ,	"	330 m ² .

Geval		I	II	III	IV
Waarde van den afvoer- coëfficiënt A		525	650	685	720
Eerste omstandigheid (1 à 2 x per jaar).	stroom	221	255	262	272
	snelheid in brugprof.	0,92	1,06	0,94	0,82
	snelheid in geul	0,92	0,77	0,79	0,82
Tweede omstandigheid (eens per 10 jaar)	s	362	422	436	450
	v_{brug}	1,50	1,76	1,56	1,36
	v_{geul}	1,50	1,28	1,32	1,36
Derde omstandigheid (uitzonderlijk ongunstig)	s	498	598	624	652
	v_{brug}	2,07	2,49	2,22	1,97
	v_{geul}	2,07	1,81	1,89	1,97

Tabel a

GROOTHEDEN, UITSLUITEND AFHANGENDE VAN HET PROFIEL.

	100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000
$d = 3 \text{ m}; \text{ taluds } 1 : 3; C = 50; h = 2,8.$									
F	50	75	100	150	200	300	400	600	900
$b \left(= \frac{F}{3} \right)$	17	25	33	50	67	100	133	200	300
$\omega (= b + 10)$	27	35	43	60	77	110	143	210	310
R	1,85	2,14	2,33	2,50	2,60	2,72	2,80	2,86	2,90
$C^2 F^2 R \times 10^{-6}$	11,6	30,3	58,3	140,6	260	611	1120	25,0	5865
$\frac{8}{7} \frac{F^2 R}{h^3 b} \left(= \frac{FR}{9} \right)$	10	18	26	42	58	91	124	190	290
$\frac{C^3 R}{2 g}$	246	273	297	319	328	347	357	364	370
som	256	291	323	361	386	438	481	554	660

EERSTE MISC.

BEREKENING VAN s ALS FUNCTIE VAN A .

Tabel b 1

A	100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000
$w = 0,31; T = 14\ 400; q = 30; o = 14\ 100\ 000.$									
z_0	0,090	0,022	0,010	0,006	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000
m	0,068	0,136	0,204	0,272	0,340	0,476	0,681	1,021	1,362
nVz_0	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
$w+z_0+nVz_0$	0,420	0,352	0,340	0,336	0,334	0,332	0,331	0,330	0,330
$\frac{1}{2}m^2$	0,002	0,009	0,021	0,037	0,058	0,113	0,232	0,521	0,927
$nV\frac{1}{4}m^2+w+z_0+nVz_0$	0,044	0,081	0,121	0,162	0,205	0,297	0,456	0,785	1,214
z_T	0,378	0,280	0,240	0,211	0,187	0,148	0,107	0,066	0,043
s_T	615	106	147	184	216	270	327	386	415

Tabel c 1

BEREKENING VAN v ALS FUNCTIE VAN F EN v .

1	F	50	75	100	150	200	300	400	600	900
0		213	323	426	625	821	1181	1529	2150	2980
		112	156	193	251	296	352	389	422	450
		2,24	2,08	1,93	1,67	1,48	1,17	0,97	0,70	0,50
200		160	248	334	501	666	980	1283	1848	2610
		89	126	160	216	262	324	365	408	441
		1,78	1,68	1,60	1,44	1,31	1,08	0,91	0,68	0,49
500		124	196	266	404	542	808	1070	1563	2248
		73	104	133	185	229	293	338	392	426
		1,46	1,39	1,33	1,23	1,14	0,98	0,84	0,65	0,48
1000		96	153	210	321	433	652	870	1289	1880
		59	86	110	155	195	258	305	366	409
		1,18	1,14	1,10	1,03	0,98	0,86	0,76	0,61	0,46
2000			115	159	244	330	501	672	1004	1485
			69	88	124	159	216	263	328	385
			0,92	0,88	0,83	0,80	0,72	0,66	0,55	0,43
3000			96	133	204	277	422	567	850	1266
			59	77	108	138	191	236	301	363
			0,78	0,77	0,72	0,69	0,64	0,59	0,50	0,41

In elk vak: bovenste getal: A; middelste getal: s_T ; onderste

BEREKENING VAN s ALS FUNCTIE VAN A .

A	100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000
$w = 0,760; T = 18\ 000; q = 30; o = 14\ 100\ 000.$									
s_0	0,090	0,022	0,010	0,006	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000
m	0,085	0,170	0,255	0,340	0,425	0,596	0,851	1,276	1,702
mVz_0	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026
$w+s_0+mVz_0$	0,876	0,808	0,796	0,792	0,790	0,788	0,787	0,786	0,786
$\frac{1}{2}m^2$	0,004	0,014	0,032	0,058	0,090	0,178	0,362	0,814	1,450
$m\sqrt{\frac{1}{2}m^2+w+s_0+mVz_0}$	0,080	0,154	0,230	0,308	0,388	0,558	0,838	1,394	2,093
s_T	0,800	0,668	0,598	0,542	0,492	0,408	0,311	0,206	0,143
s_T	89	163	232	294	351	447	558	681	756

Tabel c 2

BEREKENING VAN v ALS FUNCTIE VAN F EN l .

l \ F	50	75	100	150	200	300	400	600	900
0	213	323	426	625	821	1181	1529	2150	2980
	172	245	309	413	494	608	683	774	837
	3,44	3,27	3,09	2,75	2,47	2,03	1,71	1,29	0,93
200	160	248	334	501	666	980	1283	1848	2610
	136	197	252	352	431	549	630	739	812
	2,72	2,63	2,52	2,35	2,16	1,83	1,58	1,23	0,90
500	124	196	266	404	542	808	1070	1563	2248
	110	160	209	296	376	489	578	691	782
	2,20	2,14	2,09	1,97	1,88	1,63	1,44	1,15	0,87
1000	96	153	210	321	433	652	870	1289	1880
	85	130	171	246	313	425	512	631	741
	1,70	1,73	1,71	1,64	1,56	1,42	1,28	1,05	0,83
2000	115	159	244	330	501	672	1004	1485	
	101	133	195	250	352	433	558	678	
	1,34	1,33	1,30	1,25	1,17	1,08	0,93	0,75	
3000	96	133	204	277	422	567	850	1266	
	85	114	167	217	310	389	503	629	
	1,13	1,14	1,11	1,08	1,03	0,97	0,84	0,70	

In elk vak: bovenste getal: A ; middelste getal: s_T ; onderste getal: v_T .

BEREKENING VAN σ ALS FUNCTIE VAN λ .

λ	100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000
	$w = 1,09; T = 9\ 000; q = 30; c = 14\ 100\ 000.$								
z_0	0,090	0,022	0,010	0,006	0,004	0,002	0,001	0,000	0,000
m	0,042 ⁵	0,085	0,128	0,170	0,212	0,297	0,425	0,638	0,850
mVz_0	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
$w+z_0+mVz_0$	1,193	1,125	1,113	1,109	1,107	1,105	1,104	1,103	1,103
$\frac{1}{2}m^2$	0,001	0,004	0,008	0,014	0,022 ⁵	0,044	0,090	0,203	0,361
$m\sqrt{\frac{1}{2}m^2+w+z_0+mVz_0}$	0,046	0,090	0,136	0,180	0,226	0,316	0,456	0,699	0,963
z_T	1,148	1,039	0,985	0,943	0,904	0,833	0,738	0,607	0,501
s_T	107	204	298	389	476	639	860	1170	1417

Tabel c 3

BEREKENING VAN v ALS FUNCTIE VAN F EN l .

$l \backslash F$	50	75	100	150	200	300	400	600	900
0	213	323	426	625	821	1181	1529	2150	2980
	217	319	412	577	730	978	1186	1500	1880
	4,34	4,25	4,12	3,85	3,65	3,26	2,96	2,50	2,09
200	160	248	334	501	666	980	1283	1848	2610
	165	249	330	477	607	847	1041	1358	1710
	3,30	3,32	3,30	3,18	3,05	2,82	2,60	2,26	1,90
500	124	196	266	404	542	808	1070	1563	2248
	130	200	266	392	512	724	903	1206	1530
	2,60	2,67	2,66	2,61	2,56	2,41	2,26	2,01	1,70
1000	96	153	210	321	433	652	870	1289	1880
	103	158	213	317	418	600	768	1046	1372
	2,06	2,11	2,13	2,12	2,09	2,00	1,92	1,74	1,53
2000		115	159	244	330	501	672	1004	1485
		121	164	245	326	477	615	863	1160
		1,61	1,64	1,63	1,63	1,59	1,54	1,44	1,29
3000		96	133	204	277	422	567	850	1266
		103	139	208	277	408	532	751	1031
		1,37	1,39	1,39	1,38	1,36	1,33	1,25	1,15

In elk vak: bovenste getal: λ ; middelste getal: s_T ; onderste getal: v_T .

UITTREKSEL UIT DE WAARNEMINGEN IN HET SLUITGAT VAN DEN NOORD-OOSTELIJKEN POLDER.

De waarnemingen zijn verricht in het tijdvak van 10 Juli 12 December 1940. De vordering van het werk in deze periode kan worden afgelezen uit tabel 1, waarin de sluitgatbreedten op verschillende data zijn weergegeven.

Tabel 1.

SLUITGATBREEDTEN

Datum:	10 Juli	20 Juli	31 Juli	10 Aug.	20 Aug.	31 Aug.
Breedte in m:	3335	3040	2750	2475	2350	2000
Datum:	10 Sept	20 Sept	30 Sept	10 Oct.	20 Oct.	31 Oct.
Breedte in m:	1800	1615	1480	1130	900	620
Datum:	10 Nov.	20 Nov.	30 Nov.	6 Dec.	12 Dec.	
Breedte in m:	540	480	200	80	40	

De ligging van den zeebodem in het sluitgat en de omgeving kan op 3,3 m - N.A.P. worden gesteld.

Over een afstand van ongeveer 500 m, aansluitende tegen den oorspronkelijken dijkkop, was in het sluitgat een keileemdam gestort, waarvan de hoogte varieerde van 2,0 m tot 0,5 m. Na het begin van November nam deze keileemstorting practisch het geheele sluitgat in. Daar door stroomschuring af en toe verlagings van den dam optrad, werd deze daarna van tijd tot tijd op hoogte gebracht. Volgens de in de wekrappen vermeldde peilingen kan de gemiddelde hoogteligging van den dam worden gesteld op:

	8 Nov.	15 Nov.	29 Nov.	6 Dec.	13 Dec.
m - N.A.P.	2,85	2,75	3,25	2,20	2,70

De verrichte waarnemingen zijn tweeledig. In de eerste plaats zijn tijdens de werkzaamheden de waterstanden op eenige plaatsen in de omgeving van het gat regelmatig om de twee uur waargenomen, zoowel aan de binnenszijde als aan de buitenszijde

van den dijk. Van de gebruikte peilschalen zijn er twee (bij Hm 321, in perceel III) nagenoeg steeds waargenomen; deze lagen aanvankelijk bij de rand van het gat, doch door het voortwerken van den dijk waren zij bij de sluiting bijna 4000 m bewesten het gat komen te liggen. Daarnaast zijn af en toe waarnemingen verricht aan peilschalen ten oosten van het gat op een afstand van 1000, 1500 of 2000 m.

Een overzicht van de vervalwaarnemingen aan de westzijde van het gat, bij Hm 6200, geeft tabel 2. Het grootste waargenomen verval bedroeg 69 cm, op 6 December 1940 te 16 uur.

Op de dagen, dat aan de oostzijde van het gat vervalwaarnemingen werden verricht, kloppen deze behoorlijk (verschillen van hoogstens enkele cm) met de waarnemingen aan de westzijde

Tabel 2.

OVERZICHT VAN DE VERVALWAARNEMINGEN

Periode	aant. waarn.	aant. dagen waarop verr.	aant. dagen waarop				40 of meer cm
			< 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm	
10 Juli-9 Aug.	177	27	170	7			
10 Aug.-9 Sept.	157	26	147	6	3	1	
10 Sept.-9 Oct.	152	26	118	29	5		
10 Oct.-9 Nov.	164	27	138	21	5		
10 Nov.-4 Dec.	96	20	49	31	12	4	
5-12 Dec.	34	7	20	3	5	2	4

In de tweede plaats zijn waarnemingen verricht van de stroomsnelheid in het sluitgat. Deze waarnemingen geschieden met behulp van stokdrijvers, waarvan de drijftijd werd bepaald tusschen enkele raaien evenwijdig aan de dijkrichting, die op de reeds gereedgekomen dijkgedeelten waren uitgezet. De drijflengte bedroeg 40 à 50 m. Aan de waarnemingen is veel zorg besteed, doch de waarnemers waren ongeschoold.

De totaal ongeveer 450 snelheidsbepalingen zijn niet regelmatig verdeeld. Op ongeveer $\frac{1}{3}$ van het totaal aantal dagen zijn geen waarnemingen verricht; op de overige één tot verscheidene malen per dag op willekeurige tijdstippen. De tendentie is aanwezig, dat op dagen, waarop sterke stroomingen optreden, meerdere malen is gemeten dan op dagen met zwakken stroom.

In de meeste gevallen zijn de waarnemingen te verdeelen in groepen van drie, die met korte tusschenpoozen (10 à 15 min) zijn verricht en waarvan twee zijn gedaan nabij de einden van het sluitgat, op ongeveer 100 m afstand van de dijkkoppen, terwijl de derde waarneming in het middengedeelte van het gat viel. Bij vergelijking blijkt duidelijk de tendentie, dat de stroomsnelheid in het midden kleiner was dan aan de kanten, in elk geval zoolang het gat tenminste 1000 m wijd was.

Een overzicht der verrichte snelheidswaarnemingen is gegeven in tabel 3.

Tabel 3.

OVERZICHT VAN DE SNELHEIDWAARNEMINGEN IN HET SLUITGAT.

Periode	aant. waarn.	aant. dagen waarop verr.	aant. waarn. met snelh. in cm/sec				200 en mee.
			0-49	50-99	100-149	150-199	
10 Juli-9 Aug.	71	21	57	12	-	-	-
10 Aug.-9 Sept.	92	24	67	18	5	1	1
10 Sept.-9 Oct.	127	26	65	46	11	3	1
10 Oct.-9 Nov.	96	23	52	25	14	2	3
10 Nov.-4 Dec.	65	20	15	19	21	9	1

5-12 Dec.

zie hierna

- Voor 5-12 Dec. zijn de volgende aantekeningen gesteld:
- " 5 Dec. 8.30 uur: 0,90 m/sec, richting z,
 - 5 Dec. 9.30 uur: tot 4 m/sec? richting z,
 - 5 Dec. 10-18 uur: afwisselend van 0 - 4 m/sec, richting z en n,
 - 6 Dec. van 0 - 5 m/sec, afwisselend n en z,
 - 7 Dec. van 0 - 4 m/sec, afwisselend n en z,
 - 12 Dec. 10.50 uur: 1 m/sec, n en z,
 - 12 Dec. 15.45 uur: 0,96 m/sec, n en z."

Ten aanzien van de vergelijking tusschen de waarnemingen van de stroomsnelheid en het verval valt het volgende op te merken. Doordat de peilschalen, welke werden waargenomen, in het algemeen op vrij grooten afstand van het sluitgat lagen, vormt het hiertusschen geconstateerde verval niet meer dan een benadering van het eigenlijke verval in het sluitgat, dat met de stroomsnelheid moet samenhangen. Het verschil tusschen de beide genoemde grootheden ontstaat door de toe- en afstrooingsweerstand en door opwaaiing in de richting van den dijk.

De eerstgenoemde correcties, die normaal het belangrijkste zijn, nemen in betekenis af, naarmate het sluitgat kleiner wordt.

Bij kleine waarden van het verval zijn de onzekerheden relatief zoo groot, dat deze waarnemingen niet voor vergelijking in aanmerking komen. Een vergelijking tusschen stroomsnelheid en verval is daarom beperkt tot de perioden, waarin de stroom is gemeten en waarbij, hetzij een verval van tenminste 10 cm, hetzij een stroomsnelheid van tenminste 1,5 m/sec is waargenomen. Alle gevallen, waarbij dit optrad, zijn verzameld in tabel 4.

De snelheidswaarnemingen, vermeld in de eerste en derde kolom, zijn verricht nabij de einden van het sluitgat; die in de tweede kolom in het middengedeelte. Intrekkende stroomen zijn met een + teeken aangeduid; uittrekkende met een - teeken. Voor de tijdsaanduiding is M.E.Z.T. gebruikt (zie bijlage D).

WAARNEMINGEN VAN GROOTE STROOMSNELHEID OF VERVAL.

	Stroomsnelheden						Verval					
	I		II		III		IV		V		VI	
	t MEZT	v m/sec	t MEZT	v m/sec	t MEZT	v m/sec	t MEZT	z cm	t MEZT	z cm	t MEZT	z cm
23 Augustus	14.00	-1,00	14.25	-0,75	15.00	<u>-1,60</u>	14.00	- 7	16.00	<u>-10</u>	18.00	-10
29 "	17.20	-0,70	13.15	-1,12	13,45	-1,41	10,00	- 4	12.00	<u>-28</u>	16.00	+ 1
17 September	13.50	<u>+1,78</u>	14.00	+0,96	14.10	+1,35	12.00	- 4	14.00	- 3	16.00	<u>-12</u>
18 "	16.30	-0,60	16.40	-0,22	16.50	-0,37						
20 "	16.50	-0,88	17.00	-0,52	17.10	-0,60	14.00	- 6	16.00	<u>-11</u>	18.00	- 4
	12.00	-1,25	12.10	-0,69	12.25	-0,89	12.00	- 5	14.00	- 4		
	12.40	<u>-1,51</u>										
4 October	15.05	+1,32	15.15	+0,91	15.30	+1,11	14.00	<u>+11</u>	16.00	+ 7		
5 "	9.15	<u>-1,52</u>	9.25	-1,04	9.35	-1,25	8.00	+ 6	10.00	+ 3		
7 "	9.15	-1,43	9.25	<u>-2,17</u>	9.35	-1,22	8.00	+ 2	10.00	+ 2		
8 "	17.30	-0,65					16.00	+ 3	18.00	<u>+12</u>		
10 "	14.00	<u>-1,60</u>	14.20	-0,79			14.00	+ 1	16.00	+ 3		
15 "	11.30	<u>-1,42</u>	11.40	<u>-1,43</u>	11.55	<u>-2,26</u>	10.00	+ 2	12.00	+ 4	14.00	+ 4
	15.00	<u>+1,57</u>	15.10	<u>+3,11</u>	15.15	<u>+2,13</u>	16.00	+ 3				
23 "	11.30	-1,29	11.40	-0,85	11.50	-0,91	10.00	<u>-17</u>	12.00	<u>-18</u>	16.00	- 4
6 November	9.25	-0,30	9.20	-0,42	9.15	-0,60	10.00	+ 9				
	11.20	+1,19			11.40	+1,35						
	11.30	+1,30										
	13.40	+1,19	13.45	+1,12	13.50	+1,25	13.00	<u>+13</u>	14.00	<u>+10</u>	16.00	+ 8
	16.55	+0,80			17.10	+1,07	18.00	<u>+10</u>				
11 "	12.11	+0,96	12.17	+0,89	12.24	+1,15	10.00	+ 8	12.00	<u>+11</u>	14.00	+ 2
12 "	8.35	<u>-1,66</u>	8.42	<u>-1,56</u>	8.50	<u>-1,66</u>	8.30	<u>-20</u>	9.00	<u>-15</u>		
			14.15	<u>+2,50</u>			14.00	<u>+36</u>	16.00	+ 7		
13 "	10.00	-1,11	10.10	-0,88	10.20	-1,39	10.00	<u>-12</u>	12.00	<u>-14</u>	14.00	-10
	14.00	-1,06	14.10	-1,25	14.15	-1,11	16.00	<u>-12</u>	17.30	<u>-16</u>		
	17.00	<u>-1,72</u>	17,05	-1,06	17.10	-1,35						
27 "	10.05		10.05	<u>+1,86</u>	10.15	<u>+1,72</u>	10.00	<u>+16</u>	12.00	+ 9		
			16.45	-1,43			14.00	+ 3	16.00	- 3	18.00	<u>-12</u>
			16.55	<u>-1,70</u>								
5 December			zie hiervoor				9.00	<u>+40</u>	9.30	<u>+44</u>	10.00	<u>+10</u>
6 "							14.00	+15	18.00	- 4		
7 "							9.00	<u>+27</u>	12.00	<u>+37</u>	16.00	<u>+69</u>
							9.00	0	10.00	<u>-12</u>	12.00	<u>-17</u>

De vergelijking wordt bemoeilijkt:

- a. doordat de snelheids- en vervalbepalingen niet terzelfde tijd zijn geschied, terwijl, zooals uit enkele gegevens blijkt, beide grootheden in snel tempo kunnen veranderen;
- b. door de verschillen tusschen de gemeten snelheden op verschillende punten van het sluitgat;
- c. door de afwijking, die het gemeten verval kan vertoonen ten opzichte van het verval in het sluitgat.

Terwijl derhalve geen hoge eischen aan de overeenstemming tusschen gemeten snelheid en verval mogen worden gesteld, is er een aantal data, waarop deze waarnemingen bepaald met elkaar in tegenspraak zijn. Dit is het geval op 17 Sept. - 20 Sept. - 5 Oct. - 7 Oct. - 8 Oct. - 10 Oct. - 15 Oct.

Nu zijn van 11 Sept. - 16 October de stroommetingen verricht door een anderen waarnemer dan vóór en na deze data en wel door een volontair. Dit schept de mogelijkheid, dat de waarnemingen in de genoemde periode van minder gehalte zijn dan overigens het geval is. Inderdaad kan men zich niet onttrekken aan den indruk, dat juist in deze periode de waarnemingen niet voldoende betrouwbaar zijn om er conclusies uit te mogen trekken.

Deze indruk wordt versterkt, indien men bepaalde gevallen nader analyseert. Een typeerend voorbeeld levert 15 October.

Het verval is gedurende den geheelen dag gering en gericht van zuid naar noord, zoodat intrekken stroommen van de orde van 0,8 à 0,9 m/sec zijn te verwachten. Daarentegen geven de stroommetingen 's morgens intrekken stroommen tot 2,26 m/sec en 's middags intrekken tot 3,11 m/sec. Deze waarden zijn niet alleen onverenigbaar met de vervalmetingen, doch ook met het geheele aspect van den toenmaligen toestand. 15 October was een zeer kalme dag; de wind te Urk woef in de middaguren met 2 à 3 m/sec en was in het voorafgaande stmaal niet sterker geweest dan 5 m/sec, steeds uit richtingen tusschen z en ozo. Ook de registrerende peilschalen aan het IJsselmeer wijzen op een geringe waterbeweging; de in het algemeen zeer beweeglijke peilschaallijn van Lemmer schommelt slechts binnen een interval van 10 cm, terwijl de variaties te Urk nog geen cm bedragen. Het is geheel onverklaarbaar, hoe in deze omstandigheden stroomsnelheden in het sluitgat van 2,26 en 3,11 m/sec (overeenkomende met vervallen van 26 en 49 cm) zouden kunnen ontstaan; zelfs de lagere waarden van 1,42 en 1,57 m/sec (10 à 13 cm verval) zijn op een dag als de betreffende niet denkbaar.

Indien men daarentegen de waarnemingen buiten deze periode beschouwt, blijkt - met het noodige voorbehoud ten aanzien van de bovengenoemde onzekerheden bij de vergelijking - een bevredigende overeenstemming. Alle waarnemingen van groote stroomsnelheden gaan gepaard met hoge waarden van het verval in dezelfde richting, terwijl ook wat de grootte betreft een duidelijke correlatie aanwezig is. In tabel 5 is nog een samenvatting van de relevante waarnemingen gegeven, waarbij de bijeen behoo-

rende stroomsnelheden zijn gemiddeld, terwijl de waarden van het verval met de formule $v = \sqrt{2gz}$ tot stroomsnelheden zijn verrekend. Bij de bepaling dezer gemiddelde snelheden is aan de snelheid, gemeten in het middengedeelte van het sluitgat, een tweemaal zoo groot gewicht toegekend als aan de snelheden, gemeten nabij de randen. Wegens de toe- en afstromingsweerstand zullen de met $\sqrt{2gz}$ berekende snelheden in het algemeen groter zijn dan de gemeten snelheden, doch met het vorderen van de afsluiting nemen deze verschillen af en zullen schuilt gaan in de toevallige storingen.

Voor de tijdsaanduiding is MEZT toegepast (zie bijlage D).

Tabel 5

VERGELIJKING VAN SNELHEIDS- EN VERVALMETINGEN.

Datum	Vervalmeting			Snelheidsmeting	
	tijd MEZT	verval z cm	$\sqrt{2gz}$ m/sec	tijd MEZT	gem. snelheid m/sec
23 Aug.	14.00	- 7	-1,18	14.30	-1,02
	16.00	-10	-1,40		
29 Aug.	12.00	-28	-2,30	13.20	-1,41
23 Oct.	10.00	-17	-1,83	11.40	-0,97
	12.00	-18	-1,87		
6 Nov.	10.00	+9	+1,33	11.30	+1,28
	13.00	+13	+1,60		
	14.00	+10	+1,40		
	16.00	+ 8	+1,25		
	18.00	+10	+1,40		
11 Nov.	12.00	+11	+1,47	12.25	+0,97
	14.00	+ 2	+0,63		
12 Nov.	8.30	-20	-1,98	8.40	-1,61
	9.00	-15	-1,71		
	14.00	+35	+2,62		
	16.00	+ 7	+1,17		
13 Nov.	10.00	-12	-1,53	10.10	-1,06
	12.00	-14	-1,66		
	14.00	-10	-1,40		
	16.00	-12 ⁵	-1,56		
	17.30	-16	-1,77		
27 Nov.	10.00	+16	+1,77	10.10	+1,79
	12.00	+ 9	+1,33		
	16.00	- 3	-0,76		
	18.00	-12 ⁵	-1,56		

VERGELIJKING VAN SNEIHEID- EN VERVALMETINGEN.

Datum	Vervalmeting			Snelheidsmeting
	tijd MEZT	verval z cm	$\sqrt{2gz}$ m/sec	
5 Dec.	9.00	+40	+2,80	Afwisselend van 0 - 4 m/sec in beide richtingen
	9.30	+44	+2,94	
	10.00	+10	+1,40	
	14.00	+15	+1,71	
	18.00	- 4	-0,88	
6 Dec.	9.00	+27	+2,30	Afwisselend van 0 - 5 m/sec in beide richtingen
	12.00	+37	+2,69	
	16.00	+69	+3,67	
7 Dec.	9.00	0	0	Afwisselend van 0 - 4 m/sec in beide richtingen
	10.00	-12	-1,53	
	12.00	-17	-1,83	

Beziat men de in Tabel 5 verzamelde cijfers in het licht van bovenstaande overwegingen, dan laten de waarnemingen op 23 Augustus, 29 Augustus, 6 November, 11 November, 12 November en 27 November zich goed verklaren. Op 23 October en 13 November zijn de gemeten snelheden iets lager dan men op grond van het verval zou verwachten; daarentegen zijn de hoogst vermelde snelheden op 5, 6 en 7 December groter dan met de gemeten vervallen overeenstemt. Ten aanzien van deze laatste dagen, toen de grootste snelheden en vervallen zijn waargenomen, valt nog het volgende op te merken.

De wind woei op deze dagen met stormkracht uit zuidwestelijke en westelijke richting; de waterspiegel van het IJsselmeer was zeer bewogen, zoodat te Lemmer b.v. de waterstand in drie kwartier met 75 cm veranderde. De met tussenpozen van meestal twee uren verrichte vervalwaarnemingen geven derhalve geen volledig beeld van den toestand en de extreme waarden behoeven niet te zijn waargenomen. Aan den anderen kant zijn bij de toen heerschende omstandigheden de stroommetingen met een grootere onzekerheid behept dan normaal. Dit is ook de reden, dat de waarnemer niet elke waarneming afzonderlijk heeft gecteerd, doch volstaan heeft met een globale weergeving van de verkregen resultaten (zie Tabel 3). Bovendien is te verwachten dat bij een sterk geconcentreerd verval in het sluitgat de drijver een grootere snelheid zal aannemen, dan overeenkomt met de stroomsnelheid van het water. Houdt men met een en ander rekening, dan zijn de waarnemingen van snelheid en verval niet met elkaar in strijd.

Van belang is echter de pertinente mededeeling van den waarnemer, dat de stroom in het sluitgat verscheidene malen per dag van richting wisselde. Mede op grond hiervan kan men zich niet geheel onttrekken aan den indruk, dat in dergelijke bewogen omstandigheden de stroom in het gat niet geheel wordt

bepaald door de waterstanden op eenigen afstand. Frequente, tijdelijke omkeeringen van het verval immers, hoewel door de waarnemingen niet geheel uitgesloten, moeten toch wel zeer onwaarschijnlijk worden geacht. Hoe de verschijnselen zich precies hebben voorgedaan, is bij gebrek aan gegevens, in het bijzonder van waterstandswaarnemingen ter plaatse van het sluitgat zelve niet uit te maken; men zou kunnen denken aan een soort halingen of seiches, die bij het gat ontstaan en op grooteren afstand ervan steeds meer worden gedempt.

Als conclusie kan derhalve worden gesteld, dat in het algemeen een bevredigende overeenstemming bestaat tusschen de stroommetingen in het gat en de vervalwaarnemingen op eenigen afstand ervan. Er zijn echter enkele aanwijzingen, dat in bewogen omstandigheden tijdelijk en plaatselijk afwijkende snelheden (en dus ook waterstanden) kunnen optreden. Indien deze aanwijzingen juist zijn (hetgeen echter niet vaststaat), zouden zij wijzen op het optreden van halingen of seiches ter plaatse van het sluitgat, die zich als tijdelijke en plaatselijke storingen zouden superponeeren op het algemeen beeld, dat overeenstemt met de vervalwaarnemingen op eenigen afstand van het sluitgat.

BEREKENINGEN VAN STROOMSNELHEID EN VERVAL IN HET SLUITGAT VAN
DEN NOORDOOSTELIJKEN POLDER.

Ter demonstratie van de rekenmethode zal in deze bijlage worden nagerekend, welke stroomsnelheid en verval te verwachten zijn in het sluitgat van den Noordoostelijken polderdijk gedurende een bepaalde stormschtige periode. Hiervoor is gekozen 11 - 12 - 13 November 1940. De berekening der beide andere genoemde perioden verloopt uiteraard op geheel overeenkomstige wijze, zoodat weergave hiervan achterwege is gelaten en alleen de resultaten in bijlage E zijn vermeld.

De berekening waarbij, zooals gezegd, de toestand stapsgewijze is nagegaan, is aangevangen op een zoodanig tijdstip, dat aangenomen mag worden, dat daarvóór de waterstand in alle punten van IJsselmeer en polder nagenoeg dezelfde is. Een zoodanig tijdstip is 10 November 23 uur, toen de IJsselmeerstand te Enkhuizen en te Lemmer 0,10 m - N.A.P. was en ook in de voorafgegane etmalen in beide stations weinig daarvan was afgeweken.

De grootheid w - de som van op- en afwaaiing aan weerszijden van de verbinding - is bepaald uit de waterstanden te Enkhuizen en te Lemmer (kolommen 3 en 4 in onderstaande tabel) en kan, zooals in de tekst is vermeld, worden aangenomen op 95 % van het verschil dezer standen (kolom 6). Een verval, dat aanleiding geeft tot een intrekken stroom (noordwaarts gericht) is met een + teeken aangegeven; bij een verval, dat een zuidwaarts gerichte stroom zou geven is het - teeken gebruikt. Een overeenkomstige aanduiding is gebruikt t.a.v. de stroomrichting.

Het verval, dat voor het sluitgat staat en den stroom bepaalt, kan uit w worden gevonden door rekening te houden met de vulling van het eene en de lediging van het andere bekken in voorafgegane perioden; volgens vergelijking 5 geldt hiervoor (bedenkende, dat in het onderhavige geval $q = 0$):

$$z = w - \int_0^t \frac{s}{\sigma} dt,$$

of bij een verdeling in eindige perioden:

$$z = w - \sum_0^t \frac{s \Delta t}{\sigma}.$$

Als periode is gekozen een tijdsduur van 1 uur, hetgeen voldoende klein gebleken is. Men kan dan de in een zekere periode doorgestroomde hoeveelheid bepalen door den stroom aan het begin der periode over de geheele periodeduur te rekenen. Zoo wordt uit het verval z (kolom 7) de hoeveelheid s en daarmee $\sum \frac{s \Delta t}{\sigma}$ bepaald (kolommen 9 en 10). Op 10 November 24 uur was $z = 0$ doordat in de voorafgegane periode niets doorgestroomd was - $\sum \frac{s \Delta t}{\sigma} = 0$, zoodat $z = w = 14,3$ cm. Uit $s = \pm A \sqrt{z}$ is s bepaald 0 en daarmee $\sum \frac{s \Delta t}{\sigma}$, dat hier gelijk is aan $\sum \frac{s \Delta t}{\sigma}$ (1,2 cm). Voor de volgende periode (beginnende 11 November 1 uur) is nu $z = 13,3 - 1,2 = 12,1$ cm, waarna de berekening op overeenkomstige manier herhaald wordt. Enz.

Voor de numerieke uitwerking zijn de volgende getalengegevens en coëfficiënten gebruikt:

Breedte van het sluitgat b	500 m
Diepte in het sluitgat h'	2,80 m - NAP
Diepte van den omringenden meerbodem h	3,30 m - NAP
Geëduceerde oppervlakte O	41,4 x 10 ⁷ m ²
(Oppervlakte IJsselmeer: O ₁ = 302 x 10 ⁷ m ²)	
(Oppervlakte N.O.polder: O ₂ = 48 x 10 ⁷ m ²)	
Constante van de Chézy	50 m ^{1/2} /sec

Teneinde de in het sluitgat optredende contractie van den stroom in rekening te brengen is in de formules voor b ingevoerd 0,8 x 500 = 400 m en voor het doorstromingsprofiel F: 0,8 x 500 x 2,8 = 1120 m². Deze waarde van 0,8 voor den contractiecoëfficiënt berust uiteraard op een schatting.

Men heeft nu:

$$A = \frac{1}{\sqrt{\frac{8}{\pi^2 C^2 h^3 b} + \frac{1}{2gF^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{8}{\pi^2 50^2 \cdot 3,3^3 \cdot 400} + \frac{1}{2 \times 9,812 \times 1120^2}}}$$

$$= 3980 \text{ m}^{5/2} / \text{sec}, \text{ zodat } s = \pm 3980 \sqrt{\pm z}.$$

Voor de snelheid $v = \frac{s}{t}$ geldt dus:

$$v = \pm 3,55 \sqrt{\pm z},$$

of indien z in cm, v in m/sec:

$$v = \pm 0,355 \sqrt{\pm z} \quad (1).$$

Verder kan worden geschreven:

$$\frac{s \Delta t}{O} = \frac{\pm 3980 \times 3600 \sqrt{\pm z}}{41,4 \times 10^7} = \pm 0,0346 \sqrt{\pm z},$$

of indien z in cm, $\frac{s \Delta t}{O}$ in cm

$$\frac{s \Delta t}{O} = \pm 0,346 \sqrt{\pm z} \quad (2).$$

Met behulp van (1) en (2) zijn de in de kolommen 8 en 9 vermelde grootheden nu gemakkelijk te bepalen.

Er moge nog opgewezen worden, dat bij de berekening van het tijdvak 11 - 12 - 13 November 1940 als tijdverdeling is aangehouden Amsterdamsche Tijd (A.T.), zooals ook voor de registreerende peilschalen om het IJsselmeer het geval is. Daarentegen is voor de in de tabellen 3, 4 en 5 van bijlage C vermelde snelheids- en vervalwaarnemingen de Middel-europeesche Zomertijd (MEZT) gebruikt, die 1 uur 40 min later aangeeft dan A.T. In bijlage E, waar berekening en waarneming zijn vergeleken, is met dit verschil rekening gehouden en zijn alle tijdstippen op A.T. herleid.

11 - 12 - 13 NOVEMBER 1940.

Da- tum	uur AT	stand		ver- schil 4-3 cm	w = -0,95x5 cm	z = -w - $\frac{s \Delta t}{0}$ cm	v = $\frac{s}{T}$ m/sec	$\frac{s \Delta t}{0}$ cm	$\leq \frac{s \Delta t}{0}$ cm
		Enk- hui- zen cm tov	Lem- mer NAP						
		3	4						
10	23	-10	-10	0	0	0	0	0	0
	24	-9	+6	+15	+14,3	+14,3	+1,34	+1,3	1,3
11	1	-14	0	+14	+13,3	+12,0	+1,23	+1,2	2,5
	2	-15	-11	+4	+3,8	+1,3	+0,40	+0,4	2,9
	3	-15	0	+15	+14,3	+11,4	+1,20	+1,2	4,1
	4	-9	+12	+21	+19,9	+15,8	+1,41	+1,4	5,5
	5	-10	+8	+18	+17,1	+11,6	+1,21	+1,2	6,7
	6	-11	+5	+16	+15,2	+8,5	+1,03	+1,0	7,7
	7	-9	+15	+24	+22,8	+15,1	+1,38	+1,3	9,0
	8	-8	+17	+25	+23,8	+14,8	+1,37	+1,3	10,3
	9	-5	+17	+22	+20,9	+10,6	+1,16	+1,1	11,4
	10	-8	+21	+29	+27,6	+16,2	+1,43	+1,4	12,8
	11	-7	-17	+24	+22,8	+10,0	+1,12	+1,1	13,9
	12	-6	+18	+24	+22,8	+8,9	+1,06	+1,0	14,9
	13	-7	+10	+17	+16,2	+1,3	+0,40	+0,4	15,3
	14	-10	+10	+20	+19,0	+3,7	+0,68	+0,7	16,0
	15	-10	+5	+15	+14,3	-1,7	-0,46	-0,5	15,5
	16	-8	+9	+17	+16,2	+0,7	+0,30	+0,3	15,8
	17	-8	+10	+18	+17,1	+1,3	+0,40	+0,4	16,2
	18	-8	+2	+10	+9,5	+6,7	-0,92	-0,9	15,3
	19	-7	+5	+12	+11,4	-3,9	-0,70	-0,7	14,6
	20	-4	+21	+25	+23,8	+9,2	+1,08	+1,0	15,6

1	2	3 stand		4	5	6	7	8	9	10
Da- tum	uur AT	Enk- hui- zen	Lem- mer	ver- schil 4-3 om	$w =$ $=0,95 \times 5$ cm	$z \frac{\Delta t}{\Delta t}$ $= w \frac{\Delta t}{\Delta t}$ cm ⁰	$v = \frac{s}{t}$ m/sec	$\frac{s \Delta t}{0}$ cm	$\leq \frac{s \Delta t}{0}$ cm	
		om tov	RAP							
	21	- 2	+21	+23	+21,8	+ 6,2	+0,88	+0,9	16,5	
	22	+ 2	+28	+26	+24,7	+ 8,2	+1,02	+1,0	17,5	
	23	+ 4	+35	+31	+29,5	+12,0	+1,23	+1,2	18,7	
	24	+ 8	+43	+35	+33,3	+14,6	+1,36	+1,3	20,0	
12	1	+ 6	+65	+59	+56,1	+36,1	+2,13	+2,1	22,1	
	2	+ 5	+45	+40	+38,0	+15,9	+1,41	+1,4	23,5	
	3	+ 4	+33	+29	+27,6	+ 4,1	+0,72	+0,7	24,2	
	4	+ 1	+ 9	+ 8	+ 7,6	-16,6	-1,45	-1,4	22,8	
	5	- 2	+14	+16	+15,2	- 7,6	-0,98	-1,0	21,8	
	6	-10	+ 7	+17	+16,2	- 5,6	-0,84	-0,8	21,0	
	7	-16	-15	+ 1	+ 0,9	-20,1	-1,59	-1,5	19,5	
	8	-11	0	+11	+10,5	- 9,0	-1,06	-1,0	18,5	
	9	-15	+ 5	+20	+19,0	+ 1,5	+0,43	+0,4	18,9	
	10	-15	+ 1	+16	+15,2	- 3,7	-0,68	-0,7	18,2	
	11	-14	+16	+30	+28,5	+10,3	+1,14	+1,1	19,3	
	12	-10	+40	+50	+47,5	+28,2	+1,88	+1,8	21,1	
	13	- 4	+53	+57	+54,1	+33,0	+2,04	+2,0	23,1	
	14	+ 1	+44	+43	+40,9	+17,8	+1,50	+1,5	24,6	
	15	- 4	+43	+47	+44,7	+20,1	+1,59	+1,5	26,1	
	16	- 7	+35	+42	+39,9	+13,8	+1,32	+1,3	27,4	
	17	-10	+15	+25	+23,8	- 3,6	-0,67	-0,7	26,7	
	18	-19	+20	+39	+37,1	+10,4	+1,15	+1,1	27,8	
	19	- 8	0	+ 8	+ 7,6	-20,2	-1,59	-1,6	26,2	
	20	-17	+20	+37	+35,2	+ 9,0	+1,07	+1,0	27,2	
	21	-17	+23	+40	+38,0	+10,8	+1,17	+1,1	28,3	

1	2	3 stand		4	5	6	7	8	9	10
Da- tum	uur AT	Enk- hui- zen om toV NAP	Lem- mer om toV NAP	ver- schil 4-3 cm	$w =$ $= 0,95 \times 5$ cm	$z =$ $= w \frac{\Delta t}{\Delta t}$ cm	$v = \frac{z}{\Delta t}$ m/sec	$\frac{\Delta t}{\Delta t}$ cm	$\sum \frac{\Delta t}{\Delta t}$ cm	
12	22	-17	+19	+36	+34,2	+ 5,9	+0,86	+0,8	+29,1	
	23	-15	+24	+39	+37,1	+ 8,0	+1,00	+1,0	+30,1	
	24	-12	+45	+57	+54,2	+24,1	+1,74	+1,7	+31,8	
13	1	-15	+31	+46	+43,7	+11,9	+1,22	+1,2	+33,0	
	2	-17	+31	+48	+45,6	+12,6	+1,26	+1,2	+34,2	
	3	-17	+35	+52	+49,4	+15,2	+1,38	+1,3	+35,5	
	4	-17	+29	+46	+43,7	+ 8,2	+1,02	+1,0	+36,5	
	5	-17	+28	+45	+42,7	+ 6,2	+0,88	+0,9	+37,4	
	6	-16	+25	+41	+39,0	+1,6	+ 0,45	+0,4	+37,8	
	7	-19	+25	+44	+41,8	+4,0	+0,71	+0,7	+38,5	
	8	-17	+10	+27	+25,7	-12,8	-1,27	-1,2	+37,3	
	9	-17	+15	+32	+30,4	- 6,9	-0,93	-0,9	+36,4	
	10	-11	+13	+24	+22,8	-13,6	-1,31	-1,3	+35,1	
	11	-10	+ 5	+15	+14,3	-20,8	-1,62	-1,6	+33,5	
	12	-10	+11	+21	+20,0	-13,5	-1,30	-1,3	+32,2	
	13	-11	+ 6	+17	+16,1	-16,1	-1,42	-1,4	+30,8	
	14	- 8	+10	+18	+17,1	-13,7	-1,31	-1,3	+29,5	
	15	-12	+ 3	+15	+14,3	-15,2	-1,38	-1,3	+28,2	
16	-10	0	+10	+ 9,5	-18,7	-1,53	-1,5	+26,7		
17	-10	0	+10	+ 9,5	-17,2	-1,47	-1,4	+25,3		
18	-11	- 6	+ 5	+ 5,0	-20,3	-1,60	-1,6	+23,7		

WATERSTANDSVERANDERINGEN TE NIJKERK.
(April 1933 - December 1939).

Bijgevoegde tabel bevat een chronologische opgave van de waterstandsveranderingen te Nijkerk in de periode van April 1933 - December 1939. Van elke waterstandsvariatie is opgegeven de grootte $?$ en de duur T, waarin deze tot stand komt. In het algemeen zijn 2 fasen onderscheiden: de eerste is die, waarin de storm aangroeit; de tweede die, waarin de storm weer afneemt. Van elken storm zijn beide fasen genoteerd, tenzij één der beide fasen zoo langzaam verliep, dat deze voor het onderhavige doel zonder beteekenis is of door een zoo lange tijdsruimte van de overige phase was gescheiden, dat deze onafhankelijk daarvan kan worden beschouwd.

In een enkel geval (17 September 1935) is een tweede opgave vermeld; in dat geval is in den storm een korte onderbreking opgetreden, zoowel in de eerste als in de tweede phase. De eerstvermelde cijfers hebben betrekking op het snelst aangroeiende gedeelte; de tusschen haakjes geplaatste cijfers omvatten de geheele phase met inbegrip van de onderbreking. Beide groepen cijfers zijn vermeld, omdat het van elke nader te bestudeeren situatie afhangt, welke der beide vermelde groepen tot de grootste stroomsnelheden aanleiding geeft. In fig 4 van den tekst zijn op éénzelfde phase betrekking hebbende punten door pijlen versienigd.

Datum	1e phase		2e phase	
	$?$ in cm	T in uren	$?$ in cm	T in uren
<u>1933.</u>				
17 Juni	-	-	70	3
29 Juli	-	-	40	3
1 Augustus	60	4	-	-
27 October	65	7	65	4
28 October	80	10	60	7
<u>1934.</u>				
14 Januari	60	12	60	8
1 Februari	80	12	80	15
8 Februari	-	-	55	5
26 Februari	50	4	55	12
15 Maart	45	4	45	6
15 Maart	45	7	30	5

Datum	1e phase		2e phase	
	in om	T in uren	in om	T in uren
16 Maart	35	6	45	10
16 Maart	40	7	50	7
18 April	50	9	40	5
23 April	80	26	-	-
19 Juni	-	-	55	5
11 Augustus	-	-	40	4
22 September	-	-	75	7
15 October	55	3	45	2
<u>1935.</u>				
12 Januari	-	-	80	14
26 Januari	85	3	75	7
16 Februari	80	10	125	6
29 Maart	60	6	-	-
16 April	55	5	55	7
16 Mei	85	2	75	5
9 Augustus	55	3	70	5
17 September	100 (150)	4 (11)	120 (160)	4 (9)
25 September	100	3	-	-
29 September	60	5	75	3
29 September	50	3	40	2
30 September	40	3	-	-
10 October	75	12	115	4
1 December	-	-	70	3



Datum	1e phase		2e phase	
	γ in cm	T in uren	γ in cm	T in uren
<u>1936.</u>				
9 Januari	60	6	50	7
18 Januari	65	9	-	-
15 Juli	-	-	45	3
15 Juli	50	2	50	2
15 Juli	35	3	-	-
7 September	-	-	65	3
20 October	80	5	-	-
31 October	55	3	50	5
9 November	75	8	-	-
16 November	60	13	65	5
6 December	40	2	-	-
13 December	100	12	-	-
<u>1937.</u>				
6 Januari	55	7	65	4
21 April	-	-	50	2
24 October	55	8	60	8
9 December	40	8	50	10
11 December	65	12	50	7
<u>1938.</u>				
15 Januari	55	6	55	8
31 Januari	55	10	55	2
12 Februari	75	5	-	-
3 April	130	18	-	-

Datum	1e phase		2e phase	
	in om	T in uren	in om	T in uren
30 Mei	-	-	70	4
2 Juni	70	9	70	4
29 Juni	65	8	80	9
4 October	150	10	160	5
4 October	60	3	60	6
7 October	-	-	55	2
23 November	45	3	90	6
26 November	90	12	105	8
5 December	60	10	80	7
<u>1939.</u>				
8 Maart	105	7	60	6
14 Maart	90	9	-	-
16 October	60	2	55	2
19 November	130	2	110	5
26 November	90	10	110	5

BEREKENINGEN BETREFFENDE DE VERBINDING TUSSEN IJMEER EN
GOUWMEER.

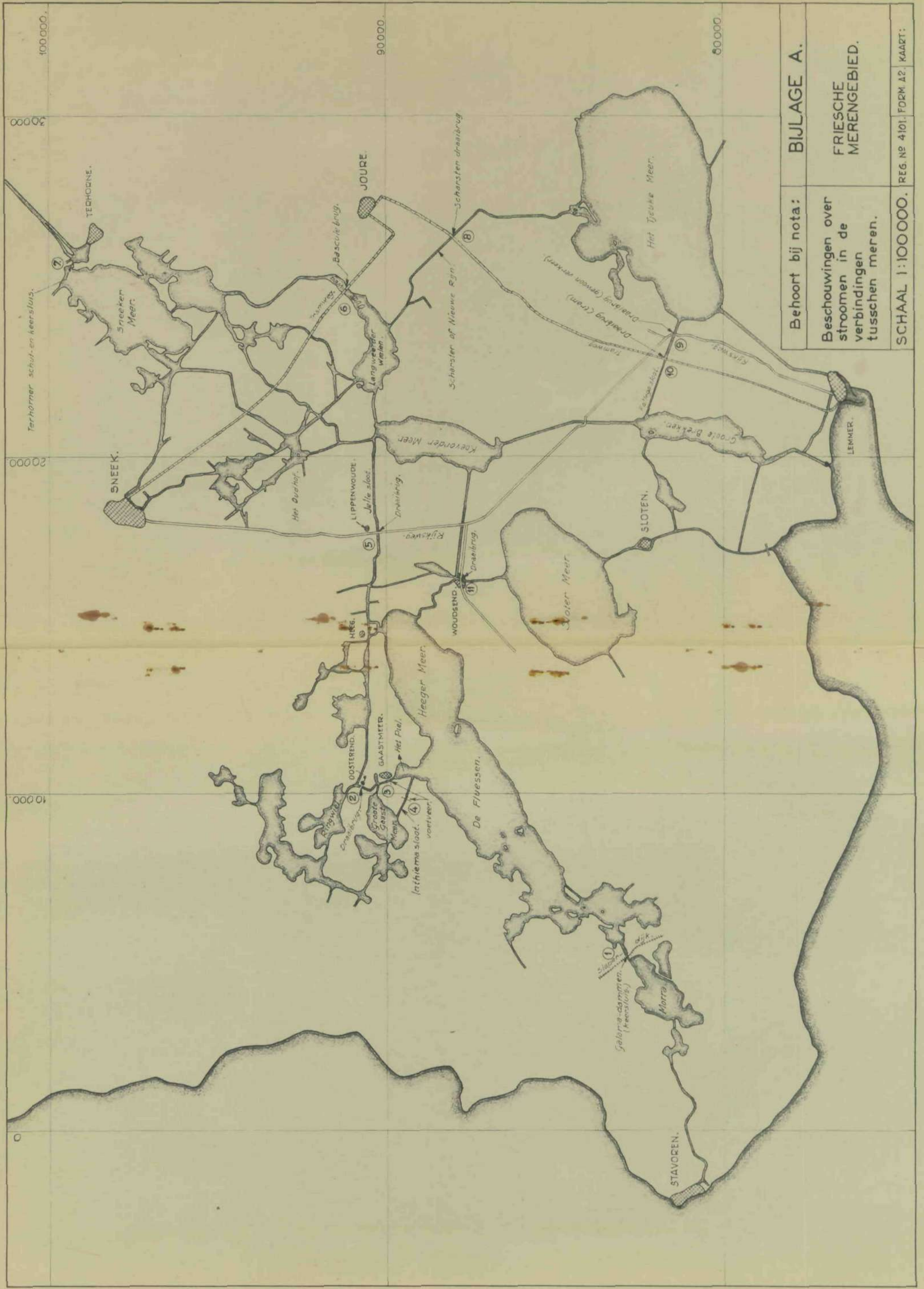
In de eerste plaats zijn in tabel a de waarden afgeleid, die bij het berekenen van het doorlaatvermogen A benodigd zijn en die onafhankelijk zijn van de lengte van de weerstandgeul. Er is van uitgegaan, dat de diepte van de verbinding (3 m), de taluds (1 : 3) en de coëfficiënt van Chézy (50 m²/sec) vaste waarden bezitten, zodat de grootheden uitsluitend variëren met de breedte van de geul, dus een eenduidig bepaalde functie zijn van de oppervlakte van het dwarsprofiel F. De betreffende tabel geldt voor alle drie berekeningen. Zij geeft voor een negental waarden van F de waarden van C²F²R en van

$$\sqrt{\frac{8}{72} \frac{F^2 R}{h^3 b} + \frac{C^2 R}{2g}}.$$

De verdere berekening dient voor de drie gevallen gesplitst te verloopen. In de tabellen b zijn allereerst uit formule (7) voor elk geval de waarden van s_T berekend, die behooren bij een negental aangenomen waarden van A en tevens de waarden van s_T , zooals deze uit (3) volgen. In de tabellen c zijn voor de in aanmerking komende combinatie van de in tabel a gebezigde waarden van F en een zestal waarden van l achter-eenvolgens berekend

1. het doorlaatvermogen A, uit de lengte l en de voor de betreffende waarde van F in tabel a berekende grootheden. De uitkomsten hier van gelden voor alle gevallen; dientengevolge zijn de bovenste getallen in alle overeenkomstige vakken van de drie tabellen c dezelfde.
2. de grootheid s_T , die uit A kan worden gevonden door interpolatie (in eenige weinig belangrijke gevallen ook door extrapolatie) tusschen de in de tabellen b berekende waarden.
3. de waarde van v_T uit $v_T = s_T : F$.

Aan de tabellen c kan dus v_T als functie van F en l worden ontleend. In fig 5 zijn deze functies grafisch voorgesteld.



Behoort bij nota:	BIJLAGE A.
Beschouwingen over stroomingen in de verbindingen tusschen meren.	FRIESCHE MERENGEBIED.
SCHAAL 1:100000.	REG. N ^o 4101. FORM. A2. KAART:

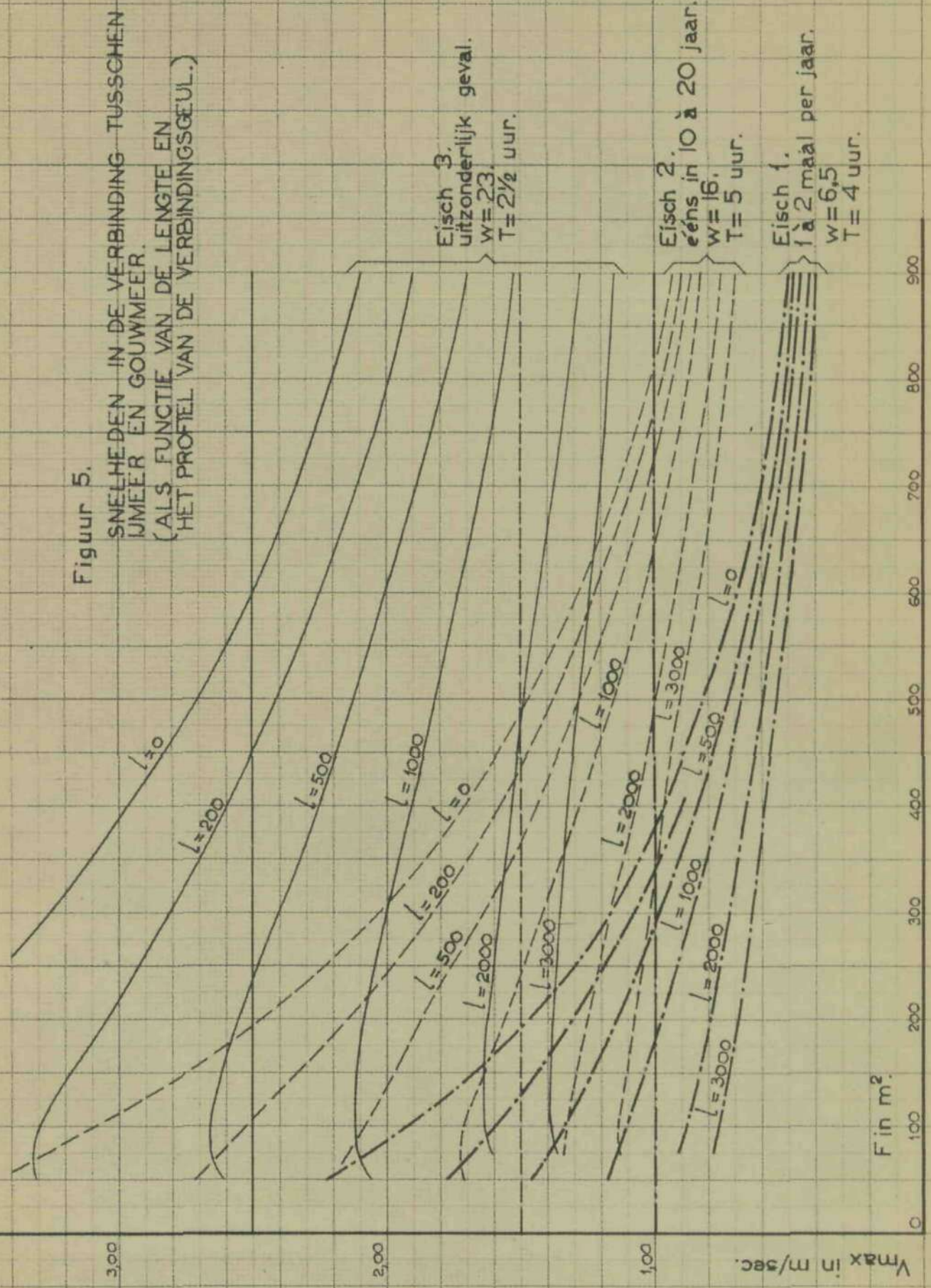
Behoort bij: 581/66

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliothek
postbus 600
8200 AP Lelystad

11-11-1966

11-11-1966

Figuur 5.
 SNELHEDEN IN DE VERBINDING TUSSEN
 NIJMEER EN GOUWMEER.
 (ALS FUNCTIE VAN DE LENGTE EN
 HET PROFIEL VAN DE VERBINDINGSGEUL.)





Behoort bij: b 81766

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheek
postbus 600
8200 AP Lelystad

STAAT VAN VERKREGEN INLICHTINGEN EN PRIJSCHE MERENGEBIED.
(vergelijk bijlage A).

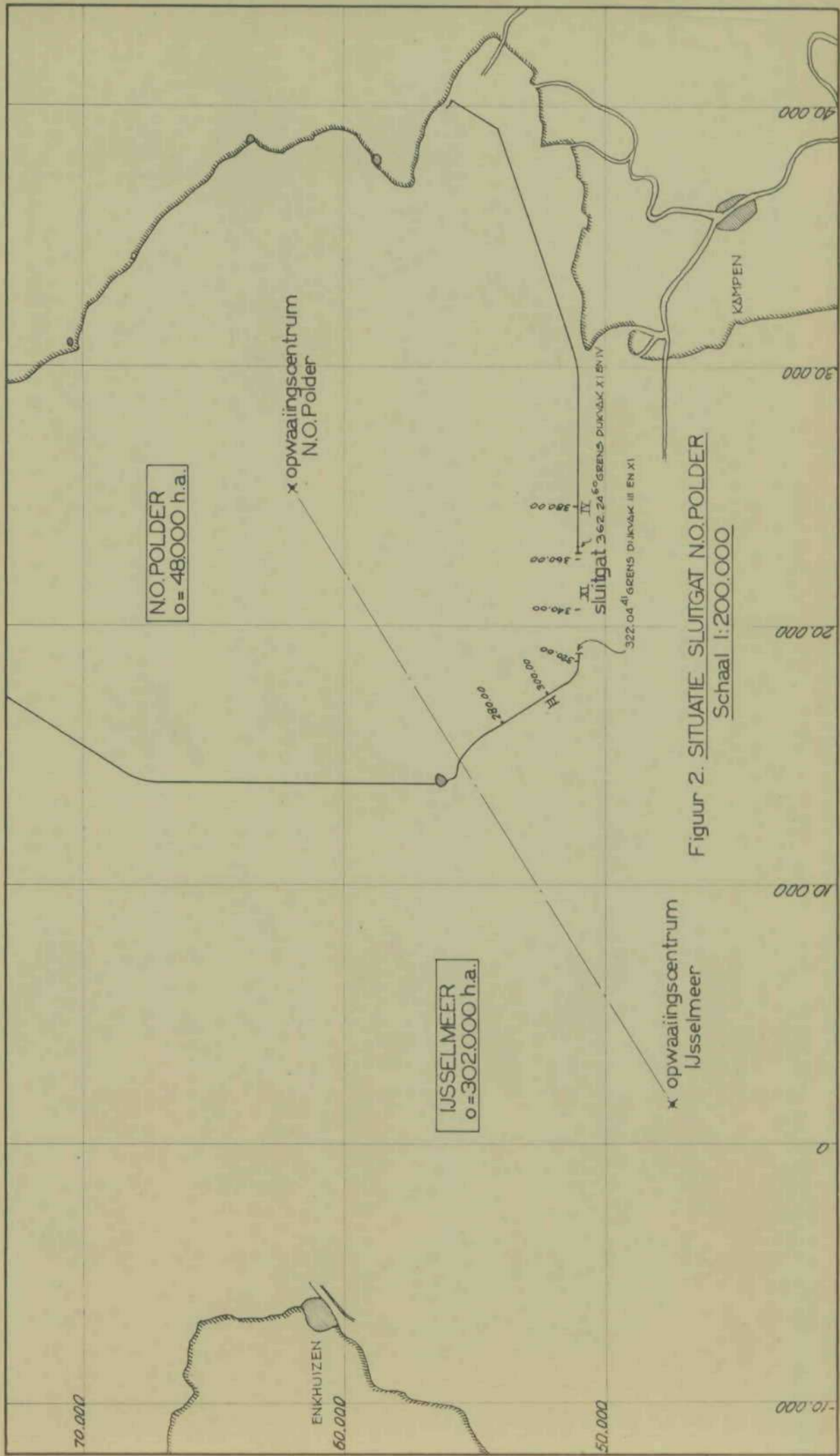
Kunstwerk Opening of verbindingsgeul	Doorsnede Openingen of profiel	Bijzonderheden omtrent de situatie	Wettelijkheden door de scheepvaart ontervonden	Opmerkingen
1. <u>Galamadammen</u>	Keersluis met 3 openingen, waarvan één voor de scheepvaart (wijdte 8 m, drempel 1,93 m - F. 1/2 P.).	Opening tusschen de Morra en de Fluessen.	<p>Naar schatting gemiddeld 10 x per jaar kunnen zelfvarende Shellschepen van 150 à 160 ton niet tegen den stroom in vooruit komen en moeten zich met boeglieren door de opening trekken. Beurtvaarders hebben veel minder last, daar deze meer speling in de breedte hebben. Volgens schippers vormen de Galamadammen het punt in de omgeving, waar de meeste last wordt ondervonden. Dat slechts één opening voor de scheepvaart geschikt is, wordt als een bijzondere hinderpaal ondervonden.</p>	<p>Galamadammen vormen een keersluis van den Rijkswaterstaat in een slaperdijk. Deze sluis staat steeds open. Bij aanwakkeren van den wind kunnen aanzienlijke stroommelheden optreden.</p> <p>De sterkste stroomen vallen niet steeds samen met het hoogtepunt van den storm, terwijl het terugstromen vaak reeds optreedt vóórdat de storm voorbij is.</p> <p>Snelheidsmetingen zijn nooit verricht. Peilschaal aan noordzijde sluis 4 x daags waargenomen en opgezonden aan den Provinciaalen Waterstaat te Leeuwarden (Nieuwe Kanalen).</p>
2. <u>Draaibrug Oostersind.</u> (Bij Gaastmeer).	—	Kleine houten draaibrug over een kronkelende vaart, die de verbinding vormt tusschen de Ringwiel en het Piel (Fluessen).	Scheepvaart ter plaatse onbetekend	Bij storm worden vrij sterke stroomen geconstateerd. Deze worden veroorzaakt doordat, naar men zegt, bij storm het water van de eene plas in de andere wordt gezet.
3. <u>Voetveer te Gaastmeer.</u>	—	Voetveer over de vaart langs Gaastmeer. Deze vormt de verbinding tusschen het Piel (Fluessen) enerzijds en de Ringwiel en het Grootte Gaastmeer anderzijds.	Bij optredende stroomen ten gevolge van wind, wordt volgens den veerman het bedienen van het veer (een roeibootje langs een slappe leetting) soms zeer moeilijk. Grootere vaartuigen door de vaart hebben echter geen last.	—
4. <u>Voetveer over de Inthemasloot.</u> (Bij Gaastmeer).	—	Voetveer over een korte rechte vaart, die het Grootte Gaastmeer met het Piel (Fluessen) verbindt.	Het veer wordt doorgaans bediend door de vrouw van den veerman. Bij storm kunnen zulke sterke stroomen optreden, dat zij dit werk aan haar man moet overlaten. In de vaart zelf ondervindt de overigens geringe scheepvaart geen last.	—

Kunstwerk Opening of verbindingsgeul	Doorsnede Openingen of Profiel	Bijzonderheden omtrent de situatie	Moeilijkheden door de scheepvaart ondervonden	Opmerkingen
5. <u>Draaibrug over de Jeltessloot te Appenwoude.</u>	Twee openingen, breedte 7 en 15 m.	Draaibrug (Rijkswaterstaat) in den rijksweg Sneek-Lemmer. Ligt over de lange Jeltessloot, die het Heegermeer (Fluusen) met het Koeverdiermeer verbindt.	Bij sterke wind duidelijk waar te nemen stroomen. Schepen van 100 à 150 ton doorgaans weinig last; schepen van 200 ton moeten zich helpen met hun boeglieren. Deze schepen sluiten de eene opening geheel af, waardoor alle watertransport door de andere moet plaats vinden. In de Jeltessloot zelf ondervinden deze schepen geen moeilijkheden.	Stroommetingen zijn nooit verricht. Er staat een peilschaal, deze wordt echter niet opgenomen.
6. <u>Basculebrug over "de Oude Weg".</u>	Brug heeft 1 doorvaartopening benevens 1 stroomopening, ieder 8 m breed.	"De Oude Weg" is een smalle uitlooper van de Langweerder Wielen. Meer naar het Noorden gaat deze over in een lange bochtige vaart, die het Sneekermeer met de Langweerder Wielen verbindt.	Door wind kunnen belangrijke stroomnelheden optreden. Schepen met opduwers en sleepschepen ondervinden dan bezwaren; motorvaartuigen komen er steeds door.	
7. <u>Terhorner schut- en keersluis.</u> (Noordelijke zijde Sneekermeer).	Twee schutkolken naast elkaar, lengte 49 m, doorvaartwijdte elk 7 m, diepte 2,20 m. Keert slechts naar het zuiden.	Bij S en SW wind in deze sluis zeer ongunstig gelegen, daar de schepen voor het invaren een wijde boog moeten maken met dwarswind en soms tegen den stroom in.	De ongunstigste omstandigheden treden op wanneer na langdurige S of SW wind windstilte volgt en water van het noorden gaat terugstroomen. De sluis kan hier tegen niet keeren. De stroom kan dan zoo sterk worden, dat zelfs vrij varend e motorschepen niet tegen den stroom in kunnen. Op de sluismuuren zijn zware lieren aanwezig om trekkracht te leveren.	Deze sluis dient er hoofdzakelijk toe het water van de Friese meren te keeren, dat bij S en SW wind wordt opgestuwd en naar noordelijk Friesland zou afvloeien. Tot sluiten wordt overgegaan bij een ongunstige ontwikkeling de: weersomstandigheden. Er zijn 2 peilschalen aanwezig die 1 x daags worden opgenomen. Ca. 4 jaar geleden zijn stroommetingen verricht.
8. <u>Scharster draai- brug.</u>	Draaibrug: 1 scheepvaartopening (breedte 7 m) + 1 stroomopening. Daarnaast een kleine duiker.	Ligt over de Scharster of Nieuwe Zijp. Deze zeer lange vaart vormt de verbinding tusschen de Langweerder Wielen en het Sneekermeer en is 20 à 25 m breed.	In de vaart zelf ondervinden de schepen geen moeilijkheden (zelfs schepen met opduwers niet). In de brug is dit wel het geval; sleepschepen kunnen er soms niet doorheen komen. De sluiswachter schrijft dit toe aan het ontbreken van behoorlijke stroomopeningen; de duiker aan de ééne zijde is smal en zeer ondiep. Hierdoor komen de schepen veelal scheef voor de brug te liggen.	Evenals bij 7 treden de grootste stroomnelheden op na langdurige S of SW-wind. Hierbij kan dan komen het malen van Tacozijl. De grootste smalheid is gemeten tijdens den stormvloed van 1916 (2 m/sec).

Kunstwerk Opening of verbindingsgeul	Doorsnede Openingen of Profiel	Bijzond' erheden omtrent de situatie	Moeilijkheden door de scheepvaart ondervonden	Opmerkingen
9. <u>Drasbrug</u> <u>Follegasloot</u> (gewoon verkeer)	Doorvaartopening 7 m; daarnaast 2 stroomope- ningen, elk 7 m breed.	De Follegasloot verbindt het Tjeukemeer met de Grootte Brekken	Bij wind merkbare stroomen, waar- van door de scheepvaart weinig last wordt ondervonden. Wel worden door den wind zeilschepen en lange sleepschepen soms áwars voor den brug gedrongen.	De brug is zóó ruim, dat deze slechts een onbeteekenende versmalling van het kanaalprofiel vormt, in tegenstelling tot de dusver besproken bruggen. De wei- nige door de scheepvaart ondervo- den hinder hangt hier ongetwij- feld mee samen.
10. <u>Drasbrug</u> <u>Follegasloot</u> (trambrug)	Doorvaartopening 9 m; 2 stroomopeningen, elk 6 m breed.	"	Behalve door sommige sleepschepen wordt over 't algemeen bij optredende stroomen weinig hinder ondervonden. De moeilijkheid is echter bij ge- lijktijdig optreden van stroom.	"
11. <u>Drasbrug</u> <u>Woudsend.</u>	De brug met stroomope- ning is even ruim als het aansluitende ka- naalprofiel.	Overbrugging van de verbinding tus- schen Heegermeer (Fluessen) en Slotermeer.	Noch in het kanaal, noch in de brug wordt door de scheepvaart betee- lenende hinder ondervonden. Toch kun- nen aanzienlijke stroomsnelheden op- treden vooral wanneer het gemaal taozijl in werking is.	Stroommetingen zijn nimmer verricht.

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliothek
postbus 600 -
8200 AP Lelystad

Behoort bij: **b 81966**

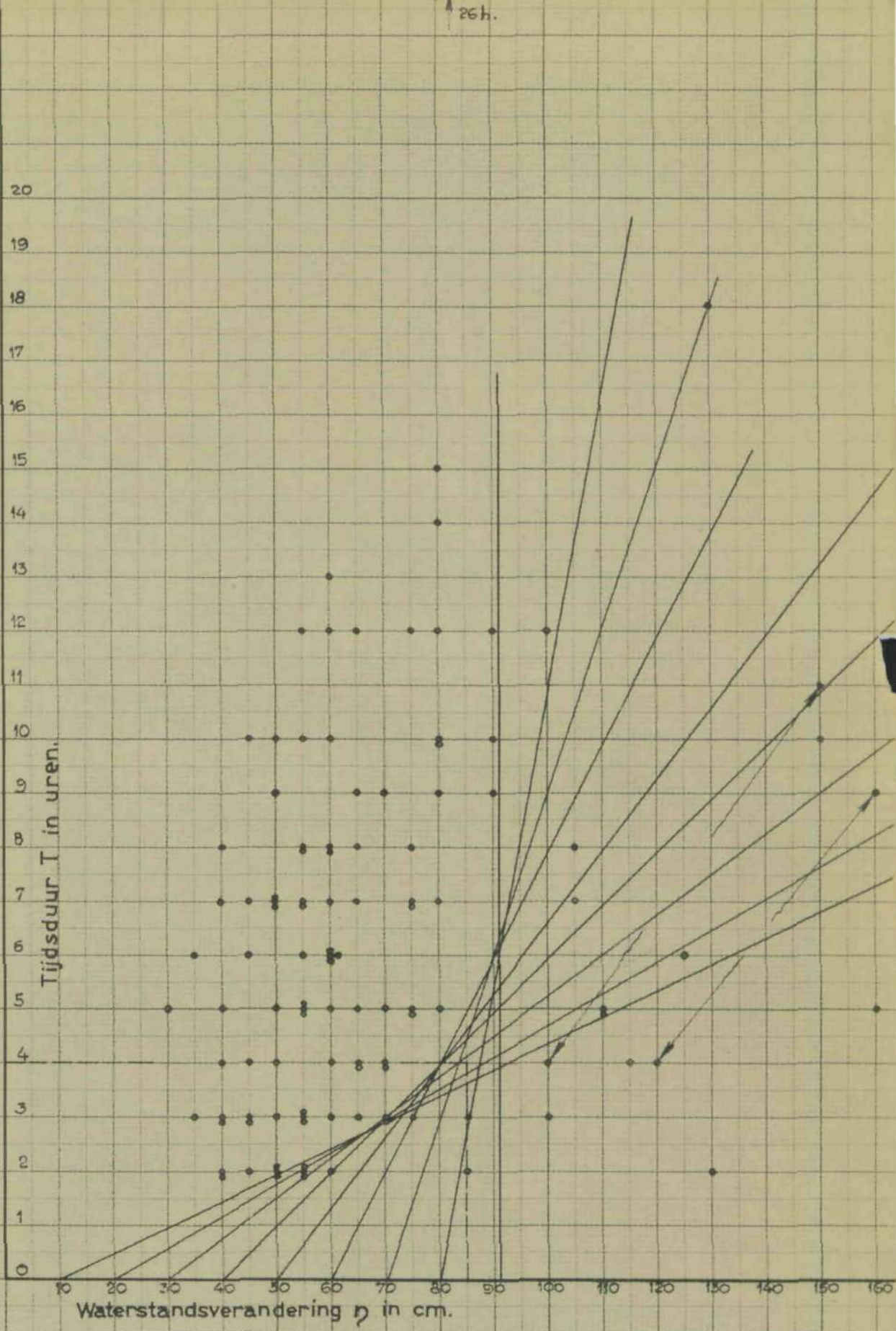


Figuur 2. SITUATIE SLUITGAT N.O. POLDER
Schaal 1:200.000

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheca
postbus 600
8200 AP Leystad

Behoort bij: 681766

26h.



Figuur 4.
WATERSTANDSVERANDERING TE NIJKERK.
(APRIL 1933 - DECEMBER 1939)

Behoort bij: 681766

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliothek
postbus 600
8200 AP Teijstede

40.000

EDAM

GOUWMEER
o = 1820 h.a.

VOLENDAM y = 34650
x = 21150

MONNIKENDAM

MARKEN

1.90-

1.80-

1.80-

30.000

2.55-

2.60-

2.70-

2.75-

dieptematen in m. tov. NAP

y = 24000
x = 22500

IJMEER
o = 6300 h.a.

MUIDEN

20.000

-30.000

Behoort bij nota:

BIJLAGE G.

Beschouwingen over
stroomen in de
verbindingen
tusschen meren.

SITUATIE VAN
IJMEER EN GOUWMEER.

SCHAAL 1:100 000.

REG. N^o 4104

FORM. A 1.

KAART:

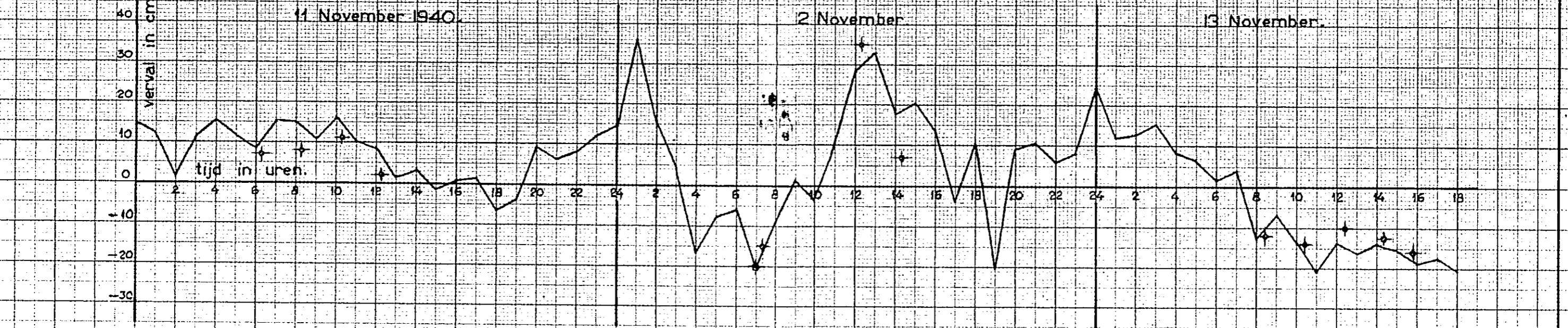
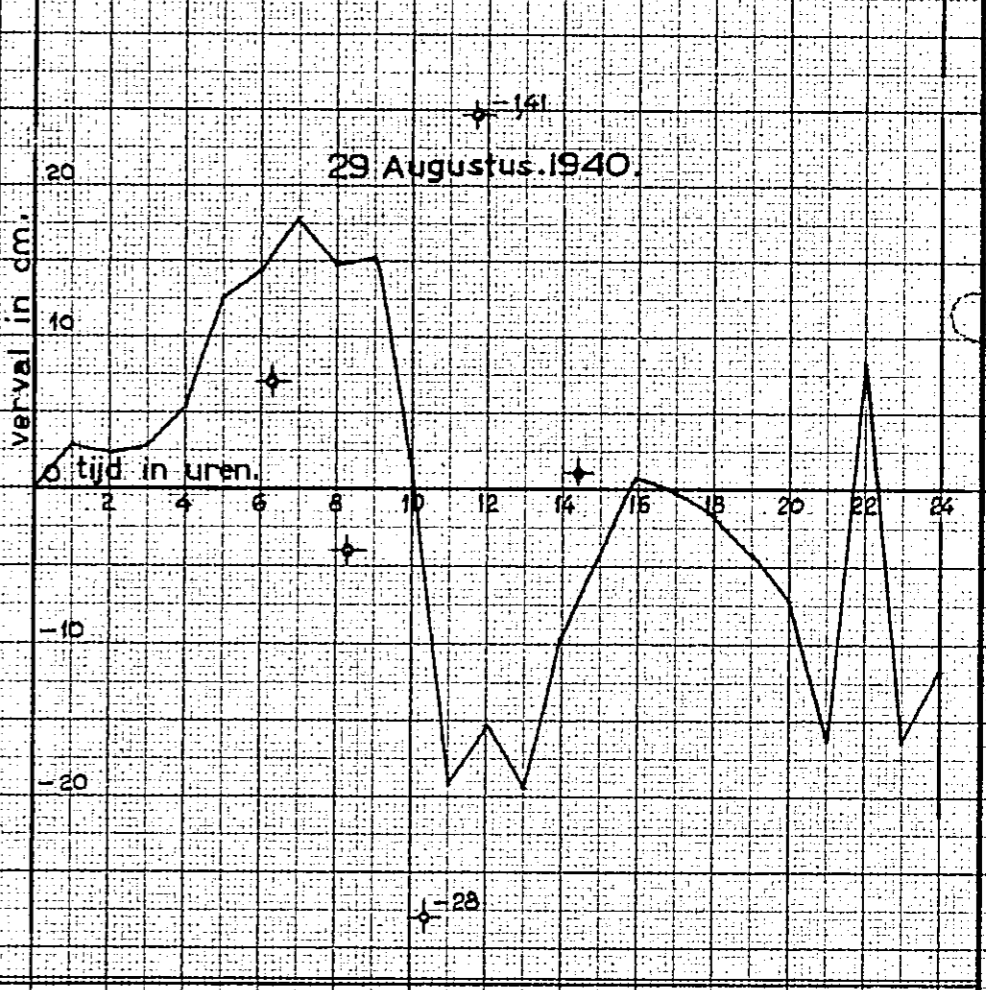
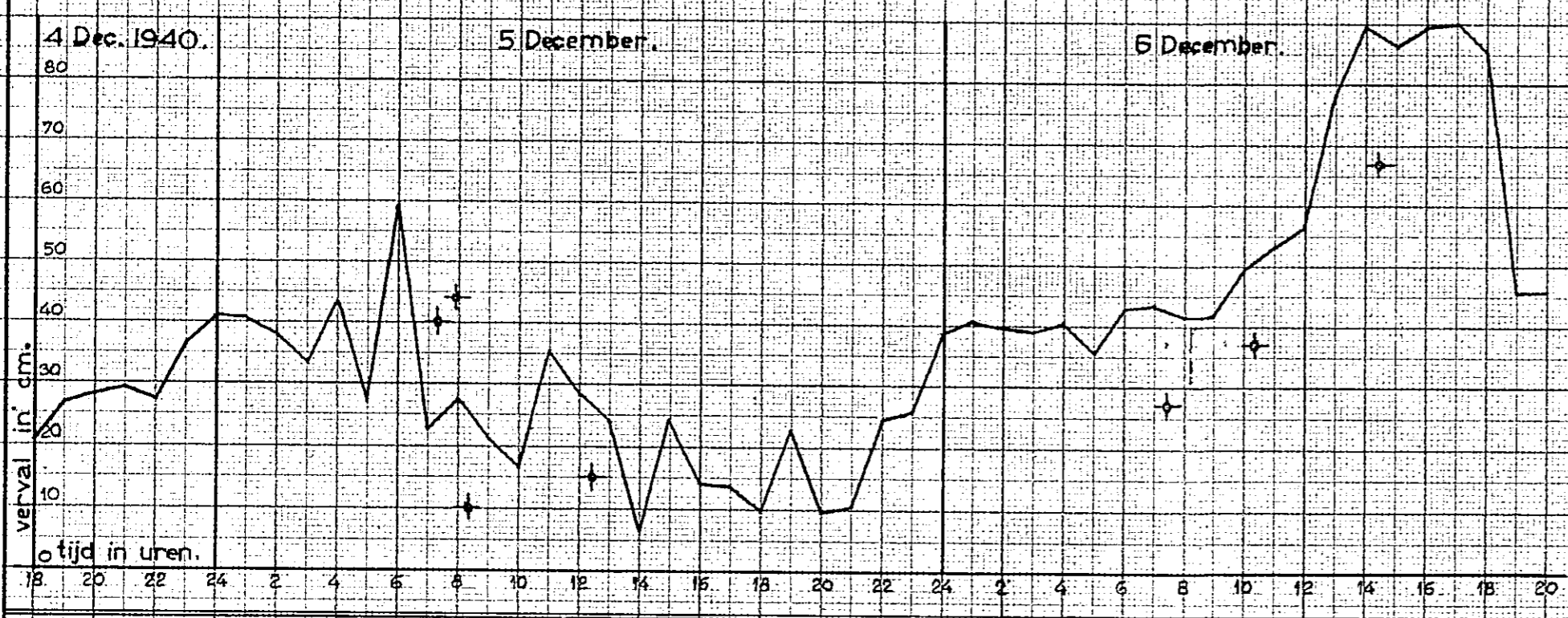
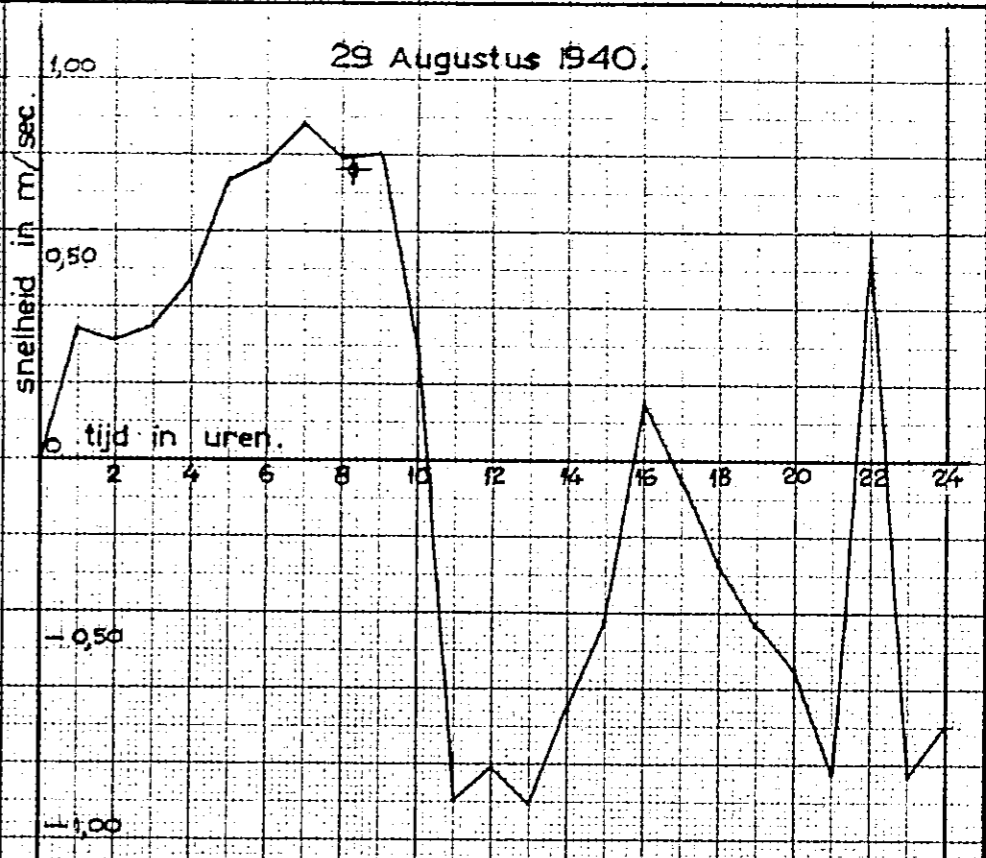
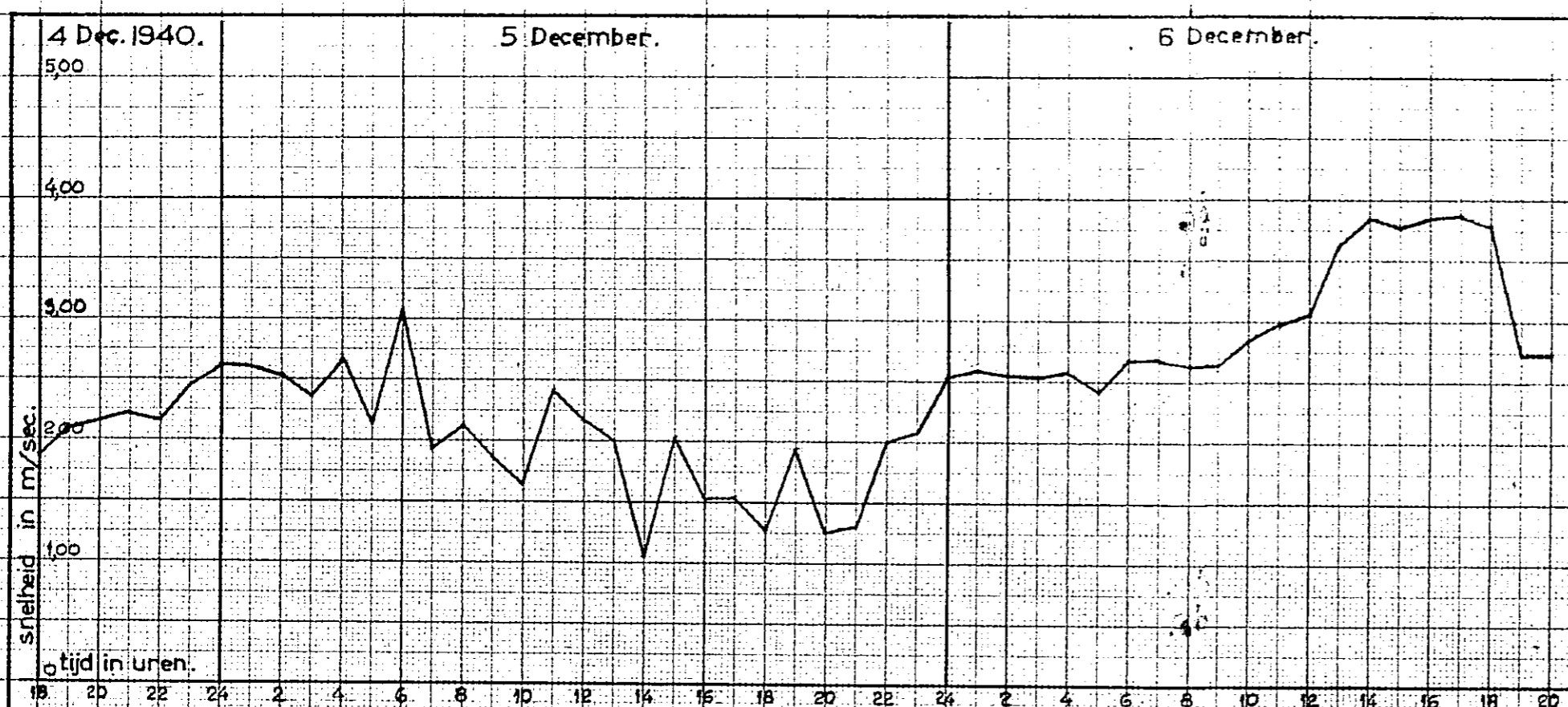
Behoort bij: b 81766

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheek
postbus 600
8200 AP Lelystad

Behoort bij:

681766.

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheek
postbus 600
8200 AP Lelystad



Behoort bij nota: **BIJLAGE E.**
 Beschouwingen over stroomingen in de verbindingen tusschen meren. **BEREKENDE EN WAARGENOMEN STROOMSNELHEID EN VERVAL IN HET SLUITGAT VAN DEN NOORDOOSTELIJKEN POLDER.**