

DE INVLOED VAN DE AFSLUITING DER ZEEGATEN OP DE GETIJBEWEGING
IN DE WESTER-SCHELDENOND.

INHOUD

	blz.
§ 1. Inleiding.	1
§ 2. Algemene beschouwing over het doel der berekeningen en de resultaten	2
§ 3. Nadere beschouwing van de getijbeweging in de monden van de Ooster- en Wester-Schelde	11
§ 4. De directe veranderingen in het mondingsgebied van de Wester-Schelde als gevolg van de afsluiting van de Ooster-Schelde	21
§ 5. Algemene beschouwing over de indirecte beïnvloeding van het getij in de mond van de Wester-Schelde door de afsluiting der zeegetaten.	30
§ 6. Getijberekeningen in een strook langs de Nederlandse en Belgische kust bij open en gesloten zeegetaten	36
§ 7. De invloed van de afsluiting der zeegetaten op de stormvloedstanden.	52
Aanhangsel 1 : Beschrijving van het getijverloop in het Zuidelijk bekken van de Noordzee.	1,1-1,4
Aanhangsel 2 : Formules voor de bepaling van de getijbeweging in de Noordzee met toepassing op de berekening van het getij.	2,1-2,6
Aanhangsel 3 : Schematische berekening van het getij in de Noordzee met behulp van Kelvingolven	3,1-3,4
Aanhangsel 4 : Theoretische formules voor de berekening van de getijbeweging in een strook langs de kust van Nederland en België met behulp van Kelvingolven	4,1-4,4
53 bijlagen.	

§ 1. Inleiding.

Door de afsluiting van enkele zeegaten in het Deltagebied van het Zuid-Westen van Nederland zullen het verticale getij en de stromen langs de Nederlandse kust veranderingen ondergaan.

Het doel van het in dit rapport behandelde onderzoek betreft speciaal het bepalen van de veranderingen in de getijbeweging in de mond van de Wester-Schelde, als gevolg van de afsluiting van de Ooster-Schelde, het Brouwershavense Gat en het Haringvliet.

Hierbij werden dan in het bijzonder de veranderingen, die de normale getijbeweging zal ondergaan, bestudeerd. Voor dit geval zijn voldoende gegevens bekend om meer nauwkeurige berekeningen op te kunnen stellen. Voor de stormvloeden is dat in veel mindere mate het geval, zodat het onderzoek inzake de veranderingen der stormvloedstanden van beperkter aard is. Uiteraard zijn de veranderingen, die het getij zal ondergaan, ook van belang voor de beoordeling van de veranderingen in de stormvloedstanden. Bovendien kunnen zeer veel verschillende stormvloedstypen voorkomen, waardoor de invloed van de afsluiting verschillend zal zijn. (§ 7)

De invloed van de afsluitingen op de normale getijbeweging in de mond van de Wester-Schelde kan worden gesplitst in directe en indirecte invloeden. De directe invloeden worden teweeggebracht door de afsluiting van de Ooster-Schelde via het geulenstelsel dat onmiddellijk ten Westen van Westkapelle is gelegen.

De indirecte invloeden worden via de gewijzigde getijbeweging in de Noordzee overgebracht.

Om de veranderingen in de normale getijbeweging te kunnen bepalen als gevolg van de afsluitingen werden derhalve drie groepen van berekeningen opgesteld, waarbij de eerste twee betrekking hebben op de bepaling van de indirecte invloeden en de laatste op de berekening van de directe invloeden.

1e. De getijbeweging in het Zuidelijk bekken van de Noordzee, begrensd door de Belgische, Nederlandse en Engelse kust werd bestudeerd. Daarbij werd getracht om het verloop der getijbeweging in dit gebied te berekenen.

Het doel van deze berekeningen was om na te gaan, hoe vanuit theoretisch oogpunt het algemene verticale getij- en stromingsbeeld in dit deel van de Noordzee verloopt en van welke betekenis de stroming naar de Nederlandse zeegaten ten opzichte van de getijstromen in de Zuidelijke Noordzee is.

Hierdoor werd ook inzicht verkregen in het verloop van het verticale getij en de stromingen langs de Nederlandse kust, ook in meer zeewaartse richting. Door berekeningen van Engelse en Duitse zijde was het algemene verloop van de verticale getijbeweging reeds genoegzaam bekend. De dezerzijds opgestelde berekeningen dienden hoofdzakelijk om een duidelijker beeld van het verloop der stromen te verkrijgen, dan tot nu toe uit de metingen volgde.

2e. De tweede groep berekeningen had betrekking op een strook van de Noordzee langs de Nederlandse en Belgische kust. Deze berekeningen waren van meer schematisch karakter. Hierdoor was het mogelijk om een inzicht te verkrijgen in de orde van grootte van de veranderingen als gevolg van de afsluiting van de zeegaten op het getij langs de Belgische en Nederlandse kust.

3e. Tenslotte werd nagegaan, welke directe invloed afsluiting van de Ooster-Schelde zal hebben op het getij in de mond van de Wester-Schelde. Tevens werd berekend welke HW- en LW-standen bij normaal getij zullen optreden ter plaatse van de dam in de Ooster-Schelde.

Met behulp van de hiervoren genoemde berekeningen bleek het mogelijk om een voldoende inzicht te verkrijgen in het gestelde vraagstuk.

De gevonden verschillen tengevolge van de afsluitingen zijn gering en daardoor moeilijk met grote nauwkeurigheid te bepalen, temeer daar zij in het algemeen de resultante vormen van enkele elkaar tegenwerkende tendenzen.

Om toch een zo duidelijk mogelijk beeld te verkrijgen zijn daarom, zoals nog nader zal worden aangetoond, de aannamen en schematisaties zo gekozen, dat de verschillen duidelijk tot uiting komen.

Voor de in werkelijkheid te verwachten verschillen mag daardoor op kleinere waarden worden gerekend.

§ 2. Algemene beschouwing over het doel der berekeningen en de resultaten.

We bespreken eerst in het kort de directe veranderingen, die door de afsluiting van de Ooster-Schelde op het getij in de Wester-Scheldemond teweeggebracht zouden kunnen worden.

Het is duidelijk, dat deze veranderingen belangrijk zouden zijn, indien bij de bestaande toestand een belangrijke stroming plaats heeft van het Wester-Scheldegebied naar het Ooster-Scheldegebied en omgekeerd via het gebied ten Westen van Westkapelle.

Uit de beschikbare uitvoerige stroommetingen, die in dit rapport nader worden behandeld, blijkt, dat dit niet het geval is. Bijzonder verhelderend zijn in dit opzicht de gegevens, die op bijlage 2 zijn vermeld. Op deze bijlage zijn aangegeven de stromen, die in loodrechte richting door de verschillende vakgedeelten gaan in een raai, die in Westkapelle ongeveer loodrecht op de kust is aangebracht. Ook zijn getekend de stromen die resp. naar de Ooster- en Wester-Schelde gaan. Dan blijkt o.a. dat de waterbeweging in het gebied ten Westen van Westkapelle voor een zeer belangrijk deel door de Noordzee getijbeweging wordt bepaald en voor een geringer deel door de waterbeweging naar de zeegaten. Voorts is opmerkenswaard een vloedoverschot onmiddellijk langs de kust en een eboverschot verder zee- waarts. Indien de verschillen tussen deze tijstippen belangrijk zouden zijn, zou men door de dan optredende rondstromingen belangrijker wijzigingen in de getijbeweging kunnen verwachten, dan nu het geval is.

Blijkens de resultaten van de uitgevoerde stroommetingen, verloopt de verbinding tussen de twee zeearmen hoofdzakelijk via het Oostgat, dat direct ten N. van Westkapelle in verbinding staat met de Roompot, die weer een belangrijke geul is van het Ooster-Scheldemondingsgebied. Overigens is deze verbinding slechts van secundaire betekenis, daar de beide geulen zich verder voortzetten in N.W. richting en daar van elkaar gescheiden zijn door een bankengebied. Een hoofddoel van ons onderzoek zal er dus op gericht moeten zijn om te bepalen, welke invloed de afsluiting op de stromen in het Oostgat zal hebben en in verband daarmee de wijzigingen in het getij van Westkapelle.

De Deurloo, de meer zuidelijk gelegen mond van het Wester-Schelde gebied wordt door platen van het Oostgat gescheiden, zodat de invloed op deze geul van secundaire betekenis zal zijn t.o.v. die op het Oostgat.

De directe invloeden van de afsluiting van de Ooster-Schelde op het Wester-Schelde gebied blijken derhalve gering. In het algemeen moet men het zo zien, dat de water toe- en afvoer van de zeegaten uit de Noordzee afkomstig is, terwijl in vergelijking daarmee de waterbeweging in de directe verbindingen tussen deze zeegaten van secundaire betekenis is.

De berekeningen, die op deze laatste onderzoeken betrekking hebben, zijn in de inleiding onder 3e. genoemd en worden in de volgende paragrafen nader behandeld.

Ook wordt in § 4 de verandering van het verticale getij bij de afsluitdam nader berekend. Daarbij werd gevonden, dat het HW met ongeveer 20 cm zal toenemen en het LW met 16 cm zal dalen, wijzigingen die dus inderdaad van betekenis zijn.

Buitenwaarts gaande neemt de verhoging van de HW-stand zowel als de verlaging van het LW door de afsluiting, af. Zij zullen in de buitenmond van Westgeul en de Roompot niet meer waarneembaar zijn. Ook in de richting van Westkapelle en westelijk daarvan neemt de verhoging af, zodanig, dat de HW-stand bij Westkapelle als gevolg van de directe invloeden nagenoeg onveranderd zal blijven. Doordat nl. de stromen in het gebied onmiddellijk westelijk van Westkapelle, die bij HW een belangrijke component evenwijdig met de kust bezitten, zwakker worden, zullen de Corioliskrachten, die de HW-stand te Westkapelle t.o.v. het getij in dit aansluitende gebied verhogen, ook zwakker worden. Deze tendenz zal een eventuele verhoging als gevolg van de afsluiting van de Ooster-Schelde geheel of gedeeltelijk teniet doen. Daar deze beide veranderingen klein zijn en slechts enkele cm's bedragen, is het moeilijk uit te maken, welke van de beide invloeden de sterkste is. In ieder geval is het zeker dat de HW-stand te Westkapelle slechts zeer weinig zal veranderen als gevolg van de directe beïnvloeding door de sluiting van de Ooster-Schelde.

We vermelden verder de conclusie van de berekeningen betreffende de veranderingen van de snelheden in de buitengeul van het Oostgat, die van Westkapelle N.W. naar het Westgat verloopt. Als gevolg van de afsluiting zullen de maximale snelheden van eb en vloed in deze geul kleiner worden.

Tegenover deze invloed, die op zichzelf beschouwd voor het instandhouden van deze geul niet gunstig is, staat echter een andere factor, die in dit opzicht ten goede werkt. Door de afsluiting zullen nl. ook de dwarsstromen die bij eb en vloed gedurende een belangrijk deel van het getij over deze geul trekken, kleiner worden. Deze dwarsstromen zijn het gevolg van de getijbeweging langs de kust in de Noordzee en van stromingen naar de Ooster-Schelde op bepaalde momenten van het getij. Deze laatste zullen na de afsluiting niet meer optreden, zodat ook het vloedoverschot zal afnemen.

Zoals gezegd, moeten we directe en indirecte invloeden van elkander scheiden. Dan kan niet verwacht worden, dat het getij te Vlissingen een directe invloed zal ondervinden van de afsluiting der zeegaten, temeer daar de Wielingen, die de getijbeweging in de mond van Wester-Schelde in hoge mate beheerst en die in belangrijke mate onder invloed van de stroming van het Nauw van Calais staat, geen waarneembare directe invloed van de afsluiting zal ondervinden.

We behandelen nu in het kort de indirecte invloeden, die de getijbeweging langs de Belgische en Nederlandse kust kunnen wijzigen als gevolg van de afsluiting der zeegaten.

Als gevolg van de afsluiting van bepaalde zeegaten zullen de getijstromen langs de Nederlandse kust veranderen, zodat de krachten, die de getijvoortplanting langs de kust bepalen, ook veranderen.

Deze krachten zijn:

1. de vertragingskrachten,
2. de weerstandskrachten,
3. de Corioliskrachten.

Verder wordt het probleem bepaald door het getijverloop op nader te kiezen randen van een gebied van de Noordzee, dat de zeegaten omsluit. Een deel van de rand wordt gevormd door de kust; het verdere deel wordt op voldoende grote afstand van de kust zo gekozen, dat aangenomen mag worden, dat de verticale getijbeweging daar nagenoeg niet zal veranderen. Dat een dergelijke rand binnen het Zuidelijk deel van de Noordzee bestaat is wel plausibel in verband met de geringe betekenis van de stroming naar de zeegaten t.o.v. de waterbeweging in de Noordzee.

De beantwoording van de vraag of het getij in het omsloten gebied zal toe- of afnemen is ook afhankelijk van de phase van de stroming naar de zeegaten t.o.v. die in de Noordzee.

Blijkens de resultaten van de stroommetingen en de uitgevoerde berekeningen van het Noordzeegebied in het onderlinge verband als volgt;

De tijden van de maximum stroomsnelheden in de beide mondingsgebieden van de Ooster- en Wester-Schelde zijn zeer verschillend van die van de maximum stroomsnelheden in het aansluitende Noordzeegebied. Als de stromen in de mondingsgebieden kenteren van vloed naar eb, of omgekeerd, bereiken de vloed- c.q. ebsnelheden in het aansluitende Noordzeegebied bijna of volledig hun maximale waarden. De maximale ebsnelheden in de mondingsgebieden treden een korte tijd op na de vloed-ebkentering in de Noordzee.

Om de indirecte invloeden te kunnen bepalen, is dus ook een algemeen inzicht in de getijbeweging van het aansluitende Noordzeegebied gewenst. In verband hiermede werd ook een Noordzee-getijberekening uitgevoerd. Uit de resultaten van die berekeningen bleek o.a. dat de getijbeweging in de mond van de Wester-Schelde in belangrijke mate onder invloed staat van de getijbeweging in het Nauw van Calais. Bij de Ooster-Scheldemond is dat al in mindere mate het geval.

Ook krijgt men een indruk over de beperkte betekenis van de getijstrooming naar de zeegaten ten opzichte van de getijbeweging in de Noordzee. Deze invloed is alleen vast te stellen in de onmiddellijke nabijheid van de kust en de zeegaten. Zou men haar op grotere afstand willen bepalen, dan zou de getijberekening in de Noordzee zo nauwkeurig moeten worden uitgevoerd, dat dit praktisch onuitvoerbaar is. Dit is dan bovendien van weinig praktisch belang. Zoals reeds gezegd, diende de Noordzeeberekening vooral om een nader inzicht te verkrijgen in de grootte van de krachten, die het Noordzeegetij bepalen.

Voor een nauwkeurige getijberekening in de onmiddellijke omgeving van de kust is het een bezwaar, dat daar de diepte zeer variabel is. In verband hiermede was het nodig om berekeningen uit te voeren in een strook langs de kust, waarbij dan verschillende variaties werden bestudeerd; zo werden stroken van verschillende breedten en diepten beschouwd, terwijl bij iedere berekening de breedte en diepte in de strook zelf als constant werd aangenomen.

Men kan daaruit bestuderen welke invloed het sluiten van zeegaten heeft op de getijbeweging in een dergelijke strook. Uit de resultaten kan men verder nagaan van welke orde van grootte de invloed is van de wijzigingen in de verschillende krachten, die hierboven zijn genoemd. Bij deze berekeningen moesten echter verschillende veronderstellingen gedaan worden betreffende het verloop van de getijbeweging in de strook. Er werden nl. zgn. Kelvin-golven beschouwd, die slechts tot op zekere hoogte met de werkelijkheid en de inzichten verkregen uit de algemene Noordzeeberekening in overeenstemming zijn.

Het bleek echter, dat sommige veronderstellingen van dien aard waren, dat de werkelijk optredende verschillen in de getijbeweging in de strook als gevolg van de afsluiting der gaten nog geringer zullen zijn, dan werd berekend. Het verschijnsel werd dus extra versterkt en de verkregen resultaten zijn "gemajoreerd" ten opzichte van die, welke in de werkelijkheid zullen voorkomen. Deze discussie is echter slechts mogelijk door vergelijking met de resultaten van de algemene Noordzeeberekening. Deze methode werd echter gevolgd omdat in de berekeningen zelf geen benaderingen behoeften te worden toegepast, zodat de kleine veranderingen, die door de afsluitingen zullen worden veroorzaakt, konden worden berekend.

Als men voor ieder moment de onderlinge samenhang der krachten bestudeert en dit bijv. voor het tijdstip van NW te Westkapelle doet, wordt het volgende gevonden:

Door de afsluiting der zeegaten zullen de vloedstromen, die op dat moment in het Noordzeegebied langs de Belgische kust tot aan Westkapelle voorkomen, wat zwakker worden, zodat de Corioliskrachten zullen afnemen, hetgeen een daling van de HW-stand te Westkapelle tengevolge zal hebben. Ook de weerstandskrachten nemen af, hetgeen de HW-stand relatief weer zal verhogen, terwijl de traagheidskrachten ook groter zullen worden door dat nu belangrijke faseverschillen tussen de Noordzeestromen en die van de zeegaten bestaan. Naar ook de toename van de traagheidskrachten, zal de HW-stand bij Westkapelle relatief verlagen. Enerzijds zullen dus de Corioliskrachten en de traagheidskrachten de HW-stand verlagen, anderzijds zal de weerstandskracht deze verhogen, zodat vermoedelijk de totale verandering van de HW-stand te Westkapelle in een verlaging van een zal resulteren.

Voor de LW-stand geldt een overeenkomstige conclusie in omgekeerde zin, maar dan zullen de veranderingen nog kleiner zijn dan bij HW.

Bij de berekeningen met Kelvingolven in een strook langs de Nederlandse en Belgische kust werd gevonden, dat de getijamplitude langs de Belgische kust tot aan Westkapelle als gevolg van de afsluiting der zeegaten, 4 à 5 cm kleiner zou worden. De verschillende berekeningen, die hierop betrekking hebben, zijn in § 6 uitvoerig behandeld.

Door verschillende redenen zal echter de werkelijk afname van de amplitude kleiner zijn nl.:

1e. Doordat het water dat van de af te sluiten zeegaten afkomstig is, zich langs de Vlaamse kust in de diepere geulen zal verplaatsen, zal de aangenomen diepte in de strook, die overal constant werd verondersteld, langs de Belgische kust te gering zijn. Immers onmiddellijk langs de Vlaamse kust, waar de diepte gering is, stroomt vooral het water naar en van de Wester-Schelde.

Voorts moet in aanmerking worden genomen, dat bij de bepaling van de directe invloeden door de afsluiting van de Ooster-Schelde ten W. van Westkapelle, de ondiepe kuststrook van 10 km breedte, reeds beschouwd is. Hier deed de verandering van de Corioliskracht de verhogende werking van de afsluiting van de Ooster-Schelde op het HW bij Westkapelle ongeveer teniet.

Voor de bepaling van de verandering in de HW-stand te Westkapelle moet dit in rekening worden gebracht.

- 2e. De snelheden in de strook verlopen overal evenwijdig aan de kust, hetgeen in werkelijkheid slechts ten dele het geval is. Hierdoor zullen in werkelijkheid vooral de veranderingen in de Corioliskrachten geringer zijn en zal de amplitude minder afnemen.
- 3e. De stroken werden afgescheiden beschouwd van het overige deel van de Noordzee. De stroming uit het verdere Noordzeegebied zal een deel van de veranderingen teniet doen, hetgeen vooral op de Zuidelijke grens bij Ostende merkbaar zal zijn.
- 4e. Vermoedelijk zijn de veranderingen van de traagheidskrachten in het mathematisch model wat te groot, waardoor de berekende verlaging van de amplituden kleiner zal worden.
- 5e. De plaatsen voor de afsluitingen werden zo ver mogelijk naar buiten aangenomen; bovendien werd ook de Nieuwe Waterweg bij de afsluitingen opgenomen om het rekensysteem te vereenvoudigen. De betekenis van de Nieuwe Waterweg t.o.v. de overige zeegaten is gering.

Alles bij elkaar genomen, zal de berekende verlaging van de amplitude van het getij te Vlissingen in werkelijkheid hoogstens tot enkele cm beperkt blijven. Een verhoging van het getij aldaar door de afsluiting der zeegaten, is echter wel uitgesloten.

Daar bij de voorgaande berekeningen de amplitude werd beschouwd, werden de veranderingen in de HW- en LW-standen even groot berekend.

Toch zullen de veranderingen in de laagwaterstanden te Vlissingen geringer zijn, dan die in de hoogwaterstanden en wel om twee redenen:

- 1e. Door de afsluiting van de Ooster-Schelde zal de laagwaterstand van Westkapelle met vermoedelijk een paar cm verlaagd worden als gevolg van de directe invloeden via het geulenstelsel ten W. van Westkapelle. Immers bij laagwater zullen in dit gebied door de aanwezige banken de Corioliskrachten practisch te verwaarlozen zijn. Zoals in het voorgaande is vermeld, waren deze krachten en haar veranderingen wel bij HW van belang.
- 2e. De indirecte invloeden in de Noordzee zijn bij laagwater zwakker dan bij hoogwater, omdat de stromen, die bij laagwater in de monden der zeegaten voorkomen, geringer zijn dan bij hoogwater. Deze indirecte invloeden zullen het laagwater te Vlissingen verhogen.

In ieder geval is het moeilijk om met zekerheid te zeggen of het laagwater te Vlissingen hoger zal worden; deze eventuele verandering zal minimaal zijn.

Het is zeker dat de verandering van de hoogwaterstand belangrijker zal zijn.

De veranderingen door de afsluiting van de zeegaten op het getij te Vlissingen zal van dezelfde orde zijn als de 10-jaarlijkse veranderingen in de HW- en LW-standen aldaar.

De HW-standen te Vlissingen waren resp.:

1901/10, + 179 cm; 1911/20, + 179 cm ; 1921/30, + 184 cm; 1931/40, + 186 cm; 1941/50, + 188 cm + NAP.

In de laatste twintig jaar heeft dus een toename van 4 cm plaats gevonden.

Voor de LW-standen vindt men de volgende cijfers:

1901/10, - 196 cm; 1911/20, - 193 cm; 1921/30, - 191 cm; 1931/40, - 186 cm; 1941/50, - 185 cm - NAP.

In § 7 wordt een studie gewijd aan de invloed van de afsluiting der zeegaten op de stormvloedstanden. In verband met de beperkte gegevens kon deze invloed niet zo uitvoerig bestudeerd worden als voor het geval van het normale getij.

In verband met de grote verschillen in type werden de belangrijkste voorgekomen stormen nader bestudeerd.

Het bleek mogelijk om voor ieder dier stormen de verhoging bij de dam als gevolg van de afsluiting voor de practijk voldoende nauwkeurig te bepalen. Zo werd bv. gevonden, dat de verhoging bij de afsluitingsdam voor de stormvloed van 1953 niet meer dan 10 cm zou bedragen.

In het algemeen kan bij zware stormen de verhoging op hoogstens 20 cm gesteld worden, dus niet meer dan voor het normale getij berekend werd. Deze relatief geringe verhoging kan worden verklaard, doordat bij zware stormen door opwaaiing en andere effecten thans reeds een belangrijk relatieve verhoging t.o.v. de HW-stand van Westkapelle ter plaatse van de toekomstige afsluitingsdam, gemeten wordt. Zoals ook bij het normale getij gevonden werd, zal er bij de hoogste stormen te Vlissingen geen verhoging optreden als gevolg van de afsluiting van de Ooster-Schelde.

Bij stormen, die van lokaal karakter zijn of van korte duur, kunnen echter ter plaatse van de dam na de afsluiting, grotere verhogingen optreden, zelfs tot 40 cm; vergeleken met de huidige stormvloedstanden. Dan is het mogelijk, dat bij Vlissingen een, hoewel zeer geringe, verhoging van de stormvloedstand door de afsluiting aangetroffen zal worden.

Tenslotte wordt nog de opmerking gemaakt, dat bij de berekeningen de zeegaten op plaatsen afgesloten werden, die uiteraard nog hypothetisch zijn; ze werden echter zover mogelijk naar buiten aangenomen.

SAMENVATTING VAN DE CONCLUSIES.

1. De HW-standen in de mond van de Wester-Schelde zullen enkele cm's kunnen dalen als gevolg van de afsluiting der noordelijke zeegaten. Deze daling is van dezelfde orde van grootte als de stijging, die de HW-standen te Vlissingen gedurende de laatste tien à twintig jaar hebben ondergaan.
2. De LW-standen zullen minder veranderen dan de HW-standen. Een daling van de LW-standen is niet waarschijnlijk.

3. De stromen in de Wester-Schelde zullen niet waarneembaar veranderen.

4. In de monden van de Wester-Schelde kunnen de volgende veranderingen optreden:

- a. In de Wielingen zal de stroming geen verandering ondergaan.
- b. In de buitenmond van het Oostgat kunnen de maximum snelheden kleiner worden.

Ook de dwarsstromen, die zowel bij eb als vloed gedurende een groot deel van het getij over de buitenmond van het Oostgat trekken, zullen zwakker worden.

Op het vak Vlissingen - Westkapelle van het Oostgat zal de verkleining van de stroomsnelheden geringer zijn dan in de buitenmond. Tot nu toe kwamen in deze geul steeds verdiepingen voor.

5. Bij de Ooster-Scheldedam zelf zal bij normaal getij de HW-stand met ruim 20 cm toenemen en het LW met een wat geringer bedrag dalen.
6. Bij zware stormvloeden zal de toename van de hoogste stormvloedstand bij de afsluitingsdam niet groter zijn dan die, welke bij normaal getij werd berekend. Bij de stormvloed van 1953 zou de verhoging nog minder zijn, nl. 10 cm.

Bij stormen van lokaal karakter of die, welke een korte duur zijn, zal het verschil met de bestaande toestand groter kunnen zijn en tot 40 cm kunnen bedragen.

7. Bij zware stormen zoals in 1953 is voorgekomen, zal de afsluiting van de Ooster-Schelde geen invloed uitoefenen op de stormvloedstanden in de mond van de Wester-Schelde.

Ook te Antwerpen zal de stormvloedstand niet toenemen.

8. Bij stormen van lokaal karakter kan eventueel de HW-stand te Vlissingen met enkele cm's toenemen. Daar echter de stormvloedstand te Breskens geen wijziging zal ondergaan, zal de toename van de stormvloedstand te Antwerpen nog beperkter zijn.

§3. Nadere beschouwing van de getijbeweging in de monden van de Ooster- en Wester-Schelde.

Op de Ooster- en Wester-Schelde wordt de richting van de waterbeweging hoofdzakelijk bepaald door de geulen; in de mondingsgebieden is dit in mindere mate het geval.

Men kan voor de Wester-Schelde op de lijn Vlissingen - Breskens de overgang kiezen tussen zeearm en mondingsgebied. Bij de Ooster-Schelde kan als overgang beschouwd worden de lijn Burgh - Vrouwenpolder.

Buiten de gemeente lijnen blijkt de stroom gedurende het getij zeewaarts steeds meer van richting te veranderen. Het vectoriële snelheidsverloop in een punt wordt dan door een zgn. stroomroos beschreven. Dicht bij de kust en de overgangslijnen naar de zeegaten zelf zijn deze stroomrozen langgerekt, met de lange as in de richting van het zeegat, terwijl ze verder buitenwaarts gaande meer cirkelvormig worden.

In de meest buitenwaarts gelegen monden van de geulen in de buitendelta van de zeegaten komen immers, behalve getijstromen naar de zeegaten, ook belangrijke stromen voor, die het gevolg zijn van de stroming in de Noordzee, zodat de vorm van de stroomrozen daar meer cirkelvormig wordt. In de volle Noordzee daarentegen is hun vorm weer meer langgerekt, maar nu met de lange as evenwijdig aan de kust.

In verband met de belangrijke faseverschillen, die tussen de horizontale getijden van de Noordzee en de zeegaten bestaan (zie nader § 5), is het stroombeeld in de buitenmonden van deze geulen nogal samengesteld. Dit geldt bijv. ook voor de buitenmond van de Wielingen. Meer binnenwaarts, nabij Vlissingen, overheerst uiteraard de waterbeweging naar en van de Wester-Schelde.

Deze buitengebieden kenmerken zich verder door uitgestrekte platen, die door geulen worden doorsneden, waarvan vele, als vloed- of ebscharen kunnen worden beschouwd. Een vloodschaar heeft dan een ondiepere drempel, die meer rivierwaarts is gelegen, terwijl bij de ebschaar het omgekeerde het geval is.

In beide mondingsgebieden zijn er enkele hoofdgeulen aanwezig. Bij de Wester-Schelde onderscheiden we: Wielingen, Deurloo, en Oostgat. Hievan heeft de Wielingen een overheersende betekenis, terwijl het Deurloo het slechtst ontwikkeld is. Het Oostgat is een betrekkelijk smalle en diepe geul. Dat Wielingen en Oostgat als geulen meer ontwikkeld zijn dan het Deurloo is het gevolg van hun ligging respectievelijk langs de Vlaamse kust en de Walcherse oever. Hierdoor zijn de stroomrozen in deze geulen langgerechter dan in het Deurloo en is er voor het grootste deel van het getij een vaste stroomrichting aan te wijzen.

In het mondingsgebied van de Ooster-Schelde worden als belangrijke geulen aangetroffen: de Roompot, het Westgat en een smalle geul langs de Schouwense oever. Van deze drie geulen zijn de Roompot en het Westgat ongeveer even belangrijk. De Roompot is langs de Walcherse oever gelegen en het Westgat halverwege tussen de Schouwense en de Walcherse oever. Men kan dus de functie van de Roompot met die van de Wielingen vergelijken en die van het Westgat met het Deurloo. Dan blijven er belangrijke verschillen. Bij de Roompot kunnen we een uitgesproken vloed- en ebschaar onderscheiden, hetgeen bij de Wielingen in veel mindere mate het geval is. De Wielingen is een veel eenduidiger en dus stabielere geul dan de Roompot. De ligging van de Roompot wordt ook veel minder bepaald door de Walcherse oever dan de Wielingen door de Vlaamse oever. Ook het Oostgat is een krachtiger geul dan de overeenkomstige bij de Schouwense oever.

De geulen, die langs de oevers in het mondingsgebied van de Westerschelde verlopen, zijn dus beter ontwikkeld dan de overeenkomstige geulen in het Ooster-Schelde gebied. Daarentegen is de middelste geul in de Ooster-Scheldemond veel krachtiger dan de overeenkomstige geul in de Westerscheldemond, het Deurloo. Ook bij de noordelijker gelegen zeegaten als Haringvliet en Brouwershavense Gat wordt een middengeul aangetroffen, die van meer betekenis is.

Het verticale en horizontale getijverloop in de Scheldemond wordt in belangrijker mate beïnvloed, door de hogere getijden in het Nauw van Calais, die een krachtige stroming langs de Vlaamse kust veroorzaken, dan met de noordelijker gelegen zeegaten het geval is. Dat de Westerscheldemond meer onder invloed staat van het Kanaalgetij, dan de noordelijke zeegaten blijkt ook uit het verloop van het M_2 -getij (zie bijlage 20).

Op bijlage 1 is een overzicht gegeven van de verdeling der vermogens over twee dwarsraaien in het Westerschelde- en Ooster-Schelde buitengebied, zoals deze met behulp van talrijke gemeten stroomsnelheden werden bepaald. Voor de belangrijke geulen werden de vermogens apart opgegeven, evenals voor de tussengelegen ondiepere banken.

Het vermogen van de Wielingen blijkt bijna even groot te zijn als dat van de Roompot, welke laatste geul dan nog in een eb- en vloed-schaar kan worden verdeeld. Terwijl in de Westerscheldemond het overige water gelijkmatig over de verdere geulen verdeeld wordt, wordt in de Ooster-Scheldemond een sterkere concentratie in het Westgat aangetroffen.

Het vloed- en ebvermogen door de raai Vlissingen - Breskens bedraagt 1,1 miljard m^3 ; door de volgende raai is dit vermogen 1,53 miljard m^3 ,

dus bijna 10% meer dan zou volgen uit de som van het vermogen door de voorgaande raai en de komberging van 320 miljoen m³ tussen beide raaien. Dit is een gevolg van het feit, dat bij de berekening niet de projecties op de normale in de raai werden genomen, maar hun werkelijke waarden. Er blijkt gedurende de vloed, als hierboven is weergegeven, een stroming van zuid naar noord door deze buitenste raai te bestaan, zoals te verwachten is. Voor het ebvermogen geldt een analoge beschouwing; alleen is er dan een stroming in omgekeerde richting door de raai.

In de Ooster-Scheldemond werden overeenkomstige bedragen gevonden. Het vermogen van de Ooster-Schelde in de raai Burgh - 5 m ten Westen van Vlietpolder - bedraagt ruim 1 milliard m³ en door de meer buitenwaartse raai, 1,45 milliard m³, waarbij dan ongeveer 20% te danken is aan de zuid-noord stroming.

Hoe verder buitenwaarts, hoe groter de bijdrage wordt van de stroming langs de kust bij vloed en eb t.o.v. de stroming naar de Wester- en Ooster-Schelde resp.

De overgang van de Scheldemond naar die van de Ooster-Schelde bevindt zich in het zeegebied ten W. van Westkapelle.

Om een overzicht te krijgen van de stroming in dit gebied, werden volgens de beschikbare metingen de stromen bepaald, die loodrecht door een raai gaan, welke in Westkapelle loodrecht op de kust is getekend. Deze stromen zijn dus evenwijdig aan de kust en werden bepaald volgens de projecties van de gemeten snelheden. In bijlage 1 is de plaats van deze raai aangegeven, terwijl op bijlage 2 het dwarsprofiel is getekend. Dan blijkt het nodig om dit profiel onder te verdelen in verschillende vakken met niet al te variërende diepte. Het verloop van de stromen over de verschillende vakken als functie van de tijd is ook aangegeven op bijlage 2. Bovendien zijn in deze grafiek de stroomkrommen van de Ooster- en Wester-Schelde getekend voor de raaien bij Vlissingen en Burgh. Het blijkt, dat de stroming door de raai bij Westkapelle een zeer verschillende aard heeft van die van de zeegaten.

De kenteringen in alle vakken vallen nagenoeg samen met die van de stromen meer westwaarts in de volle Noordzee en ook verder is het verloop analoog daarmee.

Uit deze grafiek blijkt ook duidelijk, dat de stroming in het zeegebied ten W. van Westkapelle, niet in belangrijke mate beïnvloed wordt door de stroming van en naar de zeegaten. Verder is het een opmerkenswaardig feit, dat bij vergelijking van de vloed- en ebvermogens in de vakken 1, 2 en 3 dicht bij de kust een vloedoverschot gevonden wordt en in het laatste vak een eboverschot.

Dat er een dergelijk vloedoverschot direct langs de kust bestaat, is ook uit de berekeningen voor de bestaande toestand gebleken. Dit vloedoverschot wordt echter ook voor een deel teweeggebracht door de stroming naar de Ooster-Schelde, want er bestaan ten W. van Westkapelle verbindingen tussen het Wester-Schelde en Ooster-Schelde mondingsgebied.

Zoals in § 2 reeds gezegd is, bevindt zich in het verlengde van het Oostgat, Noordwestelijk van West-Kapelle een geul, die als een verbinding kan worden beschouwd tussen de Oostgeul en de buitenmond van de Roompot. Onmiddellijk langs de Walcherse oever is er nog een ondiepere verbinding met de Zuidelijke tak van de Roompot.

Van Westkapelle in Westelijke richting gaande, wordt eerst het Oostgat aangetroffen, dan een bank, de Kaloo en Rassen die zich over een afstand van ongeveer 5 m in Westelijke richting uitstrekt. Daarna neemt de diepte toe. Op een afstand van ongeveer 10 km ten Westen van de punt van Walcheren bevinden we ons in de buitenste mond van het Deurloo (zie ook bijlagen 1 en 2).

Uit de topografie van het gebied in de omgeving van Westkapelle blijkt in ieder geval, dat vooral het Oostgat de invloed van de afsluiting van de Roompot en het Westgat zal ondervinden. Daar de Deurloo door de uitgestrekte bank de Rassen en Kaloo van het Oostgat is afgeschermd, zal de invloed van de afsluiting van de Ooster-Schelde op de Deurloo ondergeschikt zijn aan die van het Oostgat.

Het eerste doel van ons onderzoek zal moeten zijn om te onderzoeken welke invloed afsluiting van Westgat en Roompot op de waterbeweging in het Oostgat zal hebben.

In verband hiermede zullen we onze berekeningen beperken tot het gebied dat omvat: Deurloo, Oostgat, Roompot en Westgeul, benevens de geul, die buiten Kaloo en Rassen om de buitenmonden verbindt van het Deurloo, Oostgat, Westgeul en Roompot, welke laatste twee praktisch samen-vallen.

De begrenzing van dit gebied is op bijlage 3 aangegeven.

Men kan de getijbeweging in dit gebied nader bestuderen door een getijberekening uit te voeren met behulp van de bewegingsvergelijkingen en de continuïteitsvoorwaarde. Hieraan zijn echter belangrijke moeilijkheden verbonden, die een voldoende nauwkeurigheid belemmeren.

1. De verticale getijbeweging in de buitenste begrenzing van het gebied is niet in voldoende mate bekend. Met behulp van de beschikbare gegevens en de getijberekening van de Noordzee, die in de Aanhangsels 1 en 2 besproken wordt, kan men hierover wel iets naders zeggen, maar dit blijkt niet voldoende, omdat deze verticale getijbeweging ook afhankelijk is van de plaatselijke topografie.

2. Een schematisatie van het gebied is moeilijk aan te geven, daar de stromingsbeelden bij HW en LW zeer verschillen.

3. Uit de meer globale berekeningen betreffende de invloed van de gewijzigde getijstromen in het aansluitende Noordzeegebied door de afsluitingen (zie § 6) blijkt, dat in de buitenmondingen van de Schelde's, de veranderingen in de getijbeweging klein zijn. Door alle voornoemde onzekerheden zouden de uiteindelijke resultaten van meer uitvoerige berekeningen toch niet in belangrijke mate nauwkeuriger worden.

In verband hiermede werd besloten om de berekeningen zo nauw mogelijk te verbinden aan de bekende gegevens over stroomsnelheden in verschillende punten van het buitengebied en een methode te volgen, waarbij de toe te passen schematisatie van minder betekenis is.

In de jaren 1934-1938 zijn in de mondingsgebieden van de Wester-Schelde en Ooster-Schelde en het aansluitende zeegebied op vele punten snelheidsmetingen uitgevoerd. Door onderlinge vergelijking en daarbij aangepaste reducties zijn de uitkomsten van deze metingen op normaal getij gereduceerd. Al deze gegevens zijn te vinden in het "Verslag mond Wester-Schelde" van de hand van ir H.A. Ferguson, dat in 1943 ver-

schenen is. De snelheden, die in de verschillende punten gemeten werden, zijn in maanuurkaartjes verzameld; deze zijn als bijlagen 28 - 39 aan dit rapport toegevoegd.

De gegevens van deze maanuurkaartjes dienden als basis van onze berekeningen. Als volgt werd te werk gegaan:

De meetpunten 2, 7, 9, 16, 29, 24, 22 en 21 (bijlage 3) werden door een gebogen lijn met elkaar verbonden. Deze lijn werd langs het Westgat doorgetrokken naar de plaats van de mogelijke toekomstige afsluiting. Verder werden de punten 2, 7, 8, 17, 19 en 20 door een gebogen lijn verbonden, welke eveneens werd verlengd langs de Boompot naar de afsluitingsdam. Door langs de afsluitingsdam de lijnen te verbinden, werd een gesloten lus gevormd.

De beide gebogen lijnen werden onderverdeeld in een aantal lijnstukken van ongeveer 7 à 8 km lengte; deze verdeling is ook op bijlage 3 aangegeven. Voorts werd langs ieder lijnstuk de gemiddelde diepte, ook gerekend over een kleine afstand ter weerszijden van het lijnstuk, bepaald (zie bijlage 3).

Verder werd in ieder meetpunt de projectie op de raaklijn aan de gebogen lijn bepaald van de gemeten snelheid op ieder maanuur en ook de componenten die hierop loodrecht staat.

De waarden van de projecties van de snelheden werden grafisch uitgezet, waarna vloeiende krommen aan deze gegevens aangepast werden (zie bijlagen 4 en 5). Met behulp van deze continue lijnen konden voor ieder lijnstuk gemiddelde waarden van de projecties van de snelheden voor ieder moment worden bepaald.

Noemen we s de ordinaat langs de boog en t de tijd, dan

wordt het verhang in een bepaald punt langs de boog bepaald door de vergelijking:

$$(1) \quad \frac{\partial v_s}{\partial t} - \Omega v_n + \frac{|v_s| v_s}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial s}$$

Hierin stelt v_s de projectie van de snelheid op de raaklijn aan de boog voor; v_n haar componente loodrecht daarop, terwijl $\frac{\partial h}{\partial s}$ het verhang langs de boog is.

Voorts is Ω de coëfficiënt van Coriolis, die gelijk is aan $2 \Omega_z \sin \beta$ als Ω_z de omwentelingssnelheid van de aarde is en β de geografische breedte. De diepte op het tijdstip t is a genoemd; C is de coëfficiënt van Chézy, waarvan de waarde op 60 werd gesteld in overeenstemming met hetgeen bij de algemene Noordzeeberekening gevonden werd.

Met behulp van (1) en de gegevens op de bijlagen 4 en 5 betreffende de projecties van de stroomsnelheden langs de lus, werd voor ieder lijnstuk van de lus het totale verval Δh als volgt bepaald:

$$\Delta h = - \left[\frac{\partial v_{s \text{ gem}}}{\partial t} - \Omega v_{n \text{ gem}} + \frac{|v_{s \text{ gem}}| v_{s \text{ gem}}}{C^2 a} \right] \frac{\Delta s}{g}$$

(De normale componenten $v_{n \text{ gem}}$ zijn niet nader in fig. 4 en 5 aangegeven).

Daar het verticale getij van Vlissingen bekend is, kan men met behulp van de berekende vervallen voor ieder eindpunt van de vastgestelde deelbogen van de lus, het verticale getij bepalen. Zo werd dus ook het verticale getij te Westkapelle en dat in het meest zeewaartse punt 10 km ten W. van Westkapelle bepaald en voorts de getijlijnen bij de bestaande toestand ter plaatse van de toekomstige dam, resp. in het Westgat en Roompot (bijlage 3).

Deze berekeningen waren dus gebaseerd op de bestaande snelheidsmetingen. De resultaten van de berekeningen vormen dan ook een contrôle in hoeverre deze metingen betrouwbaar zijn.

Ter contrôle kunnen dienen de verticale getijbeweging te Westkapelle en de tijden en hoogten van de HW en LW's van Burgh en Vlietepolder, dat op Noord-Beveland tegenover Burgh gelegen is.

Uiteraard zullen de berekende getijlijnen van het Zuidelijke en Noordelijke station bij de mogelijke toekomstige afsluitingsdam van de Ooster-Schelde een belangrijke overeenstemming in vorm moeten hebben, hetgeen inderdaad het geval bleek te zijn. De belangrijkste verschillen zullen in de omgeving van HW voorkomen, omdat er dan een Coriolisverval tussen beide stations aanwezig is. In de omgeving van LW-standen bleek bij eerste berekening een aanmerkelijk verschil tussen beide getijlijnen voor te komen. Dit kon verklaard worden door een onregelmatig verloop van de gemeten snelheden op verschillende plaatsen in de lus. Na het vereffenen van deze afwijkingen, werd ook voor de LW-standen een voldoende overeenstemming bereikt (zie bijlagen 4 en 5).

Het verschil tussen de berekende HW-standen aan de Noordzijde en Zuidzijde van de afsluitdam bedroeg 10 cm, terwijl dit verschil voor Burgh en Vlietepolder volgens de gegevens van de Algemene Dienst op 6 cm is vastgesteld. Dit grotere verschil kan gedeeltelijk verklaard worden, doordat het Zuidelijke station 5 km Westelijk van Vlietepolder is gelegen. Het resterende verschil van een paar cm heeft geen belangrijke betekenis.

Betreffende de vergelijking van de berekende en gemeten getijlijn van Westkapelle wordt het volgende opgemerkt. Op bijlage 8 zijn de gemeten getijlijnen van Vlissingen en Westkapelle aangegeven en de berekende getijlijnen van Westkapelle. Tussen de berekende en gemeten HW- en LW-standen van Westkapelle is er een goede overeenstemming. Verder zijn de verschillen in de stijgende tak geringer dan in de dalende tak.

Het bleek mogelijk om deze verschillen nog wat kleiner te maken door in plaats van $C = 60$, $C = 50$ als constante van Chézy te kiezen op het vak Vlissingen - Westkapelle. Zonder de gemeten snelheden te vergroten, bleek het niet mogelijk om een betere overeenstemming te vinden. Overigens moet worden opgemerkt, dat de gemeten getijlijn te Westkapelle door de Algemene Dienst uit een beperkt aantal gegevens is samengesteld.

Daar het doel was om verschillen in HW-standen te bepalen vóór en na de sluiting, zijn de geringe afwijkingen tussen de waarnemingen en de berekening niet belangrijk. Op de bijlagen 4 en 5 zijn voor de takken van de Ius, resp. Vlissingen - Vlietepolder en Vlissingen - Burgh, de berekende getijlijnen van Burgh - Westkapelle en Burgh voor de bestaande toestand weergegeven.

Het HW-verschil tussen Westkapelle en het meest Westelijke station (meetpunt 29 op bijlage 3), waarvan het verticale getij ook werd berekend, bedraagt 10 cm. De waterstandsverschillen tussen beide stations worden meestal bepaald door de Corioliskrachten, daar de stroom meestal loodrecht op de verbindingslijn van beide stations staat.

Bij LW werd volgens het gemeten snelheidsverloop op de verbindingslijn voor het Coriolisverval 7 cm gevonden; het overblijvende verschil kan verklaard worden uit het weerstandsverval volgens de snelheidscomponenten langs de lijn.

Voor het verschil bij de LW-standen werd 2 cm gevonden, in verband met de geringe stroming over de tussenliggende bank.

Belangrijke resultaten van deze berekeningen waren de berekende getijlijnen van Westkapelle en die aan de buitenmond van de buitengeul van het Costgat. Deze bepalen de stroomsnelheden in deze geul. Op bijlage 9 zijn beide getijlijnen apart weergegeven. De grootste vervallen komen voor ongeveer 1 uur na HW en 1 uur na LW, resp. 18 cm en 21 cm. Daar de lengte van de geul ruim 9 km en de gemiddelde diepte bij NAP ongeveer 11 m is, bedraagt de maximum snelheid na HW gemiddeld 0,85 m/sec en die na LW 0,80 m/sec, hetgeen in voldoende mate in overeenstemming is met de gemiddelde gemeten maximale snelheden.

Verder moet worden opgemerkt, dat de stroming in deze buitengeul bij de bestaande situatie vaak vrij complex is. Op de hiervoren genoemde momenten van max. snelheden zijn deze inderdaad volgens de lengterichting van de geul gericht, hetgeen over een periode van 1 uur voor en na dit tijdstip het geval is, dus totaal 4 uur in een getijperiode. Dan staat de stroming in deze geul geheel onder invloed van die uit de Wester-Schelde (vergelijk ook de resultaten der metingen op de bijlagen 28 - 39).

In de overige delen van het getij zijn er belangrijke

snelheidscomponenten loodrecht op de zeulrichting. Dit is bijv. het geval gedurende ongeveer twee uur vóór HW te Westkapelle. Deze worden veroorzaakt door de vloedstroom langs de kust als gevolg van het Noordzeegetij en doordat in dit tijdsinterval stroming plaats heeft vanuit de Westerscheldemond naar de Oosterscheldemond. Deze stroming heeft dan vooral plaats door de dwarsgeul, die oorspronkelijk ten W. van Westkapelle, Roompot en Oostgat verbindt. De diepte van deze geul is ongeveer 7 tot 9 m t.o.v. NAP. Daar deze geul evenwijdig met de kust verloopt, heeft ze snelheden in haar lengterichting, als die in de buitengeul van het Oostgat, hoofdzakelijk dwars gericht zijn.

De snelheden in het Oostgat tussen Vlissingen en Westkapelle zijn dan echter niet groot; de kentering valt in dit tijdsinterval.

§ 4. De directe veranderingen in het mondingsgebied van de Westerschelde als gevolg van de afsluiting van de Oosterschelde.

Wij behandelen in deze paragraaf de directe kwantitatieve veranderingen op het Westerschelde getij als gevolg van deze afsluiting.

In § 2 werd reeds een overzicht van deze resultaten gegeven.

We baseren ons op de berekeningen van de voorafgaande paragraaf, waarbij we de verticale getijbeweging langs een gesloten lus bepaalden. Het is nu de vraag, hoe het verloop van deze getijbeweging zal wijzigen als gevolg van de afsluiting van de Oosterschelde. Dan moeten we de nieuwe componenten van de snelheden langs en loodrecht op de lus

kennen en het is de vraag hoe we deze zullen bepalen. In de omgeving van de dam zullen de snelheden nul zijn. Op het aansluitende deel van de lus, dat nog in voldoende mate binnen de buitenkustlijn is gelegen, kunnen de snelheden bepaald worden uit een kombergingsberekening, door te veronderstellen, dat de waterbeweging in de geulen bepaald wordt door de komberging van een gebied, waarvan we de grenzen over de hoogste punten van de platen kunnen laten verlopen. Uiteraard zijn na de afsluiting deze snelheden klein, zodat bij een wat andere ligging van de grenzen, geen belangrijke fouten zullen voorkomen. Vooral bij HW zal ook hier nog een kleine componente aan de algemene stroming van Zuid naar Noord en omgekeerd te danken zijn. Deze zal echter klein zijn en de corresponderende Corioliskracht is zeker te verwaarlozen.

Zodra we verder in de buitenmond van het Ooster-Scheldegebied komen, wordt de bepaling van de nieuwe snelheden moeilijker. De snelheid in een punt zal dan zijn samengesteld uit twee componenten, waarvan de belangrijkste te danken is aan de kuststroming van het getij en een minder belangrijke componente aan de komberging van het gebied in de richting van de dam.

Deze laatste componente is weer gemakkelijk te bepalen uit een kombergingsberekening. De gebieden, die voor de kombergingsberekening werden beschouwd, zijn op bijlage 10 aangegeven. Deze snelheidscomponente werd aan het begin en eind van een vak bepaald en daarna de gemiddelde waarde. In een bepaald punt van deze lus werd nu de snelheidscomponente, die het gevolg is van de algemene getijbeweging

in de Noordzee, als volgt bepaald:

Bij de bestaande toestand is deze component ook aanwezig; door de vaak overheersende stroming naar de Ooster-Schelde is ze moeilijk hiervan te scheiden en apart te bepalen. Het is duidelijk, dat hoe verder men zeewaarts gaat, hoe geringer relatief de invloed van de stroming naar de Ooster-Schelde zal worden. Deze stroming is dan hoofdzakelijk het gevolg van de getijbeweging in dit deel van de Noordzee. In verband hiermede werd bovendien uit de resultaten van de Noordzeeberekening - gecombineerd met verdere gegevens - het verloop van de belangrijkste componente van dit getij, het M_2 getij, voor de bestaande toestand afgeleid. Op de Bijlage 16 is het verloop van deze amplitudes en van de tijden van HW (kappagetallen) aangegeven. Hieruit blijkt, dat dit verloop zeer regelmatig is tot dicht bij de kust; in de monding zelf worden de afwijkingen steeds belangrijker.

Wordt de Ooster-Schelde afgesloten, dan zal deze onregelmatigheid in het patroon van de voortplanting van het M_2 getij verdwijnen. Wel zal het hele patroon ook nog iets gewijzigd worden door de indirecte invloeden van de afsluiting der zeegaten (zie § 2), maar daar apart getracht zal worden om deze te bepalen, doet dit nu niet ter zake. Bovendien zijn de wijzigingen, die hierdoor zullen optreden van ondergeschikte betekenis t.o.v. de veranderingen in het mondingsgebied van de Ooster-Schelde zelf.

We zullen dus aannemen, dat na de afsluiting van de Ooster-Schelde, het getijverloop in de huidige buitenmond

analoog zal verlopen met de nu aanwezige Noordzeegetijbeweging verder buitenwaarts. Met behulp van deze veronderstelling, die zeer gegrond voorkomt, kan nu de gevraagde componente bepaald worden.

Hetgeen, hiervoren over de verticale getijamplitude is gezegd, geldt uiteraard ook voor het stromenstelsel, dat hierbij past. Nu verloopt de snelheid in een bepaald punt volgens een zgn. stroomroos, met een lange en korte as. Dit zal na de afsluiting ook het geval zijn in de punten van de beschouwde lus, voorzover deze nu in het buitenste deel van de monding liggen. Hoe groot zullen de lange en korte as zijn in deze punten van de stroomroos? Ze kunnen immers niet gelijk worden genomen aan die in de naastbijliggende punten verder zeewaarts, waarvoor wel geldt, dat ze nagenoeg niet meer door de Ooster-Scheldemond worden beïnvloed. In deze gelijkingspunten, waarvoor de waarnemingen in de meetpunten (45), (46) en (26) van bijlage 3 werden genomen, is immers de diepte veel groter. De lange en korte assen van de nieuwe stroomroos in de meetpunten van de lus, (29), (24) en (22) (bijlage 3) werden nu zo bepaald, dat voor deze respectievelijke punten het weerstandsverval van de lange en korte as gelijk is aan dat bij de genoemde vergelijkingspunten. De richting van de assen werd verder gelijk aangenomen. Hiervan uitgaande kunnen nu in ieder punt van de baan en op ieder moment de snelheidscomponenten, die aan de algemene getijbeweging te danken zijn, worden bepaald. Door samenstelling met de "kombergings" snelheidscomponente werd daarna in ieder meetpunt de snelheidscomponente bepaald, die

langs de baan verloopt en die welke loodrecht erop staat.

Dat de gevolgde werkwijze betrouwbare resultaten gaf, volgde ook uit het feit, dat de snelheidscomponenten van het meest zeewaarts gelegen punt van de lus, 10 km ten W. van Westkapelle (meetpunt 29 van bijlage 3) en dat slechts in geringe mate onder invloed van de Ooster-Schelde staat, nagenoeg niet veranderden. Daarna kon de bekende berekening, die in de vorige paragraaf werd behandeld, weer worden toegepast. Zo werden ook de nieuwe getijlijnen op de verschillende plaatsen opnieuw bepaald.

We moeten nog de volgende opmerkingen maken: Voor het binnenwaarts gelegen deel van de lus Vlissingen - Westkapelle - Afsluitingsdam, dat onmiddellijk langs de kust loopt, is uiteraard de Noordzeegatijcomponente van geringe betekenis. Ze kan in eerste instantie verwaarloosd worden. Ook werden de snelheidscomponenten voor het traject Vlissingen - Westkapelle in eerste instantie gelijk gesteld aan die van de bestaande toestand. In het traject tot aan de dam werden daarentegen de snelheden weer volgens de kombergingen bepaald (zie bijlage 10).

Voor het buitendeel van de lus Vlissingen - 10 km ten W. van Westkapelle werden eveneens voor de snelheidscomponenten in de meetpunten (16) en (3) van bijlage 3, de waarden aangehouden, die uit de bestaande toestand volgden. Het is duidelijk, dat de veranderingen in deze laatste meetpunten geringer zijn dan die op het verdere deel van de lus, waar de volle invloed van de afsluiting zich doet gelden. Op de nodige correcties hiervoor komen we nog terug.

De resultaten van deze berekeningen, d.w.z. de bepaalde

snelheidscomponenten langs de beide delen van de lus en de berekende verticale getijden, die niter werd op het traject Vlissingen - Westkapelle en Vlissingen - 10 km ten W. van Westkapelle, dezelfde waren, zijn in de bijlagen 6 en 7 aangegeven. Dan bleek dat de twee getijlijnen bij de afsluitingsdam in het Zuiden en Noorden, HW's hadden, die ruim 20 cm hoger waren dan bij de bestaande toestand. Het verschil in HW-standen tussen beide plaatsen was weer 10 cm met een hogere waterstand in het Zuiden. In de LW-standen werden verlagingen berekend van ongeveer 15 cm, die echter als minder betrouwbaar moeten worden beschouwd, dan de berekende verhogingen van de HW-standen in verband met de onregelmatige vorm in de profielen bij LW. Wat het genoemde verschil in HW-standen van 10 cm betreft, dit zal wel iets geringer zijn en niet meer dan bijv. 6 cm bedragen. Er werd nl. geen rekening gehouden met een eventuele dwarsstroming bij HW over de platen, die de betreffende geulen van elkaar scheiden. Deze dwarsstroming kan een effect van enkele cm veroorzaken, waardoor bij het Zuidelijke station, de waterstand bij HW een weinig zal dalen en bij het andere station toenemen. Dit zijn echter effecten van de tweede orde.

Het is belangrijk, dat de resultaten van deze berekeningen de gelegenheid geven om bij benadering te beoordelen in hoeverre de stroming langs het Oostgat door de afsluiting wordt beïnvloed. Daartoe vergelijken we de maximale verval- len tussen Westkapelle en de buitenmond van de buitengeul van het Oostgat, waar het nieuwe verticale getij werd berekend. Het blijkt dan dat op ongeveer 1 uur na HW het max. verval, dat bij de bestaande toestand 18 cm bedroeg, tot 12 cm

is afgenomen. Het overeenkomstige max. verval na LW, van 21 cm tot 12 cm. Berekent men de snelheden, die door deze nieuwe vervallen zullen ontstaan, dan blijkt dat de max. stroom na HW zal afnemen van 85 cm tot 70 cm en na LW van 80 cm tot 60 cm. Men vindt dus een verzwakking van de snelheid in de buitengeul van het Oostgat. Zal dit nu ook tot gevolg hebben, dat de max. snelheden op het traject Vlissingen - Westkapelle zullen afnemen?

We hebben bij de berekeningen, die we hiervoren behandelden, het verticale getij van Westkapelle bij eerste benadering als onveranderd aangenomen. Dit is in wezen niet juist en het is de vraag hoe groot de veranderingen hier zullen zijn. Met het afnemen van de max. stromen in de buitengeul gaat noodzakelijkerwijs een vermindering van de stroom tussen Vlissingen en Westkapelle gepaard. Er zal zich bij Westkapelle een waterstand instellen, waarbij tussen deze plaats en de buitenmond van de buitengeul, een groter verval aanwezig is dan berekend werd, terwijl een kleiner verval tussen Westkapelle en Vlissingen zal voorkomen.

Doordat de genoemde effecten alle vrij klein zijn terwijl de getijlijn te Westkapelle uiteraard ook afhankelijk is van het getij in de Deurloo, is het moeilijk om hiervoor een prognose te doen.

Op het moment van max. stroom, dat ongeveer 1 uur na HW te Westkapelle valt, bedraagt bij de bestaande toestand het verval tussen Vlissingen en Westkapelle 19 cm en in de buitengeul van het Oostgat 18 cm; dit is dus practisch even groot. We hebben hiervoren gevonden, dat voor dit moment

na de afsluiting, de waterstand in de buitenmond van de buitengeul met 6 cm zal toenemen. Het uiterste wat men mag verwachten, is, dat de waterstand te Westkapelle 1 uur na HW ook met 3 cm zal toenemen.

Bij de max. stroom na LW kan men een analoog resultaat verwachten. Het verval Vlissingen - Westkapelle is dan 25 cm en in de buitengeul 21 cm. In de buitenmond zou een daling van de waterstand van 9 cm plaats hebben na de afsluiting van de Ooster-Schelde, zodat de waterstand te Westkapelle ongeveer 1 uur na LW hoogstens 5 cm zal dalen.

Het is duidelijk dat de veranderingen in de waterstand bij Westkapelle tengevolge zullen hebben, dat de werkelijk optredende verminderingen van de max. snelheden kleiner worden dan volgens de cijfers op de vorige bladzijde.

Het is echter van nog meer belang om de situatie bij HW en LW nader te bestuderen. Was het nog mogelijk om voor de tijdstippen van maximale stromen tot een bepaalde, zij het geringe verandering te besluiten, op het ogenblik van HW blijkt dit niet meer te gelukken. Hier heeft de verandering in de Corioliskrachten in het gebied ten Westen van Westkapelle een verlagende invloed van wellicht een paar cm op de waterstand in die plaats, maar daartegenover tendeert de verandering in de traagheidskrachten op het vak Vlissingen - Westkapelle naar een geringe verhoging. Het is onmogelijk om uit te maken welke van deze beide, elk op zichzelf zeer geringe invloeden, zal domineren, zodat men niet anders kan doen dan zich te bepalen tot de conclusie, dat volgens de directe beïnvloeding van de afsluiting, de verandering in het HW te Westkapelle nauwelijks merkbaar zal zijn.

Men kan dus zeggen, dat de afsluiting van de Ooster-Schelde enerzijds de neiging heeft om het HW te Westkapelle te verhogen, maar anderzijds door de afname van de stromen ten W. van Westkapelle en daarmee gepaard gaande afname van de Corioliskrachten, dit HW te verlagen. Bij LW vindt men een analoge gang van zaken.

Ook bestaat de mogelijkheid dat het HW en LW van het meest Westelijke punt van de lus, 10 km ten W. van Westkapelle nog een paar cm zal stijgen resp. dalen, omdat het station nog niet helemaal onafhankelijk van de Ooster-Schelde behoeft te zijn. Uiteraard is dit niet nader te bepalen vanwege de te geringe verschillen, maar ook dit is een factor, die de verlagende werking van de Corioliskrachten kan teniet doen.

We hebben hier de directe invloeden besproken door de wijzigingen in de stromingen in het overgangsgebied van Ooster- naar Wester-Schelde ten W. van Westkapelle.

We kunnen hieraan nog het volgende toevoegen, over het verloop van de stromen in de buitengeul van het Oostgat. Zoals reeds gebleken is, zullen de max. vloed- en ebstromen daar afnemen. Gedurende ongeveer acht uren van het getij, zijn bij de bestaande toestand de dwarsstromen over deze geul van betekenis, waarbij die bij de vloed belangrijker zijn dan bij de eb. Uit de resultaten van de berekeningen blijkt, dat deze dwarsstromen na de afsluiting zullen afnemen, omdat dit ook met de dwarsvervallen het geval is. Hierbij zullen dan de dwarsstromen bij vloed meer afnemen dan bij eb en daarmee zal een afname van het bestaande vloedoverschot ten W. van Westkapelle gepaard gaan.

We behandelen nu in de volgende paragrafen de indirecte factoren, die het getij zullen wijzigen.

§ 5. Algemene beschouwing over de indirecte beïnvloeding van het getij in de mond van de Westerschelde door de afsluiting der zeegeaten.

Volgens § 2 worden de indirecte invloeden veroorzaakt door de wijzigingen in het getij op de Noordzee door de afsluitingen. In deze paragraaf wordt in algemene zin aangegeven op welke wijze het getij in de Noordzee ten Zuiden van Westkapelle zal veranderen.

Zoals reeds in paragraaf 2 is gezegd, zijn de onderlinge fasen van het horizontale Noordzeegetij en dat van de zeegeaten van belang voor de beoordeling van de grootte der indirecte invloeden.

Nu verloopt het getij langs de Belgische kust regelmatig dan langs de Hollandse kust benoorden Westkapelle, waardoor de veranderingen in het getij langs de Belgische kust gemakkelijker te overzien.

Uit bijlage 20 betreffende het verloop der M_2 getijden blijkt, dat langs de Hollandse kust de amplituden van het M_2 getij in de meest gekromde delen van de "ellipsvormige" figuren rondom het amphydromisch punt zijn gelagen (zie ook aanhangsel 2).

In onderstaand staatje is aangegeven hoe de onderlinge fase van de stroming naar en van de zeegeaten is t.o.v. die in het aansluitende Noordzeegebied, waarbij we dan het gebied ten Zuiden van Westkapelle beschouwen.

uur t.o.v. LW of HW Vlissingen	eb of vloed in de Schelde- mondingen	aard der stroming	eb of vloed in aansluitend Noordzeegebied	aard der stroming	Bijzonderheden
LW	ebstroom	afnemend	ebstroom	toenemend	zie 1)
1 uur na LW	vloedstroom	kentering	"	maximaal	zie 1)
2 uur na LW	"	zwak	"	afnemend	
3 uur na LW	"	toenemend	"	afnemend	
4 uur na LW	"	toenemend	-	kentering	zie 2)
5 uur na LW (ongeveer 1 uur vóór HW)	"	maximaal	vloedstroom	toenemend	zie 3)
HW	vloedstroom	afnemend	vloedstroom	maximaal	
1 uur na HW	-	kentering	"	"	
2 uur na HW	ebstroom	toenemend	"	afnemend	
3 uur na HW	"	toenemend	"	afnemend	zie 4)
4 uur na HW	"	maximaal		kentering	zie 5)
5 uur na HW (ongeveer 1½ uur vóór LW)	"	afnemend	ebstroom	zwak	zie 6)

Algemeen:

Opmerkingen: ebstroom in de Noordzee is richting Kanaal en vloedstroom is richting Noordzee.

- 1) In een strook van 30 km breedte langs de Belgische kust zijn de ebsnelheden groter dan in het verder afgelegen deel van de Noordzee.
- 2) Behalve in de Wielingen waar krachtige vloodsnelheden voorkomen, is de stroming naar de zeegaten ongeveer loodrecht op de kust gericht over een afstand van \pm 30 km.
- 3) Zie 1),mits ebsnelheden door vloodsnelheden worden vervangen.
- 4) de vloodsnelheden in het kustgebied ondervinden de invloed van de ebstromen uit de zeegaten; de vloodsnelheden zijn meer in N.-richting van de kust af gericht.
- 5) De stroming is nog meer van de kust af gericht dan bij het vorige uur (zie 4).
- 6) De snelheden zijn nu van de kust af naar het Z.W. gericht.

Uit dit overzicht blijkt, dat de stroming naar en van de zeegaten in de Noordzee niet regelmatig verloopt, vooral als de snelheden in het aansluitende Noordzeegebied gering zijn, dus in de omgeving van de minimale snelheden. Dan zijn in het algemeen de snelheden op enige afstand van de kust niet evenwijdig gericht.

Bij krachtige snelheden in de Noordzee zijn de snelheden meer evenwijdig met de kust en dus ook op de tijdstippen van HW en LW in het aansluitende zeegebied. Hierdoor is het mogelijk om vooral op deze tijdstippen na de sluitingen het effect van het wegvallen van de stromingen naar en van de zeegaten op het getij in de Noordzee te beoordelen. Op dit feit berusten ook de berekeningen, die in de volgende paragraaf besproken worden.

Het is echter mogelijk om in algemene zin vooraf iets

te zeggen over de verandering, die het getij ten Zuiden van Westkapelle zal ondergaan als gevolg van de afsluitingen, door al. te bestuderen welk effect de veranderingen van de krachten, die de voortplanting van het getij in de Noordzee bepalen, op deze voortplanting zullen hebben.

Als voorbeeld bespreken we dit effect op het tijdstip van HW Vlissingen.

Op dat moment loopt er langs de Belgische kust vloedstromen, die bij de bestaande toestand maximaal is, terwijl naar de Ooster-Schelde de vloedstroom afnemend is. Door de afsluiting van de Ooster-Schelde zal de vloedstroom ten Zuiden van Westkapelle dus kleiner worden en dan als functie van de tijd een weinig toenemend zijn, omdat de vloedstroom naar de Ooster-Schelde afnemend is.

Hierdoor zal de weerstandskracht kleiner worden, waardoor in Noordelijke richting langs de Belgische kust een verhoging van de waterstand zal plaats hebben.

Anderzijds worden ook de Corioliskrachten, die loodrecht op de kust werkzaam zijn, wat kleiner, hetgeen de waterstand langs de kust weer zal verlagen. Tenslotte moet nog het effect van de verandering van de traagheidskracht worden nagegaan. Deze zal negatief zijn, omdat na de afsluiting de vloedstroom op het beschouwde tijdstip relatief nog een weinig toenemend zal worden. Ook hierdoor zal in Noordelijke richting gaande een verlaging van de waterstand optreden.

We vinden dus dat er twee effecten zijn, die de waterstand zullen verlagen ten Zuiden van Westkapelle ongeveer op het tijdstip van HW Vlissingen, en één effect dat haar zal

verhogen. Uit de algemene Noordzeeberekening bleek, dat de verschillende krachten op dit tijdstip, nagenoeg van dezelfde orde van grootte waren, zodat verwacht moet worden, dat de negatieve effecten, sterker zullen zijn dan het positieve effect. Daar men de redenering ook kan toepassen op tijdstippen vóór HW Vlissingen kan men in het algemeen verwachten, dat langs de Belgische kust tot Westkapelle een verla-
ging van de waterstand bij HW waarschijnlijk is.

De resultaten van de berekeningen in de volgende para-
graaf wijzen ook in die richting.

Zo kan men voor ieder tijdstip nagaan, welke verandering de waterstand langs de Belgische kust ondergaan zal als gevolg van de veranderingen van de resp. krachten. We geven nu een overzicht van de veranderingen in de waterstand op bepaal-
de momenten als gevolg van de wijzigingen in de resp. krach-
ten. We geven dan door + aan, als de waterstand zal toene-
men, en door - als deze zal dalen, waarbij we dan de veran-
deringen in de noordwaartse richting beschouwen ten Zuiden
van Westkapelle.

tijdstip	waterstandsverandering door wijziging in:			te verwachten totale ver- andering in de waterstand
	weer- stands- kracht	Coriolis- kracht	traagheids- kracht	
LW	-	+	+	+
1 uur na LW	+	-	+	+
2 " "	+	-	+	+
3 " "	+	-	+	+
4 " "	+	-	+	+
5 " "	+	-	?	?
HW	+	-	-	-
1 uur na HW	?	?	-	-
2 " "	-	+	-	-
3 " "	?	?	?	?
4 " "	-	+	?	?
5 " "	-	+	+	+
6 " "	-	+	+	+

Er is een vragteken geplaatst, als de verandering zo klein is, dat niet nader kon worden vastgesteld of deze positief of negatief was.

Dit het teken van de laatste kolom kan globaal worden nagegaan, in welke zin het getij zal veranderen ten Zuiden van Westkapelle. De hoogwaterstand zal afnemen en de laagwaterstand toenemen. Na het tijdstip van LW zal de waterstand in het algemeen toenemen en na HW dalen, behalve in een korte periode vóór LW. Dit kan geïnterpreteerd worden als een vervroeging van het getij langs de Belgische kust t.o.v. het getij in het Nauw van Calais, hetgeen ook op fysische overwegingen te verwachten is.

Het is zeer moeilijk om hierover op grond van deze berekeningen een quantitative uitspraak te doen, omdat de verschillende effecten zo'n geringe waarde hebben.

Opk de verlaging van de HW-stand zal gering zijn. Hoe dichter men langs de Belgische kust gaande bij het Nauw van Calais komt, hoe kleiner de veranderingen uiteraard zullen zijn.

Langs de Hollandse kust ten N. van de zeegaten kan men het omgekeerde verwachten, dus een kleine verhoging van de HW-stand vanwege de indirecte invloeden door de Corioliskrachten.

Om quantitative gegevens over de wijzigingen van het getij in de Noordzee te verkrijgen, werden getijberekeningen uitgevoerd in een strook langs de Nederlandse en Belgische kust. Hoewel deze berekeningen van schematisch karakter zijn, geven ze toch wel in voldoende mate de orde van grootte van de verschillende werkzame effecten.

§ 6. Getiberekeningen in een strook langs de Nederlandse en Belgische kust bij open en gesloten zeegaten.

Om in algemene trekken een inzicht te verkrijgen in de wijzigingen, die de getijbeweging zal ondergaan langs de kust als gevolg van de afsluiting der zeegaten - de zng. indirecte veranderingen - werden berekeningen uitgevoerd in een strook langs deze kust, zowel in het geval van open als afgesloten zeegaten.

Daar de snelheid direct langs de vaste kust daarmee evenwijdig moet zijn, kan men bij eerste benadering de getijbeweging in die strook met behulp van heen- en weerlopende Kelvingolven beschrijven, behalve in de zeegaten zelf.

Voor het bepalen van de breedte van de in beschouwing te nemen strook is aan de hand van de beschikbare stroommetingen een denkbeeld gevormd van de afstand, waarover de invloed van de zeegaten werkzaam is. Deze overweging zou ertoe leiden een breedte te kiezen van omstreeks 40 km. Daar in beginsel de uitkomsten van de berekening de invloed ondervinden van de gekozen breedte is eveneens een berekening uitgevoerd met een strook van 20 km breedte.

Voor het bepalen van de verschillen tussen twee toestanden zal de invloed van de afwijkingen van de getijbeweging in de strook t.o.v. de werkelijk voorkomende getijbeweging beperkt zijn.

Toch zijn deze berekeningen van oriënterend karakter; alleen de orde van grootte van de wijzigingen in de getijbeweging langs de kust kan ermee worden vastgesteld. In verband hiermee werd nog om het rekenwerk te behorten een belangrijke vereenvoudiging ingevoerd door de te slui-

ten zeegaten, waarvan de Ooster-Schelde de belangrijkste is, tezamen te nemen.

Verder wordt alleen de voortplanting van het M_2 getij beschouwd.

We vermelden in het kort de afwijkingen tussen het door ons opgestelde mathematische model en de werkelijkheid.

- 1e. Bij Kelvingolven zijn alle snelheden evenwijdig. Zoals in § 5 beschreven is, is dit slechts gedeeltelijk het geval voor het door de strook begrensde gebied.
- 2e. De eb- en vloedstromen van en naar de zeegaten gedragen zich op een verschillende wijze in het aansluitende Noordzeegebied; zo verplaatsen deze vloedstromen zich in het algemeen meer in de nabijheid van de kust, dan de ebstromen. In de directe omgeving van de kust, waar de diepte gering is, is uiteraard de wijziging in de stroming van geringe betekenis voor de bepaling van de indirecte invloeden.

Bij de Kelvingolven in de strook worden de getijstromen van de zeegaten over de gehele breedte van de strook uitgesmeerd, zodat haar invloed op de buitengrens van de strook van dezelfde orde is als bij de binnengrens.

- 3e. De Noordzeegetijbeweging divergeert bij haar voortplanting van Zuid naar Noord en convergeert in omgekeerde richting.

Bij de Kelvingolven is er uiteraard van geen divergentie of convergentie sprake.

- 4e. De wijze van instroming en uitstroming in de zeegaten wordt niet nader beschouwd. Bij de Kelvingolven wordt op bepaalde plaatsen water afgestaan en toegevoegd. Hoe

Hoe dit fysisch geschiedt, wordt hier in het midden gelaten. Deze invloed is ook in § 3 en § 4 nader bestudeerd.

Verder blijkt het nodig om bij deze splitsingspunten een kleine discontinuïteit in de getijbeweging toe te laten van enkele cm (zie Aangangsel 4). Dit is echter geen groot bezwaar voor de interpretatie van de uitkomsten.

5e. Om de berekeningen niet al te uitvoerig te maken, werd overal een constante diepte aangenomen, zodat de ondiepe kuststrook van enkele km buiten beschouwing gelaten werd. Om de invloed van deze aanname te onderzoeken werd ook nog een berekening met andere weerstand en diepte uitgevoerd, terwijl ook bij de directe invloeden deze kuststrook ter sprake kwam (§ 3 en § 4).

Daar het doel was om de indirecte invloeden als gevolg van de afsluitingen te beschouwen, zijn de bezwaren die onder 4e en 5e genoemd zijn, niet van essentiël karakter. In een vorige paragraaf (§ 4) zijn de wijzigingen in de getijbeweging in de mondingsgebieden van de Ooster- en Wester-Schelde zelf immers reeds uitvoerig onderzocht.

Zoals uit de discussie van de resultaten in samenhang met de Noordzeeberekening zal blijken, hebben de benaderingen, die onder 1e, 2e en 3e zijn genoemd, de grootste invloed. Ter rechtvaardiging van de gevolgde methode met behulp van Kelvingolven merken we nog op, dat het mogelijk bleek om het algemene beeld van de getijbeweging in de Noordzee met behulp van Kelvingolven bij benadering te beschrijven (zie Aangangsel 3).

Bij de berekeningen met de Kelvingolven in de strook werden de formules toegepast, die in Aangangsel 4 nader behandeld zijn (zie (1) tot (6)).

Dan is $Q^{(4)}(t)$ de stroom naar de af te sluiten zeegaten en $Q^{(5)}(t)$ die naar de Wester-Schelde. Deze zijn op bijlage 11 weergegeven.

Het totale vloed- en ebvermogen van de zeegaten bedraagt dan 1950 miljoen m³. Daar de plaatsen van de afsluitingen nog niet definitief bepaald zijn, werden de vermogens wat groter aangenomen, dan vermoedelijk het geval zal zijn. Deze afsluitingen zijn ook op bijlage 12 aangegeven. Daar het vermogen van de Nieuwe Waterweg klein is t.o.v. dat van de andere zeegaten, werd deze waterweg niet apart beschouwd, maar ook in de afsluiting der zeegaten opgenomen. Het vloed- en ebvermogen van de Wester-Schelde is op 1450 mill.m³ gesteld.

Op de bijlagen 12 en 13 zijn de stroken met een lengte van 120 km en resp. 40 en 20 km breed aangegeven met de plaatsen waar verondersteld werd, dat de zeegaten geconcentreerd waren en de plaats van de Wester-Schelde. Als de Zuidelijke grens is Ostende gekozen, terwijl de Noordelijke grens ongeveer halverwege Hoek van Holland - Scheveningen gelegen is.

De afstand van de gezamenlijke mondingen der zeegaten werd 30 km benoorden de Wester-Scheldemond gekozen. Men kan deze afstanden groter of kleiner nemen, dit blijkt op de resultaten niet veel invloed te hebben. Behalve de hier te noemen berekeningen zijn nl. ter oriëntering nog andere uitgevoerd, die we echter hier niet zullen bespreken, o.a. werden ook langere stroken beschouwd.

Verder werd de gemiddelde diepte op 18 m t.o.v. NAP gesteld; het blijkt nl. dat in de kuststrook de getijstroom vooral

in de diepere geulen verlopen.

De weerstandscoefficiënt λ in de bewegingsvergelijkingen (1¹) van Aanhangel 3 wordt bepaald met behulp van de voorwaarde van Lorentz: $\lambda = 0,85 \frac{v_m}{C_{2a}}$, waarin v_m de gemiddelde maximum snelheid in de strook is, C de coëfficiënt van Chézy, die op 60 gesteld werd en a de gemiddelde diepte.

We bespreken nu berekeningen, waarvan enige resultaten op de bijlagen 12 en 13 van de 40 en 20 km brede strook werden aangegeven. Dan zijn op de grenzen der stroken de berekende amplituden van het M_2 getij aangegeven, zowel voor open als gesloten zeegaten.

Voor de berekening met open zeegaten werden de M_2 amplituden en fasen van het getij te Scheveningen en Ostende, zoals ze uit de waarnemingen volgden, als gegeven beschouwd.

Voor de Noordelijke begrenzing halverwege Hoek van Holland en Scheveningen, bleek het M_2 getij weinig van dat van Scheveningen te verschillen. Ook zijnde M_2 amplituden en fasen van de stromen der zeegaten en de Westerschelde volgens de waarnemingen bekend.

Met behulp van de vergelijkingen (1) tot (6) van Aanhangel 4, werden twaalf vergelijkingen opgesteld, met behulp waarvan de twaalf onbekenden A_1 , B_1 , C_1 en D_1 nader werden berekend, waarna ook de amplituden en fasen van het M_2 getij in ieder punt van de strook te berekenen zijn.

Daarna werden deze berekeningen herhaald voor het geval, dat de zeegaten zijn afgesloten en de Westerschelde-

mond open blijft. Dan zullen de getijden langs de kust veranderen, dus ook te Scheveningen en te Ostende. Men kan echter aannemen dat op afstanden, die ver genoeg van de kust en van de zeegaten zijn gelegen, het getij nagenoeg niet meer zal veranderen. In verband hiermede werden de getijamplituden en fasen op de hoekpunten, die tegenover Scheveningen en Ostende in zee zijn gelegen voor het geval van gesloten zeegaten als onveranderd aangenomen en wel volgens de waarden die daar bij de hiervoren genoemde berekeningen met open zeegaten werden gevonden.

Deze berekeningen zijn analoog met de voorgaande, alleen wordt het aantal vergelijkingen en onbekenden nu vier kleiner. Ook de resultaten van deze berekeningen zijn voorzover de amplituden betreft, op de bijlagen (12) en (13) weergegeven, zodat een directe vergelijking mogelijk is. Dan blijkt, dat tussen de resultaten, die resp. voor de 40 en 20 km strook berekend werden een grote mate van overeenstemming bestaat in de richting der veranderingen.

Vergelijken we de resultaten van de berekeningen bij open zeegaten met die welke bij de bestaande toestand langs de kust voorkomen, dan blijken de volgende verschillen voor te komen in de amplituden van de M_2 getijden.

Bij Westkapelle kan de bestaande M_2 amplitude volgens de Fourieranalyse op 1,55 m gesteld worden. Bij de 40 km strook werd echter 1,65 m berekend en bij de 20 km strook 1,69 m. Bij Hellevoetsluis zijn de verschillen nog groter. Er werd resp. 1,15 en 1,2 m berekend, ter-

wijl 0,95 m gemeten werd. Nu is Hellevoetsluis nogal binnenwaarts gelegen, zodat de amplitude direct in zee bij bestaande toestand wel een 10 cm hoger zal zijn. In ieder geval blijken de werkelijke amplituden noordwaarts langs de kust meer af te nemen, dan volgens de berekeningen gevonden werd.

Dit is een gevolg van bepaalde afwijkingen van het mathematische model van de werkelijkheid, waarbij we dan speciaal moeten denken aan de 3e factor, die hiervoren is genoemd en die de Divergentie van de Noordzee in Noordelijke richting betreft.

Zoals te verwachten is door de werking van de Corioliskracht, die het getij direct langs de kust versterkt, worden op de grenzen van de strook, die in zee gelegen zijn, belangrijk lagere amplituden berekend, dan langs de kust.

Bij Ostende werd gevonden, dat 40 km uit de kust de amplitude en dus ook het HW 36 cm lager was, terwijl dit verschil bij Scheveningen 32 cm bedroeg. Bij de 20 km brede strook werd resp. 24 cm en 17 cm berekend.

Daar de Corioliskracht lineair van de snelheid en van de breedte van de strook afhangt, blijkt uit de voorgaande cijfers, dat de gemiddelde maximale snelheid bij Ostende wat groter is dan bij Scheveningen. Ook in de strook met 20 km breedte zijn de maximale snelheden groter dan in de 40 km strook in verband met de dan relatief grotere invloed van de stroming naar en van de zeegaten.

Ook in de werkelijkheid blijken de stroomsnelheden bij Ostende groter dan bij Scheveningen hoewel in sterkere mate, want bij Scheveningen is het Coriolisverval volgens de Noordzeeberekening 40 km zeewaarts, 30 cm en bij West-

kapelle 50 cm. Ook deze afwijkingen kunnen verklaard worden uit de divergentie van de Noordzee in noordwaartse richting.

Tenslotte vermelden we nog, dat als gevolg van een mathematische kwestie bij de berekening met Kelvingolven ter plaatse van de splitsingen met de Wester-Schelde en de zeegaten een kleine sprong van ongeveer 2 cm in de amplitude voorkomt (zie slot Aanhangsel 4). Overigens zijn deze discontinuïteiten geen belangrijk bezwaar voor de interpretatie van de uitkomsten, speciaal betreffende de verschillen tussen de berekeningen met open en gesloten zeegaten.

We behandelen nu de veranderingen in de M_2 amplituden als gevolg van de afsluiting der zeegaten. Hierbij moeten we dan weer onderscheid maken tussen veranderingen als gevolg van de wijzigingen in de Corioliskrachten en die welke veroorzaakt worden door de veranderingen in de weerstands- en de traagheidskrachten.

De veranderingen in de Corioliskrachten komen tot uiting door de verschillen in de amplituden tussen tegenover elkaar gelegen plaatsen op de kustlijn en de evenwijdige lijn in zee te bepalen, zowel voor het geval van open als afgesloten zeegaten.

Op grond van de overeenstemming in het algemeen beeld betreffende het verloop van de Corioliskrachten bij de bestaande toestand tussen berekening en de werkelijkheid, zoals dit hiervoren is gebleken, mag men aannemen, dat de wijze waarop de Corioliskrachten zullen veranderen na de afsluiting, door de betreffende berekeningen ongeveer juist wordt weergegeven.

Vergelijken we de resultaten van de berekeningen na de afsluiting met die vóór de afsluiting (bijlagen 12 en 13), dan

blijken in het geval van de 40 km strook de Coriolisvervallen bij Scheveningen met 0,8 cm te zijn toegenomen. Naar het Zuiden gaande neemt dit verschil af tot 0,4 cm ter plaatse van de af te sluiten zeegaten, om daarna van teken te veranderen. Bezuiden de zeegaten wordt een afname van het Coriolisverval gevonden en wel van 2,3 tot 4,2 cm bij Ostende. Hierdoor wordt dus de HW-stand langs de kust verlaagd en de LW-stand verhoogd. Bij Westkapelle bedraagt dit ongeveer 3 cm.

Bij de 20 km brede strook zijn de veranderingen in de Coriolisvervallen analoog en bijna even groot, nl. bij Scheveningen + 0,8 cm, Westkapelle - 2,3 cm en bij Ostende - 4,3 cm.

Behalve de wijzigingen in de Corioliskrachten treden er ook veranderingen op in de overige krachten. Deze zijn vooral merkbaar in de lengterichting van de strook en veroorzaken na de afsluiting van de zeegaten ook een verlaging van het getij, die eerst van Zuid naar Noord groter wordt om daarna weer kleiner te worden. Bij de randvoorwaarden, die voor en na de afsluiting niet veranderen en die ter plaatse van de punten tegenover Ostende en Scheveningen werden genomen, zijn de wijzigingen uiteraard nul.

De grootste daling wordt dan even ten Noorden van de af te sluiten zeegaten gevonden; bij de 40 km brede strook bedraagt ze 3,8 cm en bij de 20 km brede strook zelfs 10 cm. Bij Westkapelle zijn deze bedragen echter reeds veel geringer nl. resp. 1 cm en 3 cm om dan naar het Zuiden nog verder af te nemen.

Met behulp van de berekeningen met de Kelvingolven

wordt dus gevonden, dat de totale verlagings van de M_2 amplitude te Westkapelle bij de 40 km strook 4 cm is en bij de 20 km strook 5,6 cm. Hierbij is dan de invloed van alle krachten, de Corioliskracht inclusief, in rekening gebracht. Bij Ostende is alleen de verandering van het Coriolisverval merkbaar, dat als hierboven is aangegeven in beide gevallen ruim 4 cm bedraagt.

Voorts blijkt in overeenstemming met het behandelde in § 5, dat door de afsluiting het getij in de strook een weinig vroeger zal komen. Zo werd gevonden, dat het tijdsverschil tussen de hoogwaters van Ostende en Westkapelle ongeveer 5 minuten korter zal worden.

Het is echter de vraag in hoeverre deze uitkomsten als reëel kunnen worden beschouwd, in verband met de afwijkingen van het mathematische model van de werkelijkheid. Zoals hierboven is uiteengezet moeten de veranderingen vanwege de Corioliskrachten in algemene zin als juist worden aangemerkt; ze blijken ook weinig afhankelijk te zijn van de gekozen breedte van de strook.

Wel moet worden opgemerkt, dat in ons model alle snelheden evenwijdig met de kust worden aangenomen, hetgeen in werkelijkheid slechts ten dele het geval is. Dicht bij de kust is dit wel juist, maar verder zeewaarts zullen afwijkingen voorkomen, omdat voor de Belgische kust divergentie van het Noordzeegebied optreedt in Noordelijke richting, die met de vloedrichting overeenstemt. Het vloedwater van de Wester-Schelde zal zich in het algemeen vrij dicht langs de Belgische kust kunnen verplaatsen, maar het vloedwater naar de Noordelijker zeegaten zal meer van deze kust af

gericht zijn, hetgeen de werking van de Corioliskracht zal verzwakken.

Het is waarschijnlijk, dat de veranderingen als gevolg van de Corioliskrachten in werkelijkheid wat geringer zullen zijn dan in de berekening is gevonden.

Het is echter gewenst om een nader onderzoek in te stellen in hoeverre de weerstands- en traagheidskrachten in het model in overeenstemming zijn met de werkelijkheid en dus de corresponderend berekende veranderingen als juist kunnen worden beschouwd.

In verband hiermede moet het verloop van de snelheid als functie van de tijd in de verschillende punten van de strook worden vergeleken met het snelheidsverloop, dat in werkelijkheid in die punten zal voorkomen. Volgens de theorie van de Kelvingolven wordt in een punt van de strook de snelheid bepaald met behulp van de formule (7) van Aanhangel 4.

Het verloop van de werkelijke snelheid werd zo goed mogelijk afgeleid uit de resultaten van de Noordzeeberekening, die weer werden vergeleken met de beschikbare meetgegevens. Speciaal werden de snelheidskrommen op de lijnen, die in Scheveningen en Ostende loodrecht op de kust zijn geplaatst, met elkaar vergeleken.

Daarbij bleek, dat de overeenstemming op de lijn bij Scheveningen beter was dan op de lijn bij Ostende. Zo werd volgens de toepassing met Kelvingolven de max. vloodsnelheid bij Scheveningen ongeveer anderhalf uur na HW gevonden, hetgeen ongeveer in overeenstemming is met de werkelijkheid. Bij Ostende daarentegen werd de max. vloodsnelheid

zelfs even voor HW aangetroffen, terwijl dit in werkelijkheid ongeveer 1 uur na HW is (zie ook het staatje van § 5).

Bij dit nadere onderzoek bleek, dat de wijze waarop de weerstandsvervallen in het mathematische model na de afsluiting veranderen, wel ongeveer juist zal zijn.

Zoals ook in de § 5 is beredeneerd, zullen de veranderingen van de weerstandskrachten door de afsluiting van de zee-
gaten, de HW-stand in noordwaartse richting, doen toenemen.

Er werd echter in het mathematische model gevonden, dat door de afsluiting de amplitude en dus ook de HW-stand daalde in noordwaartse richting. Dit moet dus het gevolg zijn van de veranderingen der traagheidsvervallen, die zoals ook volgens § 5 de waterstand bij HW in de genoemde richting doen afnemen. Dit bleek dus ook in het mathematische model het geval te zijn.

Uit deze berekeningen volgde verder, dat de daling als gevolg van de wijzigingen in de traagheidsvervallen groter zijn in het model, dan de toenames vanwege de veranderingen in de weerstandsvervallen, immers de HW-standen daalden na de afsluiting in Noordelijke richting. Dit is een conclusie, die we in § 5 niet konden afleiden.

Toch moet deze conclusie met een zeker voorbehoud worden aanvaard, want veranderingen in de traagheidsvervallen op een bepaald moment zijn afhankelijk van de phase van de snelheidskromme t.o.v. het verticale getij.

Hiervoren is gebleken, dat er in deze phase, speciaal bij Ostende, een verschil aanwezig is tussen model en werkelijkheid.

Verder moeten we opmerken, dat de veranderingen in het getij op de zeewaartse grens van onze strook voor een deel

teniet gedaan zullen worden door strooming vanuit het aansluitende Noordzeegebied, hetgeen in het mathematische model uiteraard niet mogelijk is.

Het voorgaande hangt samen met het feit, dat alle snelheden in het model evenwijdig zijn. Hierdoor zullen ook de veranderingen in de traagheids- en weerstandskrachten in ons model groter zijn dan in het geval van een meer divergerend model. Het is bijv. ook niet waarschijnlijk, dat de verandering van het getij te Ostende groter zal zijn dan dit bij Westkapelle.

Uit de vorige berekeningen kan men dus concluderen, dat de berekende afname van de amplitude van het M_2 -getij op het traject Ostende - Vlissingen van ongeveer 4 à 5 cm aan de ruime kant zal zijn en in de praktijk geringer zal blijken.

Dit geldt ook in verband met de gekozen diepte, die in de strook op 18 m - NAP is gesteld. Dicht bij de kust is de diepte kleiner, maar verder zeewaarts groter. Langs de Vlaamse kust zal het water naar en van de Wester-Schelde zich dichter langs de kust verplaatsen, dan het water van de verder noordwaarts gelegen zeegaten. Dit zal zich dus meer in de diepere delen verplaatsen, zodat de gekozen diepte voor de berekening van de invloed van de afsluiting der zeegaten zeker niet te groot is aangenomen. Zou deze diepte groter moeten zijn, dan worden hierdoor de veranderingen kleiner.

Bovendien moet nog in aanmerking worden genomen, dat bij de bepaling van de directe invloeden van de afsluiting van de Ooster-Schelde op het getij in de Wester-Schelde, een ondiepe strook tot 10 km uit de kust werd beschouwd en de veranderingen in de werkzame krachten in dit gebied op het getij te Westkapelle reeds apart werden bestudeerd en bepaald (§ 3 en § 4).

In verband met de belangrijke veranderingen op de buiten-

grens van de 20 km brede strook, speciaal vóór de Hollandse kust, kan men ook besluiten, dat deze strook te smal is, d.w.z. dat de invloed van de stromingen naar en van de zeegaten in een ruimer gebied merkbaar zal zijn.

Tenslotte vermelden we nog de resultaten van een berekening, waarbij werd nagegaan, welke gevolgen een wijziging van de waarde van de weerstandscoefficiënt in de 40 km brede strook zal hebben op de veranderingen in het getij als gevolg van de afsluitingen.

Hierbij werd verondersteld, dat de waarde van deze coëfficiënt 20% groter zou zijn. Dit kan worden bereikt door bijv. C^2 met 20% te verkleinen of de max. snelheid v_m die in λ voorkomt te vergroten, waarbij we dan het volgende opmerken.

Bij alle berekeningen, die met Kelvingolven werden uitgevoerd, werd voor de gehele strook de waarde van v_m als constant beschouwd. Daar echter v_m van punt tot punt in waarde verandert, moet haar waarde in de coëfficiënt λ zo gekozen worden, dat ze ongeveer gelijk is aan het gemiddelde van de v_m 's in de strook. In verband hiermede is het dus ook gewenst om na te gaan in hoeverre een andere waarde voor v_m de verkregen resultaten zal beïnvloeden.

Op bijlage 14 zijn de resultaten van deze variatieberekening weergegeven, zowel voor open als gesloten zeegaten. Dan blijkt, dat door de toename van de waarde van de weerstandscoefficiënt de amplituden in de strook groter worden, hetgeen men niet direct zou verwachten. Tegenover Scheveningen werd nu 0,495 m amplitude gevonden, terwijl zonder weerstandsvergroting blijkens bijlage 12, 0,44 m is gevonden. Bij Ostende zijn deze verschillen te verwaarlozen nl. 1,53 m tegenover 1,54 m.

Als te verwachten, zijn de maximale snelheden in de strook kleiner geworden. Bij Scheveningen is dit in belangrijke mate het geval dan bij Ostende. Door deze kleinere snelheden zal de werkelijke weerstandstoename, die voor de coëfficiënt λ op 20% werd gesteld, belangrijk kleiner maar toch nog positief zijn. Als gevolg hiervan zou men in de lengterichting een grotere damping verwachten, hetgeen zoals we opmerkten niet het geval is. Dit wijst er weer op, dat de gemiddelde afname van de traagheidskrachten door de kleinere maximale snelheden toch nog groter is dan de gemiddelde toename van de weerstandskrachten. Het resultaat is weer in overeenstemming met hetgeen ook vroeger gevonden werd, nl. dat de bijdragen van de veranderingen in de traagheidskrachten in de veranderingen van de amplituden belangrijker zijn dan de veranderingen van de weerstandskrachten.

Ook blijken de verschillen in amplituden bij open en gesloten zeegaten overeenkomstig te verlopen met die, welke in het geval van bijlage 12 werden gevonden. De verlagings van het HW te Westkapelle zou volgens deze berekening 3 cm zijn en bij Ostende 4 cm.

Tenslotte werd nog onderzocht, welke gevolgen een verandering in de gemiddelde diepte in de strook zal hebben. Terwijl bij alle vorige berekeningen de diepte op 18 m - NAP werd gesteld, werd nog verondersteld dat deze 15 m - NAP zou bedragen. De resultaten van deze berekening zijn op bijlage 15 aangegeven.

Bij vergelijking met de uitkomsten van bijlage 12, blijken de amplituden in de strook groter, zowel voor open als afgesloten zeegaten, zoals ook werd gevonden

bij de berekeningen, waarvan de resultaten op bijlage 14 zijn aangegeven.

Vermindering van de diepte heeft immers ook tot gevolg, dat de weerstandskrachten toenemen.

De verklaring, die voor de verschillen tussen de resultaten van de bijlagen 12 en 14 kan worden gegeven, zal ook gelden voor het geval van kleinere diepte. Deze verandering heeft echter meer invloed dan alleen een corresponderende wijziging in de grootte van de weerstandsterm, doordat bij kleinere diepte ook het doorstromingsprofiel kleiner is.

De uiteindelijke veranderingen in de getijamplitude door de afsluiting der zeegaten blijken verder weer overeenkomstig aan die van de vorige berekeningen.

Bij Westkapelle wordt een verkleining van de getijamplitude van 4 cm gevonden en bij Ostende van 5,3 cm, dus gemiddeld 4,5 cm. Door de gemiddelde diepte met 3 m te verminderen, wordt dus bij vergelijking met de resultaten van bijlage 12 een gemiddelde vergroting van de veranderingen van nog geen cm gevonden. Zoals gezegd, is de aangenomen gemiddelde diepte van 18 m in de strook van bijlage 12 aan de lage kant, speciaal langs de Vlaamse kust (zie de gegevens van bijlage 19).

Zoals te verwachten is, zullen bij grotere diepte de afwijkingen na de afsluiting in vergelijking met die bij de bestaande toestand geringer zijn en wel zodanig dat bij een 20% grotere diepte, de berekende verkleining van de amplitude bijna 1 cm geringer zal blijken.

In de verschillende bijlagen zijn de uitkomsten tot in 3 decimalen nauwkeurig aangegeven, hetgeen nodig bleek om

de zeer kleine verschillen te kunnen bepalen. Daar bij de rekenmethode geen benaderingen behoeften te worden uitgevoerd, is deze nauwkeurigheid gerechtvaardigd. Vanuit praktisch oogpunt moeten deze kleine verschillen echter alleen als een orde van grootte worden geïnterpreteerd.

Tenslotte vermelden we nog enkele gegevens, die in de berekeningen werden gebruikt. De M_2 componenten van de stroom naar de Wester-Schelde en die naar de andere zeegaten werden resp. gesteld op:

$$\begin{array}{l} 100.000 \cos (wt - 335^\circ) \\ 135.000 \cos (wt - 350^\circ) \end{array} \quad \text{en}$$

de M_2 componenten van het gemiddeld getij te Scheveningen werd gesteld op:

$$0,76 \cos (wt - 267^\circ)$$

en die te Ostende op:

$$1,90 \cos (wt - 207^\circ).$$

Deze M_2 componenten werden bepaald met behulp van de Fourieranalyse. Een resumé van de resultaten van deze paragraaf is in § 2 van dit rapport weergegeven.

§ 7. De invloed van de afsluiting der zeegaten op de stormvloedstanden.

a. Bespreking van enkele stormvloeden in verband met de bepaling van de directe invloeden door de sluitingen.

Terwijl de invloed van deze afsluitingen op het bestaande getij in de Wester-Scheldemond op uitvoerige wijze bestudeerd kon worden, is dit met de stormvloeden in belangrijke mindere mate het geval door het ontbreken van

uitvoerige gegevens.

Bovendien zijn de stormvloeden zeer wisselvallig van karakter. In verband hiermede zal men zich moeten beperken tot de bestudering van enkele stormvloeden, die voor de Wester-Schelde het ongunstigst zijn geweest, nl. de stormvloeden van 1894, 1906, 1916, 1928, 1936, 1949 en 1953.

We geven in onderstaand staatje een overzicht van de HW-standen voor de belangrijkste stations in de Ooster-Schelde en Wester-Scheldemond.

Plaatsen	HW 1894	HW 1906	HW 1916	HW 1928	HW 1936	HW 1949	HW 1953	HW 1954	HW ¹⁾
Breskens	381	415	361	380	380	395	480	355	195
Vlissingen	367	392	353	374	366	382	455	356	186
Westkapelle	340	375	350	370	340	360	435	325	166
Vlietepolder	-	340	350 ²⁾	336	317	350	435	335	137
Burgh	358	345	330 ²⁾	320	320	350	420	325	134

1) volgens normaal getij.

2) geschat.

In aansluiting aan deze gegevens vermelden we voor deze stormvloeden de windrichting en windkracht gedurende enkele uren vóór de hoogste stormvloedstand, voorzover bekend volgens de metingen te Vlissingen:

1916	1928	1936	1949	1953	1954
WNW, 6	WNW, 7-8	WNW, 6	NW, 8	NW, 9	WNW, 8

De windkracht is dan uitgedrukt in schalen Beaufort met de volgende betekenis:

windkracht 6	=	10 - 12,5	m/sec.
" 7	=	12,5 - 15	m/sec.
" 8	=	15 - 18	m/sec.
" 9	=	18 - 21,5	m/sec.
" 10	=	21,5 - 25	m/sec.

Dan blijken de voorgekomen windkrachten niet zeer groot. Wellicht zal op zee de windkracht wat groter zijn geweest. In het algemeen waren de gemeten windkrachten bij Hoek van Holland voor deze stormen groter. Bij de stormvloed van 1916 werd daar gemeten: 1928, 9; 1936, 8-9; 1943, 10; 1953, 9-10; 1954, 9.

Bij onderlinge vergelijking van de verschillende HW-standen, die in bovenstaand staatje zijn weergegeven, blijkt het volgende:

Het verschil in de HW-stand tussen Breskens en Vlissingen is bij deze stormvloedstanden gemiddeld 3 cm hoger dan bij normaal getij. Dit wijst er op dat de opwaaiing tegen de Vlaamse- en Zeeuws-Vlaamse kust de HW-stand te Breskens vaak beïnvloed heeft, terwijl dit met de waterstand te Vlissingen in mindere mate het geval was.

Alleen de stormvloed van 1916, 1928 en 1954 vormden op deze regel een uitzondering. Deze stormen behoorden niet tot de zwaarste. Bij zware stormen kan men als regel beschouwen, dat de HW-stand te Breskens relatief verhoogd wordt t.o.v. die te Vlissingen. Dan zal de stroomsnelheid vaak een component moeten bezitten, die van Breskens naar Vlissingen gericht is, want het verschil in HW-standen is dan te groot om volledig door de Corioliskracht bepaald te worden, zoals bij normaal getij het geval is.

Ook de HW-stand te Vlietepolder blijkt door de opwaaiing tegen de Noordkust van Walcheren en het aansluitende Noord-Beveland relatief verhoogd t.o.v. de HW-stand van Westkapelle, nl. bij de stormvloed van 1916, 1949, 1953 en 1954. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de HW-stand

van 1916 te Vlietepolder geschat was. Ook de HW-stand die daar in 1906 gemeten werd, moet als niet al te betrouwbaar worden beschouwd.

Bij de stormvloeden van 1906, 1928 en 1936 was het verschil in HW-stand met Westkapelle van dezelfde orde van grootte als bij normaal getij. Bij de stormen van 1928 en 1936 was echter de windkracht niet groot. Het zal regel zijn, dat bij zware stormen de HW-stand te Vlietepolder relatief verhoogd is t.o.v. die te Westkapelle. Het station Vlietepolder heeft ook een overeenkomstige ligging als Breskens.

Aan het voorgaande kunnen we nog het volgende toevoegen:

- 1) In het algemeen blijkt, dat bij hoge stormvloeden de maximale waterspiegelrijzing per seconde gedurende bijv. 2 uur vóór HW, niet groter is dan bij het normale getij. Dit was ook het geval bij de stormvloed van 1953.

Hoewel het kobergend vermogen van de zeearmen dan groter is, dan bij het getij, dat zonder stormvloed zou zijn voorgekomen, blijken de snelheden die vóór HW voorkomen, in het algemeen niet groter te zijn dan bij het getij zonder stormvloed, vanwege het grotere doorstromingsprofiel. Door de grotere diepte wordt bovendien het weerstandsverval nog kleiner.

Hierdoor zal de verlaging van de HW-standen in de mondingen van de zeearmen tengevolge van de stroming daarheen, bij stormvloeden in het algemeen geringer zijn, dan bij het gewone getij het geval is.

De HW-stand te Vlietepolder zal ook hierdoor bij de

bestaande toestand relatief hoger komen.

Het is in ieder geval duidelijk, dat als gevolg van het in het voorgaande behandelde, de stijging van de stormvloedstanden bij de afsluitingsdam geringer zal zijn dan bij gewoon getij.

- 2) Men moet ook onderscheid maken tussen stormen, die tot een lokaal gebied beperkt zijn gebleven en die welke een meer uitgestrekt gebied omvatten.

Zo was de stormvloed van 1906 van lokaal karakter, in tegenstelling tot die van 1953. In het algemeen is te verwachten dat zeer hoge stormvloeden niet van lokaal karakter zijn.

Bij deze locale stormen kunnen in de Ooster-Scheldemond grotere verlagingen in de zeemonden voorkomen dan bij de niet-locale. Immers de Ooster-Schelde staat via het Zijpe in verbinding met de Noordelijker gelegen zeegaten, waardoor daar bij een locale storm sterkere vloedstromen zullen voorkomen. Bovendien zijn de locale stormen vaak korter van duur, maar zullen dan geen uitzonderlijke hoogten bereiken.

Het is nu de vraag, in welke mate de stormvloedstand bij de afsluitingsdam zal toenemen. Daarvoor zal men berekeningen moeten uitvoeren, als is aangegeven in § 3 en § 4 voor de bepaling van de hoogte van het normale getij na de sluiting. Deze laatste berekeningen waren echter op eenvoudige wijze mogelijk, doordat ruimschoots van beschikbare metingen gebruik gemaakt kon worden.

Dit laatste is bij stormvloeden niet het geval. Van alle stormvloeden is alleen het verticale getij van Vlissingen geheel

bekend.

Van Westkapelle en Vlietepolder zijn hoogstens de stormvloedstanden bepaald; van het verdere verloop van het verticale getij is in het algemeen niets gemeten, behalve dan de stormvloed van 22/23 December 1954. Van deze stormvloed is ook het verticale getij van Westkapelle gemeten. Op bijlage 17 is het verloop van deze stormvloed, zowel van Vlissingen als Westkapelle aangegeven. Dan blijken bij deze stormvloed, die onder de middelmatige gerangschikt moet worden, de getijden van beide plaatsen geheel analoog te verlopen, alleen is het verschil in HW-stand 33 cm tegen 20 cm bij normaal getij.

De HW-stand van Vlietepolder bedroeg echter 3.35 m, dus zelfs 13 cm hoger dan de HW-stand van Westkapelle, die 3.22 m was, terwijl de HW-stand van Vlietepolder bij normaal getij bijna 30 cm lager is dan die van Westkapelle.

De HW-stand van Vlietepolder was dus bij deze stormvloed relatief 42 cm hoger.

Dit is te merkwaardiger omdat het verschil tussen de HW-standen van Breskens en Vlissingen 1 cm bedroeg, waarbij dan Breskens nog lager was, hetgeen bij geen enkele der overige stormvloeden is voorgekomen. Het lijkt er wel op, dat bij deze stormvloed de gemeten HW-stand te Vlissingen door de een of andere oorzaak te hoog is geweest. Dit zou ook blijken, als men het gemiddelde verschil tussen de acht overige stormvloedstanden van Vlissingen en Westkapelle, dat 17 cm bedraagt, vergelijkt met het verschil van 31 cm dat op die dag werd gemeten. Een dergelijk groot verschil kwam bij geen der overige stormvloeden voor. Het is echter ook mogelijk, dat de gemeten HW-stand te Westkapelle te laag was en bijv. 10 cm hoger zou zijn geweest. Maar ook in dit

geval zou de HW-stand te Vlietepolder nog ongeveer even hoog zijn geweest als die bij Westkapelle.

We zullen nu trachten te bepalen hoe hoog de stormvloedstand bij de afsluitingsdam, onmiddellijk ten Westen van Vlietepolder zal worden. Dan zullen we in eerste instantie aannemen dat het getij te Westkapelle door deze afsluiting niet beïnvloed wordt.

De hoogwaterstand bij de dam wordt bepaald door de voortplanting van het getij naar de dam en door de opwaaiing tegen de dam. We bepalen nu eerst de opwaaiing tegen de dam. Zoals bekend wordt het opwaaiingsverval i in de windrichting bepaald door de formule:

$$i = 0,035 \frac{V^2}{a} ,$$

waarbij de coëfficiënt 0,035 door de onderzoeken van het windeffect op de Zuiderzee en Wadden nader bepaald is. Verder is:

V = windsnelheid in meters.

a = diepte.

De uitkomst i bepaalt dan het opwaaiingsverval in ca. 1's per km. Dit opwaaiingsverval werd berekend in een gebied vóór de afsluitdam van de Ooster-Schelde. Dit gebied werd daartoe in een aantal vierkanten met zijden van 2 km verdeeld, waarna voor ieder vierkant het opwaaiingsverval in de windrichting, die HW werd gekozen, bepaald werd. De windkracht V werd op 25 m/sec gesteld. Dit is ook de grootste windkracht die bij enige stormvloed voor de Ooster- en Westerschelde werd is voorgekomen.

De gemiddelde diepte a in ieder vierkant werd bepaald volgens de opevens van de hydrografische kaarten, terwijl de waterstand, waarbij de opwaaiing werd berekend, op 3.75 m +

NAP werd aangenomen.

Op bijlage 18 is dit vierkantennet getekend met de opwaalingen in ieder vierkantje. Als uiterste grens in zee werd de diepe geul buiten het bankengebied van de monding gekozen.

In deze geul monden Roompot, Westgat enz. uit. Het is vanzelfsprekend, dat daar de invloed van de afsluiting niet meer waarneembaar is.

In de richting van de dam gaande zal de invloed van de opwaaling steeds groter worden. Door alle bedragen in een strook van 2 k breedte op te tellen, wordt de totale opwaaling gevonden, die op de Noordelijke oever van Walcheren en tegen de afsluitdam zal voorkomen t.o.v. de beschouwde NW-grens. Deze cijfers zijn ook op bijlage 18 weergegeven. Het blijkt dan dat de opwaaling tegen de dam gemiddeld ongeveer 30 cm bedraagt en tegen de Walcherse oever even ten Noorden van Westkapelle 17 cm, om dan geleidelijk op te lopen tot de genoemde 30 cm. Er is dus relatief een verschil van ongeveer 13 cm.

Doordat er stroming langs de Walcherse oever kan plaats hebben, kunnen de genoemde opwaalingen nog wat beïnvloed worden, maar het bepaalde verschil van 13 cm, wat naar boven toe afgerond kan worden op 15 cm, is wel het uiterste, waarmee men bij de afsluiting van de dam rekening behoeft te houden.

Hierbij moet nog worden opgemerkt, dat de aanwezigheid van de diepe geulen, het Westgat en de Roompot, de grootte van de opwaaling vermindert. Er zal door deze geulen een voortdurende afstroming van water zijn, zodat het water in het beschouwde gebied zal rondstromen.

Hoer groot deze verlaging zal zijn, is moeilijk te bepalen.

In ieder geval zal het aangenomen opwaaiingsverschil t.o.v. Westkapelle van 15 cm te groot zijn, zodat de werkelijke omstandigheden gunstiger zullen zijn.

We moeten verder nog de verhoging als gevolg van de voortplanting van het getij tegen de dam in rekening brengen.

Bij de berekening van het normale getij na de afsluiting werd gevonden, dat de HW-stand bij het Zuidelijke einde van de dam practisch gelijk zou worden aan die van Westkapelle. Men kan hetzelfde verwachten bij de getijcomponente van de stormvloed, vooral omdat bij een stormvloed in het algemeen de snelheden vóór HW nog kleiner zijn dan bij het getij alleen (zie de betreffende opmerking hiervoren).

In ieder geval is het redelijk om aan te nemen, dat de stormvloedstand bij de dam, 5 km ten W. van Vlietepolder hoogstens 15 cm hoger zal zijn, dan die bij Westkapelle. Hierbij is dan met een hoge windkracht gerekend, nl. 25 m/sec.

Men zou ook nog een andere weg kunnen volgen door het verschil in opwaaiing tussen het station U, dat ten W. van Vlietepolder bij de dam is gelegen, op te tellen bij de stormvloedstand, die in W zal voorkomen na de afsluiting. Dan is de plaats W ongeveer op de hoogte van Westkapelle gelegen in de windrichting t.o.v. U (zie bijlage 18). Links van de lijn UW bedroeg deze opwaaiing 11,2 cm en rechts 17,6 cm, dus gemiddeld bijna 15 cm.

De hoogwaterstand in W zal door de afsluiting ook verhoogd worden, maar ze zal lager zijn dan die van Westkapelle, omdat de stormvloedstand in N-richting langs de kust afneemt. Ook na de afsluiting zal ze lager zijn dan die van Westkapelle.

Uit deze berekening volgt ook, dat de stormvloedstand bij de plaats O minder dan 15 cm zal verschillen van die van Westkapelle.

Indien de windsnelheid 20 m/sec zou zijn, zou dit verschil hoogstens 10 cm en bij 15 m/sec nog maar veer 5 cm zijn. Door vergelijking met de gegevens in de staatjes (zie hiervoren) kan men dan voor iedere storm de verhoging van de stormvloedstand als gevolg van de afsluiting, 5 km ten W. van Vlietepolder, (het punt O) bepalen. We krijgen dan het volgende overzicht:¹⁾

	1916		1928		1936		1949		1953		1954	
	V ¹⁾	N ¹⁾	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N
Westkapelle	350	350	370	370	340	340	360	360	435	435	325	325
Vlietepolder	350	350	336	375	317	340	350	370	435	445	335	335

1) V = vóór de afsluiting; N = na de afsluiting.

Hieruit blijkt dus, dat bij vier van de zes genoemde stormen de verhoging van de NN-stand te Vlietepolder, (plaats O bij de dam), als gevolg van de afsluiting minder dan 20 cm zou bedragen hebben. Hierbij behoort de hoge stormvloed van 1953, waarvoor de waterstand te Vlietepolder slechts met 10 cm zou zijn toegenomen.

Daarentegen zou voor de stormvloed van 1928 en 1936, de toename van de NN-stand het ergst zijn geweest, nl. resp. 40 cm en 23 cm.

Uit het voorgaande blijkt dus, dat de relatieve verhoging van de stormvloedstand ten W. van Vlietepolder niet meer zal bedragen dan de toename van de NN-stand bij normaal getijd, die immers op ruim 20 cm is berekend. Dit zal dan speciaal voor de hoge stormvloedvelden. Bij de lagere stormvloedvelden kunnen

1) De cijfers na afsluiting zijn afgerond.

grotere verschillen voorkomen, zoals bij de stormvloed
van 1928 en 1936.

Bij de voorgaande beschouwingen is echter aangenomen, dat
de getijlijn te Westkapelle niet beïnvloed zou worden door
de opwaaiing tegen de dam. Het is de vraag in hoeverre deze
veronderstelling juist is. Dit zal uiteraard afhangen van
de verhoging die aan de Zuidzijde van de dam zal optreden.

We hebben berekend, dat deze in het algemeen niet groter
zal zijn dan in het geval van normaal getij, waarvoor uitvoe-
rig de invloed van de verhoging op het getij van Westkapelle
is bestudeerd.

Dan werd gevonden, dat de verandering in de HW-stand als
gevolg van de directe invloed van de afsluiting zo gering zou
zijn, dat deze niet nader te bepalen was. De eventuele ver-
hoging zou ongeveer teniet gedaan worden door de afname van
de Coriolisvervallen onmiddellijk ten W. van Westkapelle.

Een analoge beschouwing zal ook bij stormvloed en gelden,
terwijl dan de veranderingen in de verschillende krachten,
als gevolg van de wijzigingen in het getijverloop en de bij-
behorende stromen in het algemeen zelfs geringer zullen zijn
dan bij het normale getij, zoals hiervoren is beredeneerd.

Zoals we reeds opmerkten, zal de relatieve verhoging van
de stormvloedstand bij de afsluitingsdam van de Ooster-Schelde
voor stormen, die van lokaal karakter of van korte duur wa-
ren, groter kunnen zijn, dan bij de zeer zware stormen, die
uiteraard het ongunstigst zijn.

Hoever is moeilijk te zeggen, dit zal geheel van het type
van de storm afhangen. Men zal dan bijv. moeten denken aan
een extra verhoging van hoogstens 20 cm, vergeleken met de
stormvloedstanden bij de huidige toestand. Voor deze geval-
len zal er vermoedelijk wel een kleine extra verhoging van

de HW-stand te Westkapelle merkbaar zijn, bijv. hoogstens 5 cm. Door de stromingen in het aansluitende Noordzeegebied worden plaatselijke verhogingen voor een belangrijk deel teniet gedaan, zoals bijv. ook bij een studie van de stormvloedstanden van Hoek van Holland en Scheveningen gebleken is. Immers bij de stormvloeden is ook de diepte onmiddellijk voor de kust belangrijk groter dan bij de bestaande toestand. Zoals in het vervolg nog zal blijken, wordt een dergelijke verhoging bovendien voor een deel teniet gedaan door de verlaging, die als gevolg van de indirecte invloeden door het getij in de Noordzee zal optreden.

De invloed op de HW-stand te Vlissingen zal uiteraard nog geringer zijn.

b. De indirecte invloeden op de stormvloedstanden door de afsluiting van de zeegetaten.

Men kan de invloed van de afsluiting der zeegetaten op de stormvloedstanden op analoge wijze beschouwen als is aangegeven bij het normale getij (zie § 2 - § 4) door onderscheid te maken tussen directe en indirecte invloeden.

De directe invloeden, die hiervoren werden bestudeerd, worden weer overgebracht via het zeegebied onmiddellijk ten W. van Westkapelle, terwijl de indirecte invloeden de wijzigingen zijn, die het stormgetij in de Noordzee zal ondergaan als gevolg van de afsluitingen.

De betekenis van de indirecte invloeden is als volgt te overzien:

Het verloop van de stormvloed langs de Nederlandse en Belgische kust wordt veroorzaakt door stormeffect en getijbeweging. Uiteraard zullen stormeffect en getijbeweging elkaar beïnvloeden, zodat ze niet op een duidelijke wijze van elkaar te

scheiden zijn. In verband hiermede kan men dan het stormeffect zo definiëren, dat de stormvloed op een bepaalde plaats de algebraïsche som is van het verticale getij, zoals dit op de beschouwde dag zou zijn voorgekomen, en dit zgn. stormeffect. Dit stormeffect, dat een functie van de tijd is, is dan een vergaarbak van velerlei invloeden.

Het gaat er dus om, aan te geven op welke wijze dit stormeffect op zee door de afsluiting der zeegaten gewijzigd zal worden. De wijze, waarop het getij zal veranderen, is in het voorgaande uitvoering bestudeerd.

Nu zal het stormeffect voor iedere storm weer een andere functie van de tijd zijn en zal er in het algemeen geen discussie in kwalitatief opzicht mogelijk zijn, omdat over het verloop van het stormeffect op zee praktisch niets bekend is en het ook heel moeilijk is om er door berekening iets over te vinden.

Het is wel mogelijk om enkele algemene uitspraken te doen:

De overheersende factor, die het stormeffect veroorzaakt, is de opwaaiing door de wind, speciaal in de eigenlijke Noordzee, ten Noorden van de lijn Waddeneilanden - Wash Bay. Op de Noordzee voor onze kust heeft ook opwaaiing plaats, maar deze is weer van ondergeschikte betekenis ten opzichte van de vorige invloed.

Het is wel vanzelfsprekend, dat de invloed van de afsluiting der zeegaten op de opwaaiing zelf praktisch te verwaarlozen is. Door deze opwaaiing worden echter stromen opgewekt, die tezamen met die van de getijbeweging één geheel vormen. Door de afsluiting zullen nu deze stromen gewijzigd worden en het is de vraag welke effecten hierdoor zullen ontstaan.

Indien de storm van lange duur is, zoals bij zware stormvloedden het geval is, is het redelijk te veronderstellen dat op den duur de stromen die door de opwaaiing worden veroorzaakt, in grootte zullen afnemen als zich een voldoende groot tegenverhang heeft ingesteld. Ze zullen dan belangrijk kleiner zijn, dan de stromen die door het getij zelf worden veroorzaakt. Daar de heersende windrichting bij storm ongeveer NW is, zullen de vloedstromen, die voor onze kust ongeveer van Zuid naar Noord gaan, vóór NW kleiner zijn, dan in het geval van normale getijbeweging, temeer daar bij alle voorgekomen hoge stormvloedden de stijging van de waterspiegel vóór HW geringer is dan bij het corresponderende astronomische getij.

In het algemeen zullen door de sluiting dezelfde effecten op de stormvloedstanden in zee worden veroorzaakt als bij normaal getij. Immers door de sluiting zullen de vloedstromen bij HW in het aansluitende Noordzeegebied zwakker worden en dus ook de Corioliskrachten, die het stormgetij tegen de kust verhogen. Hierdoor zullen de stormvloedstanden afnemen. Daar ook de weerstandskrachten zullen afnemen, zal de stormvloedstand weer verhoogd worden.

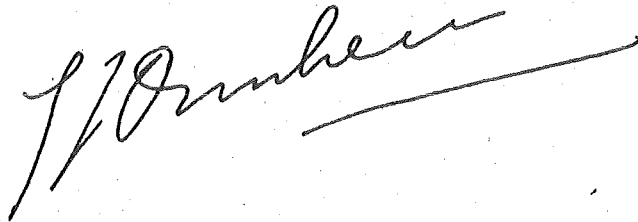
In welke richting de veranderingen van de traagheidskrachten zullen gaan is onzeker en hangt af van het type van de storm en de onderlinge fase van de stroming in de Noordzee en die naar de zeegaten. In het algemeen zullen door deze wijzigingen ook de HW-standen verlaagd worden.

In ieder geval zullen de veranderingen, die de stormvloedstanden op zee ondergaan, gering zijn en in het algemeen zullen deze standen wat afnemen, waardoor de eventueel verhogende werking van de afsluiting van de Ooster-Schelde op het getij in Westkapelle door de directe invloeden weer voor

een deel of geheel teniet gedaan zal worden.

Bij die stormen, waarvoor de verhogingen bij de dam door de afsluiting het belangrijkste zijn, zal ook de verlagende invloed tengevolge van de wijzigingen in de stromen op de Noordzee het grootst zijn. Immers als bij de bestaande toestand de stormvloedstand ten W. van Vlietepolder belangrijk lager is geweest dan die van Westkapelle, zullen ook de stromen naar de Ooster-Schelde groter zijn geweest, hetgeen bij de veronderstelde afsluiting tot grotere veranderingen op het aansluitende Noordzeegebied zal leiden.

's-Gravenhage, 26 Maart 1955.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'J.J. Dronkers', written in a cursive style. The signature is underlined with a single horizontal stroke.

(dr J.J.Dronkers)

Aanhangsel 1: Beschrijving van het getijverloop in het Zuidelijk bekken van de Noordzee.

De getijbeweging in de Noordzee is hoofdzakelijk afhankelijk van de getijbeweging, die zich vanuit de Atlantische Oceaan in de Noordzee als randzee voortplant.

De getijbeweging, die in de Noordzee zelf door de getijverwekkende krachten wordt opgewekt, is daarbij vergeleken te verwaarlozen klein. Bovendien kunnen in het bekken van de Noordzee eigenbewegingen voorkomen, waarvan de periodes alleen afhankelijk zijn van de afmetingen van dit bekken. Uiteraard is de getijbeweging in de Noordzee een samenhangend verschijnsel en kunnen de verschillende elementen waaruit deze is samengesteld niet a priori gescheiden worden.

In verband met de gestelde vragen, beperken we ons tot de getijbeweging in het Zuidelijke deel van de Noordzee en beschouwen speciaal het gebied begrensd door de lijn Den Helder - Wash Bay aan de Engelse kust en het Nauw van Calais.

De getijbeweging in dit gebied is afhankelijk van de getijbeweging in het Nauw van Calais, de getijbeweging op de lijn Den Helder - Wash Bay en de geografische gesteldheid van het Noordzeegebied binnen die grenzen. Deze getijbeweging wordt uiteraard ook beïnvloed door de getijbeweging in de Nederlandse estuarij en het Engelse Theemsbekken.

Vanwege de beperkte afmetingen van het Nauw van Calais zal de invloed van deze getijbeweging slechts beperkt blijven tot een relatief klein oppervlak van dit Noordzeegebied. De getijbeweging, die langs het Noorden van Engeland de Noordzee binnendringt, beïnvloedt de getijbeweging in het door ons beschouwde gebied in belangrijker mate.

Het verloop van het verticale getij op de lijn Den Helder - Wash Bay is bepaald door de voortplanting van de getijgolf in het gehele Noordzeegebied en als zodanig een afhankelijk gegeven. De getijbeweging op deze lijn is niet volledig bekend. Dit is wel het geval met de getijbeweging langs de Nederlands-Belgische en Engelse kust.

Nu is het verloop van de getijbeweging in de Noordzee door verschillende instanties in het buitenland nader bestudeerd, o.a. het Tidal Institute te Liverpool en de Deutsche Seewarte in Hamburg. Over de werkzaamheden van deze instituten op dit gebied zijn enkele publicaties verschenen.

In het bijzonder is de publicatie van dr Doodson ¹⁾ van belang. In dit artikel wordt de relatie behandeld, die er tussen horizontaal en verticaal getij in de Noordzee bestaat.

1) zie literatuur, blz. 1.4.

Met behulp van gemeten waarden van de stromen op verschillende plaatsen van de Noordzee en de bekende getijbeweging langs de kusten werden enkele belangrijke waarden van het verticale getij in zee berekend, zoals de getijamplitude en de tijden van HW.

Met behulp van deze resultaten zijn co-tidal en co-range lijnen voor de Noordzee opgesteld. Bij deze berekeningen werden alleen de bewegingsvergelijkingen toegepast en niet de continuïteitsvoorwaarde, zodat ze niet als volledige getijberekeningen voor de Noordzee beschouwd kunnen worden.

In hoeverre de Deutsche Seewarte nauwkeurige berekeningen betreffende de getijbeweging in het Noordzeebekken heeft uitgevoerd, is niet bekend. Vermoedelijk liggen aan de nauwkeurige stroomtafels van de Noordzee, zowel van Engelse als van Duitse zijde, behalve verwerking van getijmetingen, ook nadere berekeningen ten grondslag.

We behandelen nu het getijbeeld van het Zuidelijk bekken van de Noordzee, zoals dit ook in de genoemde publicaties reeds werd weergegeven. Deze inzichten konden worden uitgebreid met de resultaten van de dezerzijds uitgevoerde berekeningen voor dit Zuidelijk bekken van de Noordzee.

De getijgolf die van het Noorden komt, beweegt zich hoofdzakelijk in een brede strook langs de Engelse kust, want langs de Scandinavische en Duitse kust is het getij veel zwakker. De getijgolf komt ten Noorden van Yarmouth in het Zuidelijk bekken van de Noordzee en plant zich voort in dit trechtervormig gebied. Indien dit gebied bij het Nauw van Calais ook afgesloten zou zijn, zou het getij, dat uit het Noorden komt, teruggekaatst worden. Indien even wordt afgezien van het Nauw van Calais, kan het getij dus bepaald geacht worden door twee in tegengestelde richtingen lopende golven. Daar de kusten slechts langzaam naar het Zuiden convergeren, zal dit golfstelsel dan veel overeenkomst vertonen met de voortplanting van twee in tegengestelde richting lopende Kelvingolven. Zoals in Aanhangsel 3 wordt behandeld, is een Kelvingolf onderworpen aan de Corioliskracht, terwijl de snelheden van de waterdeeltjes evenwijdig zijn. Door de bestaande divergentie van de kusten in Noordelijke richting, het binnendringen van het getij door het Nauw van Calais en door de veranderlijke diepte, vertoont de bestaande getijbeweging afwijkingen vergeleken met die, welke door Kelvingolven wordt beschreven. Toch kan men in grote trekken het getijbeeld in het Zuidelijk bekken beschrijven met behulp van Kelvingolven en speciaal het bestaan van het zgn. amphydromisch punt kan hierdoor worden verklaard. In het amphydromische punt is het verticale getij practisch gelijk aan nul, dit geldt echter niet voor de plaatselijke snelheden. Dit punt is wat ten Noorden van de lijn Yarmouth - IJmuiden gelegen en dan wat dichterbij de

Engelse dan bij de Hollandse kust.

Uitgaande van dit amphydromische punt moet men zich voorstellen, dat het verticale getij in de volgende zin om dit punt draait. Als het in Yarmouth HW is bijv. om 0 uur, is dit in Southwold het geval om 1 uur, bij Harwich om 2.30 uur. Daarna beweegt het HW zich over de Noordzee, zodanig dat het HW in Zeebrugge om ongeveer 4 uur voorkomt. Het verplaatst zich verder langs de Nederlandse kust. De lijnen van gelijke HW-tijden verlopen daarbij steeds door het amphydromische punt, zoals op bijlage 20 is aangegeven. Het is heel moeilijk om dit punt door berekening precies te localiseren, zodat een omgeving open gelaten is. In het algemeen kan men zeggen, dat als het HW langs de Engelse kust verloopt, tegelijkertijd het LW langs de Nederlandse kust beweegt; dit gedrag lijkt op een draaiende staande golf.

Een verloop als hiervoren geschetst, wordt theoretisch ook door Kelvingolven voortgebracht. Let men echter op de details, dan blijken afwijkingen. In het Zuidelijk deel van het beschouwde gebied komt over een groot oppervlak begrensd door de lijnen Margrate - amphydromisch punt - Zeebrugge het HW bijna gelijktijdig voor. Deze afwijkingen worden ook veroorzaakt door de getijbeweging in het Nauw van Calais en door het dieptepatroon van de Noordzee. Op de bijlagen 19 en 20 is het verloop van de diepte aangegeven. Dan blijken de grootste diepten voor te komen in een strook die dichter bij de Engelse dan bij de Hollandse kust is gelegen. Vanaf de Hollandse en Belgische kust neemt de diepte naar het midden van de Noordzee langzamer af dan langs de Engelse kust het geval is.

Het verloop der getijamplituden in de Noordzee is ook op bijlage 20 aangegeven. Speciaal in het Noordelijk deel van het beschouwde gebied kan het verloop van de amplituden verklaard worden met behulp van de theorie der Kelvingolven (zie bijlage 27). De lijnen van gelijke amplitude zijn ellipsvormig rondom het amphydromisch punt gelegen. De afwijkingen, die hier voorkomen in de symmetrie van de genoemde lijnen t.o.v. het amphydromisch punt (bijlage 20), zijn ook het gevolg van de genoemde dieptevariatiën. In het Zuiden blijkt de invloed van de getijbeweging in het Nauw van Calais; uiteraard is er continue aansluiting met het Noordelijke getij. Deze beïnvloeding blijkt ook uit het feit, dat de lijnen van gelijke amplitude in de richting van de Belgische en Nederlandse kust uitgerekt zijn.

Het getij van het Nauw van Calais beïnvloedt vooral het getij langs de Belgische kust, hetgeen in de grote getijverschillen, die tot bij Westkapelle op Walcheren voorkomen, merkbaar is.

Tenslotte vermelden we het volgende over de kenmerkende eigenschappen van de getijstromen in de Noordzee (zie bijlage 26).

Allereerst blijkt uit deze bijlage, dat de max. getijstromen langs de Engelse kust sterker zijn dan die langs de Hollandse kust, zelfs zo, dat ondanks de grotere diepte toch de voortplanting van het verticale getij langs de Engelse kust, ongeveer gelijk is aan die langs de Nederlandse kust.

Deze grotere snelheden kunnen worden verklaard uit de variaties in de phaseverschillen tussen horizontaal en verticaal getij resp. bij de Engelse en Hollandse kust. Deze variaties zijn zeer belangrijk. Voorts is de stroming naar de uitgestrekte Theemsmond van belang.

Vanwege het krachtige getij, dat door het Nauw van Calais de Noordzee binnendringt, zijn ook daar de snelheden groot. Ze nemen echter buiten de halsvormige vernauwing vrij snel af.

Voor de Belgische en Nederlandse kust is een uitgestrekt gebied aanwezig, waar de maximale snelheden vergeleken met die in het overige deel van de Noordzee minimaal zijn (zie bijlage 26). Wel bleek een kleine vermeerdering van de max. snelheden in het gebied vóór de Nederlandse zeegeaten voor te komen.

Tenslotte merken we nog op, dat vloed-snelheid door ons gedefiniëerd is als een snelheid, die naar het Noorden is gericht, terwijl de ebsnelheid in tegengestelde richting verloopt. In het spraakgebruik wordt de watersnelheid vloed-snelheid genoemd, als hiermede in het algemeen een stijgende waterstand gepaard gaat. Uit dit oogpunt moeten we langs de Engelse kust van ebstroom spreken als daar de snelheid naar het Noorden gericht is.

LITERATUUR:

A. Defant.

Untersuchungen über die Gezeitenerscheinungen in Mittel- und Randmeeren, in Buchten und Kanälen.

IV Teil, Wien 1919.

Aus den Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien.

J. Proudman and
A. T. Doodson.

The principal constituent of the tides of the North Sea.

1924.

Proceedings Royal Society London, 1924.

J. Proudman.

Note on the dynamics of storm-surges.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Geophysical Supplement, Vol. 7, no. 1, 1954.

Aanhangsel 2: Formules voor de bepaling van de getijbeweging in de Noordzee met toepassing op de berekening van het getij.

Voor de behandeling van de getijbeweging in de Noordzee moeten we uitgaan van de volgende bewegingsvergelijkingen:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial t} - \Omega v_y + \frac{|v| v_x}{C^2 a} &= - \frac{g \partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial v_y}{\partial t} + \Omega v_x + \frac{|v| v_y}{C^2 a} &= - \frac{g \partial h}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Dan stellen x en y de horizontale coördinaten van de plaats voor en t de tijd. Verder zijn:

- $v (v_x, v_y)$ de componenten van de stroomsnelheid,
 a = diepte,
 C = coëfficiënt van Chézy,
 g = versnelling zwaartekracht,
 h = hoogte van de waterspiegel boven het nulvlak, waarvoor we het NAP-vlak kiezen.
 Ω = coëfficiënt van Coriolis = $2 \Omega_e \sin \beta$ waarin:
 Ω_e = omwentelingssnelheid van de aarde,
 β = geografische breedte.

Verder noemen we:

- w = hoekfrequentie van het getij.

De termen, die in (1) van de tijd afhangen, zijn de componenten van de traagheidskracht, terwijl de termen met Ω de componenten van de Corioliskracht zijn.

De componenten van de weerstandskracht, $\frac{|v| v_x}{C^2 a}$ en $\frac{|v| v_y}{C^2 a}$, worden verondersteld kwadratisch van de snelheid afhankelijk te zijn.

In de Aanhangsels 3 en 4 behandelen we ook het geval, dat de weerstandskracht lineair van de snelheid afhankelijk is. Dan noemen we de componenten resp. λv_x en λv_y .

Tenslotte stellen de termen in het rechterlid van (1) de componenten van de verhangkrachten voor.

Aan de bewegingsvergelijkingen moet nog de continuïteitsvergelijking worden toegevoegd. Deze luidt:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = - a \frac{\partial v_x}{\partial x} - a \frac{\partial v_y}{\partial y} \quad (2)$$

De oorsprong van het coördinatenstelsel (x,y) en de x -richtingen in dat punt kunnen we nog in de Noordzee willekeurig kiezen. De y -richting staat loodrecht op de x -richting, terwijl haar positieve richting bepaald wordt door draaiing tegen de wijzers van een uurwerk in vanuit de positieve x -richting.

Het verloop van de getijbeweging in de Noordzee is eenduidig te bepalen, indien nog voldoende randvoorwaarden gegeven worden. Deze bestaan uit twee groepen. In de eerste plaats moeten de snelheden langs de kusten evenwijdig met deze gericht zijn, terwijl in de Nederlandse mondingen van de estuaria's, de stromen als functie van de tijd gegeven moeten zijn. Dit laatste moet ook het geval zijn voor de Theemsmonding. Men kan dit ook zo uitdrukken, dat in ieder punt langs de kusten de component van de snelheid loodrecht op die kust gegeven moet zijn; ze heeft dan de waarde nul langs de gesloten kust.

Daar we ons bij de berekeningen beperken tot het Zuidelijk deel van de Noordzee, moet in de lijn Wash Bay - Den Helder of een wat hoger gelegen lijn het verticale getij bekend zijn, evenals in het Nauw van Calais.

Het verticale getij in het Nauw van Calais is in voldoende mate bekend, doordat de getijlijnen te Dover en Calais gegeven zijn. Op de Noordelijke begrenzing van de Noordzee is dat niet het geval. Wel is daar door de onderzoekingen van Engelse zijde het verloop van het getij ongeveer berekend. Nu zijn langs de Nederlandse, Belgische en Engelse kusten voor talrijke plaatsen de verticale getijden nauwkeurig bekend en men kan de vraag stellen of de randvoorwaarde op de Noordelijke begrenzing niet door de bekende getijbeweging langs de kusten vervangen kan worden. Het antwoord op deze vraag is in het algemeen niet onmiddellijk te geven. Het is zelfs mogelijk, dat deze laatste randvoorwaarden niet toereikend zijn.

Daar echter de Engelse en Nederlandse kust voldoende dicht bij elkaar gelegen zijn in vergelijking met de afstand tussen het Nauw van Calais en de Noordelijke begrenzing, zal de gemeten getijbeweging langs de kusten het getijprobleem op de Noordzee eenduidig bepalen, zodat dan ook de verticale getijbeweging op de Noordelijke begrenzing te berekenen is. De genoemde voorwaarden langs de kusten zullen ook niet te uitgebreid zijn, omdat deze gegevens bij de bestaande getijbeweging aangepast zijn. Het is zeer moeilijk om het gestelde vraagstuk in algemene zin op te lossen. Zowel door de schrijver van dit rapport als door dr Schönfeld werden in beginsel rekenmethoden opgesteld om de getijbeweging in de Noordzee te berekenen. Hierbij werden eerst differentievergelijkingen opgesteld. De lineaire vergelijkingen, die hieruit kunnen worden afgeleid moeten met behulp van relaxatiemethoden worden opgelost.

In verband met het zeer uitgebreide rekenwerk, dat hiermede verbonden is, werden berekeningen van beperkte aard uitgevoerd. Hierbij werden weer bepaalde gegevens betreffende de snelheden als uitgangspunt genomen. Dit is dus de werkwijze, die ook van Engelse en Duitse zijde toegepast werd. Blijkens de publicaties werd bij deze berekeningen echter niet de continuïteitsvergelijking (2) toegepast, hetgeen bij de berekeningen dezerzijds wel het geval was. Hierdoor konden de gemeten snelheden nader gecontroleerd worden en kon ook het snelheidsverloop in andere punten bepaald worden, hetgeen speciaal van belang was om de onderzoeken van § 6 te verifiëren en dus na te gaan in hoeverre deze resultaten van de werkelijkheid konden afwijken. Voorts werd hierdoor een inzicht verkregen in de getijbeweging van de Noordzee, vooral betreffende de onderlinge belangrijkheid van de verschillende krachten, die de getijbeweging bepalen.

De berekeningen werden stapsgewijs uitgevoerd, zodat een verkregen benadering bij de volgende berekeningen verbeterd werd.

Met behulp van de snelheden, die in verschillende punten van de Noordzee gemeten zijn, (zie ook de bijlagen 40 - 52) werden voor ieder vak gemiddelde snelheden bepaald. Hierbij werd ook gebruik gemaakt van de verschillende gegevens uit de zgn. stroomatlassen van de Noordzee. Het is uiteraard mogelijk, dat door de beperktheid en de onnauwkeurigheid van de gegevens, de bepaalde gemiddelde snelheden niet al te nauwkeurig zijn.

De vakken werden als volgt bepaald. De afstand van het Nauw van Calais naar de lijn Yarmouth - IJmuiden werd in 6 delen verdeeld, terwijl over de breedte van de Noordzee (Nederland-Engeland) vijf doorlopende stroken werden gekozen, waardoor een netwerk verkregen werd. De grenzen van deze stroken werden zo goed mogelijk aangepast aan de richting van de gemiddelde stroomlijnen. Voorts werden de grenzen van deze vakken zo bepaald, dat de variaties t.o.v. gemiddelde diepte zo gering mogelijk waren, terwijl dit eveneens ten opzichte van de snelheden het geval was.

Met behulp van de gemiddelde snelheden en uitgaande van het verticale getij in het Nauw van Calais, werd daarna langs de middens van de stroken en langs de kusten het verticale getij van vak tot vak achter-eenvolgens berekend.

Hierbij werden dan de vergelijkingen (1) toegepast in de vorm van differentievergelijkingen, zoals bijv.:

$$h(x_2) - h(x_1) = \left[\left(\frac{\partial v_x}{\partial t} \right)_{\text{gem}} - \Omega (v_y)_{\text{gem}} + \left(\frac{|v| v_x}{C^2 a} \right)_{\text{gem}} \right] \cdot \frac{x_1 - x_2}{E}$$

voor de berekening van het getij in de lengterichting van de stroken.

Daar de grenzen van de stroken volgens de gemiddelde stroomlijnen werden bepaald, kon aanvankelijk de term met v_y worden verwaarloosd.

In dwarsrichting, dis loodrecht op de stroken, werden van vak tot vak eveneens bij eerste benadering de vervallen berekend volgens:

$$h(y_2) - h(y_1) = \frac{1}{g} \Omega(v_x)_{\text{gem}} \cdot (y_1 - y_2).$$

Op de hoekpunten van een raamwerk werden dus getijlijnen berekend volgens twee richtingen, nl. vanuit het Nauw van Calais en vanuit bepaalde punten op de Nederlandse en Belgische kusten. De getijlijnen langs deze kust werden ook weer berekend uitgaande van het getij in het Nauw van Calais.

De afwijkingen, die in de vanuit twee richtingen berekende getijlijnen onderling voorkwamen, zijn dan o.a. een maat voor de nauwkeurigheid van de gegevens waarover beschikt werd om de berekening uit te voeren. Om deze afwijkingen binnen redelijke grenzen te brengen, bleek een zware opgave. Daar de basis van onze berekeningen op tevoren vastgestelde gemiddelde snelheden berustte, was het alleen mogelijk om de uitkomsten te verbeteren, door wijzigingen in de bepaalde gemiddelde snelheden aan te brengen. Door deze snelheden binnen redelijke grenzen te wijzigen, bleek het mogelijk om in het algemeen een bevredigend beeld te verkrijgen van de verticale getijbeweging, terwijl aan de randvoorwaarden, nl. de bekende getijlijnen langs de Nederlandse en Engelse kust ook op voldoende wijze kon worden voldaan. Zo werd ook het amphydromisch punt weer vastgesteld, ofschoon het niet mogelijk bleek om binnen een redelijke termijn voor het rekenwerk, aldaar een getij te verkrijgen, waarvan de amplitude kleiner was dan 25 cm.

Bij deze eerste groep berekeningen, die van oriënterend karakter waren, werden dus de gemeten snelheden als uitgangspunt genomen. Het was echter de bedoeling om een oplossing te vinden voor het randprobleem, bepaald door de gegeven getijlijnen langs de kusten, waarbij ook de snelheden door berekening bepaald zouden worden. Hierbij moet dan ook de continuïteitsvergelijking (2) worden toegepast. Deze tweede groep berekeningen zullen we in het kort bespreken.

Als resultaat van de eerste groep berekeningen werden op de hoekpunten van de vakken de getijlijnen bepaald. Men kan daarna met behulp van deze gegevens voor ieder vak de komberging van het vak bepalen door in de hoekpunten op een bepaald moment $\frac{\partial h}{\partial t}$ te bepalen en deze waarden te middelen. De komberging van het vak voor het beschouwde moment is dan gelijk aan het product van het oppervlak en $\left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)_{\text{gem}}$.

De praktische uitvoering van de verdere berekeningen geschiedde als volgt:

In het proefschrift van dr ir van Veen, de^A Hoofden, is het verloop van de totale stroom door het Nauw van Calais weergegeven. Uit de metingen, die bij deze bepaling gebruikt werden, kon ook worden afgeleid op welke wijze deze stroom over het profiel verdeeld is. Zo kon worden bepaald het stroomverloop door de zijden van de vakken, die aan het Nauw van Calais aansloten en waarbij voor ieder vak twee hoekpunten in deze doorsnede gelegen waren. De stromen door de profielen van de Noordelijke zijde van deze vakken kunnen dan bepaald worden als de algebraïsche som van de stromen door het Nauw van Calais, die door de Zuidelijke doorsnede gaan en de komberging van het gebied als functie van de tijd. Zoverder gaande kon voor ieder vak de stroom bepaald worden, die resp. door de noordelijke en zuidelijke profielen zullen gaan. Daar aangenomen werd, dat de oostelijke en westelijke zijde van ieder vak overeenstemden met de gemiddelde stroomlijnen, zou door deze zijden geen stroom moeten gaan.

Met behulp van de aldus verkregen gegevens, werd daarna de gemiddelde stroom als functie van de tijd in het vak bepaald en ook de gemiddelde snelheid. Deze zouden dan moeten overeenstemmen met die, welke als uitgangspunt dienden voor de eerste groep berekeningen.

Bij deze vergelijking bleek, dat er vaak belangrijke afwijkingen voorkwamen, die hoofdzakelijk veroorzaakt werden doordat de oorspronkelijke aanname van de gemiddelde stroombanen, die de grenzen vormden van de stroken, vaak niet juist bleek. In de omgeving van de max. stromen waren de afwijkingen als te verwachten het geringst; naar de kleinere snelheden namen ze toe.

Het bleek dan dat bij de vloednelheden de stroombanen meer naar de Engelse kust moesten worden omgebogen, terwijl dit bij de ebsnelheden in omgekeerde richting zou moeten plaats hebben. Het was dus nodig om gedurende het getij met variabele stroombanen te rekenen. Door de toepassing van de continuïteitsvergelijking bleek ook de belangrijke invloed van de veranderlijke diepte in de Noordzee en de invloed van de stroming van en naar de zeegaten.

Bij toepassing van de bewegingsvergelijkingen alleen, komt de invloed van deze stroming praktisch niet tot uiting. In ieder geval verhoogden deze berekeningen in belangrijke mate het inzicht in het verloop van de getijbeweging in de Noordzee.

Bij de verdere berekening werd het schema belangrijk vereenvoudigd door eerst twee stroken te beschouwen en de getijlijnen op de scheidingslijn van de twee stroken te berekenen. Hierbij moest dan van uur tot uur

een bepaalde hoeveelheid stroom overgevoerd worden voor de dwarsstromingen van het linker naar het rechter vak en omgekeerd. Men kan voor deze berekeningen formules afleiden, die echter te uitgebreid zijn om hier te vermelden.

Na de bepaling van het getij volgens dit eenvoudige systeem moet men overgaan tot meer uitgebreide netwerken.

Enkele resultaten van deze eerste berekeningen zijn in de bijlagen 24 en 25 weergegeven, nl. de totale stromen als functie van de tijd zijn door de raaien van bijlage 23 getekend met de vermogen in milliarden m^3 . Op bijlage 24 werden de stromen door de raaien over de gehele breedte van de Noordzee weergegeven; in bijlage 25 voor de strook, die langs de Nederlandse kust verloopt (zie bijlage 23). Hieruit is de betekenis van de stroming naar en van de zeegaten, de Wester-Schelde inbegrepen, t.o.v. de getijstroming in de strook, die aan de Nederlandse en Belgische kust aansluit, voor de verschillende raaien te bepalen. De max. stromen van de zeegaten benoorden de Wester-Schelde zijn ongeveer 1,3 maal zo groot als die van de Wester-Schelde zelf.

De max. stromen van de af te sluiten zeegaten zijn ongeveer de helft van die van alle zeegaten tezamen.

Op de bijlagen 21 en 22 zijn de getijlijnen langs de Nederlandse en Engelse kust aangegeven, die als basis voor deze berekeningen dienden; ze werden uit de beschikbare gegevens afgeleid.

Aanhangsel 3: Schematische berekening van het getij in de Noordzee met behulp van Kelvingolven.

Daar deze Kelvingolven ook worden toegepast bij de berekeningen in de volgende paragraaf, wordt hier de theorie in het kort behandeld.

Onder een Kelvingolf wordt een lange getijgolf verstaan, die bij haar voortplanting onderworpen is aan de Corioliskracht, terwijl de snelheden in ieder punt van het gebied evenwijdig zijn.

Deze getijgolf plant zich dus voort in een gebied, dat door twee evenwijdige kusten wordt begrensd. Het kan zijn, dat dit gebied aan één der uiteinden afgesloten is, dit behoeft echter niet het geval te zijn.

De theorie van deze Kelvingolven werd oorspronkelijk opgesteld voor het geval, dat de bodemwrijving kon worden verwaarloosd, dus voor voldoende diepe gebieden. Daar de bodemwrijving in het Noordzeebekken, wegens haar geringe diepte niet kan worden verwaarloosd, werd dezerzijds de aanvankelijke oplossing voor de voortplanting van de Kelvingolf met de invloed van de bodemwrijving uitgebreid, hetgeen geen bijzondere complicaties met zich meebrengt, mits de bodemwrijving lineair van de snelheid afhankelijk wordt gesteld. Ook door Prof. Proudman en Dr Schönfeld is dit geval behandeld.

Voor Kelvingolven geldt dus dat $v_y = 0$. Voorts beschouwen we M_2 getijden. De bewegingsvergelijkingen luiden dan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial t} + \lambda v_x &= - \frac{g}{\partial x} \partial h &) \\ \Omega v_x &= \frac{g}{\partial y} \partial h &) \end{aligned} \quad (1^1)$$

terwijl de continuïteitsvergelijking (2) hieraan moet worden toegevoegd:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = - a \frac{\partial v_x}{\partial x} \quad (2)$$

Het blijkt mogelijk om een M_2 getij te bepalen, dat zowel aan (1¹) als (2) voldoet. We volgen de reële oplossing van het vraagstuk en stellen:

$$\begin{aligned} H &= H_1(x,y) \cos w t + H_2(x,y) \sin w t &) \\ v_x &= v_{x_1}(x,y) \cos w t + v_{x_2}(x,y) \sin w t &) \\ v_y &= v_{y_1}(x,y) \cos w t + v_{y_2}(x,y) \sin w t &) \end{aligned} \quad (3)$$

Substitutie in (1¹) en (2) leidt tot de volgende vergelijkingen, waaraan H_1 , H_2 , v_{x_1} , v_{x_2} , v_{y_1} en v_{y_2} moeten voldoen:

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 v_{x_1} - \frac{\lambda}{w} v_{x_2} - \frac{g}{w} \frac{\partial H_2}{\partial x} = 0 \\
 v_{x_2} + \frac{\lambda}{w} v_{x_1} + \frac{g}{w} \frac{\partial H_1}{\partial x} = 0
 \end{array} \right\} (4) \\
 \left. \begin{array}{l}
 \Omega v_{x_2} + g \frac{\partial H_2}{\partial y} = 0 \\
 \Omega v_{x_1} + g \frac{\partial H_1}{\partial y} = 0
 \end{array} \right\} (5) \\
 \left. \begin{array}{l}
 H_1 - \frac{a}{w} \frac{\partial v_{x_2}}{\partial x} = 0 \\
 H_2 + \frac{a}{w} \frac{\partial v_{x_1}}{\partial x} = 0
 \end{array} \right\} (6)
 \end{array}$$

Eliminatie van v_{x_1} en v_{x_2} leidt dan tot twee differentiaalvergelijkingen, voor H_1 :

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 \frac{\partial^2 H_1}{\partial x^2} - \frac{\lambda}{\Omega} \frac{\partial^2 H_1}{\partial x \partial y} + \frac{w^2}{ga} H_1 = 0 \\
 \frac{1}{\Omega} \left(1 + \frac{\lambda^2}{w^2} \right) \frac{\partial^2 H_1}{\partial y^2} - \frac{\Omega}{w^2} \frac{\partial^2 H_1}{\partial x^2} - \frac{2\Omega}{ha} H_1 = 0
 \end{array} \right\} (7)
 \end{array}$$

De functie $H_2(x, y)$ moet aan dezelfde differentiaalvergelijkingen voldoen. Het blijkt mogelijk om een functie $H_1(x, y)$ zo te bepalen, dat ze aan de beide differentiaalvergelijkingen (7) voldoet. De algemene oplossing luidt:

$$\begin{aligned}
 (8) \quad H_1 = & e^{(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \left[A_1 \cos(\mu_1 x + \mu_2 y) + B_1 \sin(\mu_1 x + \mu_2 y) \right] + \\
 & + e^{-(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \left[C_1 \cos(\mu_1 x + \mu_2 y) + D_1 \sin(\mu_1 x + \mu_2 y) \right].
 \end{aligned}$$

Dan zijn A_1 , B_1 , C_1 en D_1 willekeurige constanten, die met behulp van gegeven randvoorwaarden bepaald moeten worden. Verder moeten α_1 , α_2 , μ_1 en μ_2 als volgt bepaald worden:

$$\begin{aligned}
 (9) \quad \alpha_1 &= \left\{ \frac{w [(w^2 + \lambda^2)^{\frac{1}{2}} - w]}{2ga} \right\}^{\frac{1}{2}} \approx \frac{\lambda}{2\sqrt{ga}} \\
 \alpha_2 &= \frac{1}{2} \Omega \left\{ \frac{2w [(w^2 + \lambda^2)^{\frac{1}{2}} + w]}{ga (w^2 + \lambda^2)} \right\}^{\frac{1}{2}} \approx \frac{\Omega}{\sqrt{ga}} \cdot \left(1 - \frac{3}{8} \frac{\lambda^2}{w^2} \right) \\
 \mu_1 &= \left\{ \frac{w [(w^2 + \lambda^2)^{\frac{1}{2}} + w]}{2ga} \right\}^{\frac{1}{2}} \approx \frac{w}{\sqrt{ga}} \left(1 + \frac{1}{8} \frac{\lambda^2}{w^2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{2} \Omega \left\{ \frac{2w [(w^2 + \lambda^2)^{\frac{1}{2}} - w]}{ga (w^2 + \lambda^2)} \right\}^{\frac{1}{2}} \approx \frac{1}{2} \frac{\Omega \lambda}{w\sqrt{ga}} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\lambda^2}{w^2} \right)$$

Hierbij zijn dan de grootheden, die in de rechterleden zijn opgegeven, voldoende benaderende waarden.

Voor H_2 geldt een analoge uitdrukking als (8), mits voor de constanten $A_1, B_1, C_1, D_1; A_2, B_2, C_2$ en D_2 wordt gelezen. Toch zijn deze laatste grootheden niet van A_1, \dots, D_1 onafhankelijk volgens de betrekkingen, die uit (4), (5) en (6) kunnen worden afgeleid:

$$\frac{\partial H_2}{\partial x} = \left[-\frac{w}{\Omega} - \frac{\lambda^2}{w^2} \left(\frac{w}{\Omega} \right) \right] \frac{\partial H_1}{\partial y} + \frac{\lambda}{w} \frac{\partial H_1}{\partial x}$$

$$\frac{\partial H_2}{\partial y} = -\frac{\lambda}{w} \frac{\partial H_1}{\partial y} + \frac{\Omega}{w} \frac{\partial H_1}{\partial x}$$

Dan blijkt na enige berekening, dat $B_2 = -A_1, A_2 = B_1, D_2 = C_1, C_2 = -D_1$. (10)

De algemene oplossing voor de Kelvingolven:

$$H = H_1(x, y) \cos wt + H_2(x, y) \sin wt$$

kan geïnterpreteerd worden als de voortplanting van twee in tegengestelde richting lopende elementaire Kelvingolven:

$$H = e^{\alpha_1 x + \alpha_2 y} \left\{ \cos (wt + \mu_1 x + \mu_2 y - \varphi) + e^{-(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \cos (wt - \mu_1 x - \mu_2 y + \psi) \right\}$$

waarin φ en ψ als volgt bepaald zijn:

$$A_1 = \cos \varphi \quad ; \quad B_1 = \sin \varphi \quad ; \quad C_1 = \cos \psi \quad ; \quad D_1 = \sin \psi$$

Om in grote trekken een inzicht te krijgen in het getijverloop op de Noordzee werd hierop de hiervoren behandelde theorie van de Kelvingolven toegepast.

Zoals op bijl. 27 is aangegeven, kan men een belangrijk deel van het Zuidelijk Noordzeegebied door een rechthoek benaderen. Uit de stroommetingen, die in dit gebied zijn verricht, blijkt, dat de maximum stroomsnelheden niet al te sterk divergeren, zodat ze bij eerste benadering als evenwijdig kunnen worden beschouwd. In de omgeving van de kenteringen komen belangrijke afwijkingen voor, maar dan zijn de getijkrachten die als gevolg van deze derivaties optreden, niet groot.

Uitgaande van het bepaalde M_2 getij te Yarmouth en bij Kentish Knock (zie bijl. 27) werden de coëfficiënten A_1, B_1, C_1, D_1 van H_1 en

H_2 berekend.

Dan is het getij

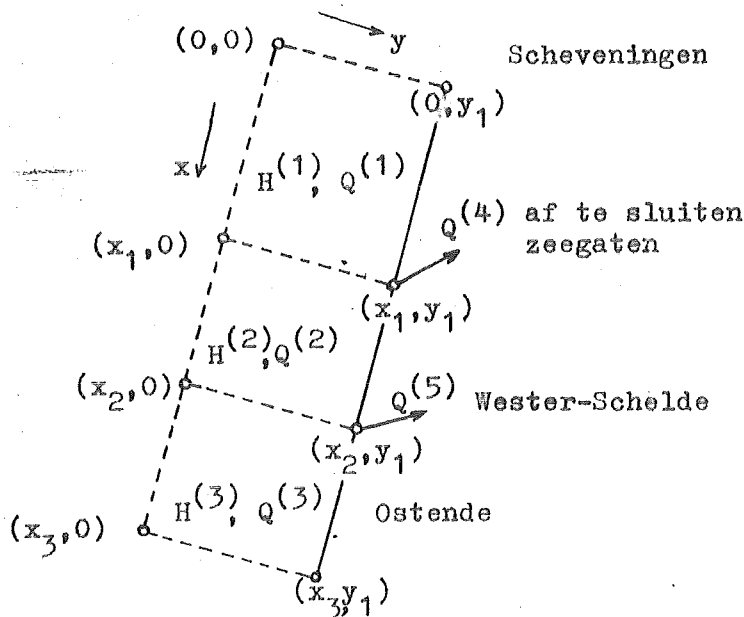
$$H = H_1 \sin wt + H_2 \cos wt$$

in ieder punt van de rechthoek te bepalen.

Op bijl. 27 zijn de amplituden van het alzo berekende M_2 getij in de rechthoek voor verschillende plaatsen aangegeven. Dan treft het onmiddellijk, dat men ten Oosten van Yarmouth inderdaad het amphydromisch punt vindt. Op de lijn Yarmouth - Kentish Knock vindt men ongeveer het verloop, zoals dit ook uit de metingen volgt. Ook op de Zuidelijke lijn Kentish Knock - Zeebrugge, worden geen al te grote afwijkingen gevonden. Op de lijn langs de Nederlandse kust zijn echter de afwijkingen belangrijk als gevolg van het verwaarlozen van de divergentie in de Nederl. kust t.o.v. de Engelse kust.

Aanhangsel 4: Theoretische formules voor de berekening van de getijbeweging in een strook langs de kust van Nederland en België met behulp van Kelvingolven.

In § 6 zijn de praktische resultaten van deze toepassing besproken. We leiden nu de theoretische formules voor deze berekeningen af. In de volgende schets is een strook langs de kust getekend met twee aftakkingen, resp. voor de stroming naar de Wester-Schelde en de andere zeegetaten tezamen genomen.



De notatie in de verschillende vakken is in de schets weergegeven. De oorsprong van het assenstelsel wordt in zee gekozen, op een afstand y km van IJmuiden.

Op de plaatsen (x_1, y_1) en (x_2, y_1) resp. bevinden zich de aftakkingen van de zeegetaten en de Wester-Schelde. We beschouwen dus drie vakken, waarin $H^{(i)}$ ($i = 1, 2$ en 3) het verticaal getij voorstelt en $Q^{(i)}$ ($i = 1, 2$ en 3) de totale stroom

die door een dwarsprofiel \perp x as gaat. Bij Scheveningen en Ostende zijn resp. de begin- en eindprofielen van de strook gelegen.

We nemen verder aan, dat in alle vakken de diepte dezelfde is, zijnde de gemiddelde diepte in de beschouwde strook langs de kust. Eveneens kiezen we voor de constante van Eytelwein dezelfde waarde. Tenslotte nemen we nog aan, dat ook verder de weerstandscoëfficiënt λ voor het gehele gebied hetzelfde is, dus we bepalen een gemiddelde snelheid voor alle vakken. Daar het om vergelijkingsberekeningen gaat is dit geoorloofd (zie § 6).

Het verticale getij $H^{(i)}$, heeft volgens de theorie van de Kelvingolven van Aanhangsel 3 een amplitude, waarvan de componenten volgens (3), (8) en (9) van Aanhangsel 3 resp. zijn:

$$\begin{aligned}
 H_1^{(1)} &= e^{(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \left[A_1 \cos(\mu_1 x + \mu_2 y) + B_1 \sin(\mu_1 x + \mu_2 y) \right] + \\
 &+ e^{-(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \left[C_1 \cos(\mu_1 x + \mu_2 y) + D_1 \sin(\mu_1 x + \mu_2 y) \right].
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 H_2^{(1)} &= e^{(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \left[B_1 \cos(\mu_1 x + \mu_2 y) - A_1 \sin(\mu_1 x + \mu_2 y) \right] + \\
 &+ e^{-(\alpha_1 x + \alpha_2 y)} \left[-D_1 \cos(\mu_1 x + \mu_2 y) + C_1 \sin(\mu_1 x + \mu_2 y) \right].
 \end{aligned}$$

De amplitude van $H^{(1)}$ is dan $\left[H_1^{(1)2} + H_2^{(1)2} \right]^{\frac{1}{2}}$. De coëfficiënten α_1 , α_2 , μ_1 en μ_2 zijn volgens (9) van Aanhangel 3 voor alle vakken dezelfde.

We moeten verder voor het profiel $(x_1, 0 - x_1, y_1)$ de continuïteitsvoorwaarde opstellen en eveneens voor $(x_2, 0 - x_2, y_1)$. Immers op deze vakgrenzen moet resp. gelden:

$$Q_{(x_1)}^{(1)} = Q_{(x_1)}^{(2)} + Q^{(4)}.$$

$$Q_{(x_2)}^{(2)} = Q_{(x_2)}^{(3)} + Q^{(5)}.$$

Nu wordt $Q^{(1)}(x_1)$ als volgt bepaald, waarbij (5) van Aanhangel 3 wordt toegepast:

$$\begin{aligned}
 Q_{(x_1)}^{(1)} &= a \int_0^{y_1} v_x^{(1)}(x_1, y) dy = a \int_0^{y_1} \left[v_{x_1}^{(1)}(x_1, y) \cos wt + v_{x_2}^{(1)}(x_1, y) \right. \\
 &\left. \sin wt \right] dy = -\frac{ag}{\Omega} \left[\cos wt \int_0^{y_1} \frac{dH_1^{(1)}(x_1, y)}{dy} dy + \sin wt \int_0^{y_1} \frac{dH_2^{(1)}(x_1, y)}{dy} dy \right].
 \end{aligned}$$

Dus:

$$\begin{aligned}
 (3) \quad Q_{(x_1)}^{(1)} &= -\frac{ag}{\Omega} \left[H_1^{(1)}(x_1, y_1) - H_1^{(1)}(x_1, 0) \right] \cos wt - \\
 &- \frac{ag}{\Omega} \left[H_2^{(1)}(x_1, y_1) - H_2^{(1)}(x_1, 0) \right] \sin wt.
 \end{aligned}$$

Voor $Q_{(x_1)}^{(2)}$, $Q_{(x_2)}^{(2)}$ en $Q_{(x_2)}^{(3)}$ worden analoge uitdrukkingen afgeleid, waarbij dan voor

$$H_1^{(1)}(x_1, y) \text{ en } H_2^{(1)}(x_1, y) \text{ resp. } H_1^{(2)}(x_1, y), H_2^{(2)}(x_1, y); H_1^{(2)}(x_2, y)$$

$H_2^{(2)}(x_2, y)$ en $H_1^{(3)}(x_2, y)$, $H_2^{(3)}(x_2, y)$ gesubstitueerd moet worden.

Voor $Q^{(4)}$ en $Q^{(5)}$ geldt weer:

$Q^{(4)} = Q_1^{(4)} \cos wt + Q_2^{(4)} \sin wt$ enz., terwijl $Q_1^{(4)}$ en $Q_2^{(4)}$ gegeven zijn.

Uit (2) en (3) volgen vier betrekkingen:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{ag}{\Omega} [H_1^{(1)}(x_1, y_1) - H_1^{(2)}(x_1, y_1)] = Q_1^{(4)} \quad , \\
 & -\frac{ag}{\Omega} [H_2^{(1)}(x_1, y_1) - H_2^{(2)}(x_1, y_1)] = Q_2^{(4)} \quad , \\
 (4) \quad & -\frac{ag}{\Omega} [H_1^{(2)}(x_2, y_1) - H_1^{(3)}(x_2, y_1)] = Q_1^{(5)} \quad , \\
 & -\frac{ag}{\Omega} [H_2^{(2)}(x_2, y_1) - H_2^{(3)}(x_2, y_1)] = Q_2^{(5)} \quad .
 \end{aligned}$$

Dan is gebruik gemaakt van de voorwaarden, die hieronder bij (6) zijn aangegeven:

We hebben nu dus 4 betrekkingen gevonden voor de 12 grootheden, A_i , B_i , C_i en D_i ($i = 1, 2, 3$), die in de zes functies $H_1^{(1)}$ en $H_2^{(1)}$ voorkomen.

We moeten dus nog acht andere betrekkingen opstellen. Vier hiervan volgen uit het feit, dat in twee randpunten het verticale getij als gegeven wordt verondersteld, hetzij in één der punten $0,0$ of $0,y_1$ en in één der punten $x_3,0$ of x_3,y_1 , dus:

$$(5) \quad H_1^{(1)}(0,0), H_2^{(1)}(0,0) \text{ is gegeven óf } H_1^{(1)}(0,y_1), H_2^{(1)}(0,y_1).$$

Evenzo

$$H_1^{(3)}(x_3,0), H_2^{(3)}(x_3,0) \quad \text{óf} \quad H_1^{(3)}(x_3,y_1), H_2^{(3)}(x_3,y_1).$$

De verder noodzakelijke betrekkingen volgen tenslotte uit de voorwaarden, dat we zullen aannemen, dat in $(x_1,0)$ en $(x_2,0)$, het verticale getij continu verandert, dus

$$(6) \quad H_1^{(1)}(x_1,0) = H_1^{(2)}(x_1,0) \text{ en } H_2^{(1)}(x_1,0) = H_2^{(2)}(x_1,0) \quad ,$$

$$H_1^{(2)}(x_2,0) = H_1^{(3)}(x_2,0) \text{ en } H_2^{(2)}(x_2,0) = H_2^{(3)}(x_2,0) \quad .$$

We hebben nu twaalf betrekkingen opgesteld, om de twaalf grootheden A_i , B_i , C_i en D_i te kunnen berekenen.

Tenslotte merken we nog op, dat uit (4) volgt:

$$H_1^{(1)}(x_1, y_1) \neq H_1^{(2)}(x, y_1) \quad \text{enz.,}$$

zodat op de plaatsen (x_1, y_1) , het verticale getij langs de x as (x_1, y_1) discontinu verandert als gevolg van de splitsingen naar de zeegaten en de Wester-Schelde.

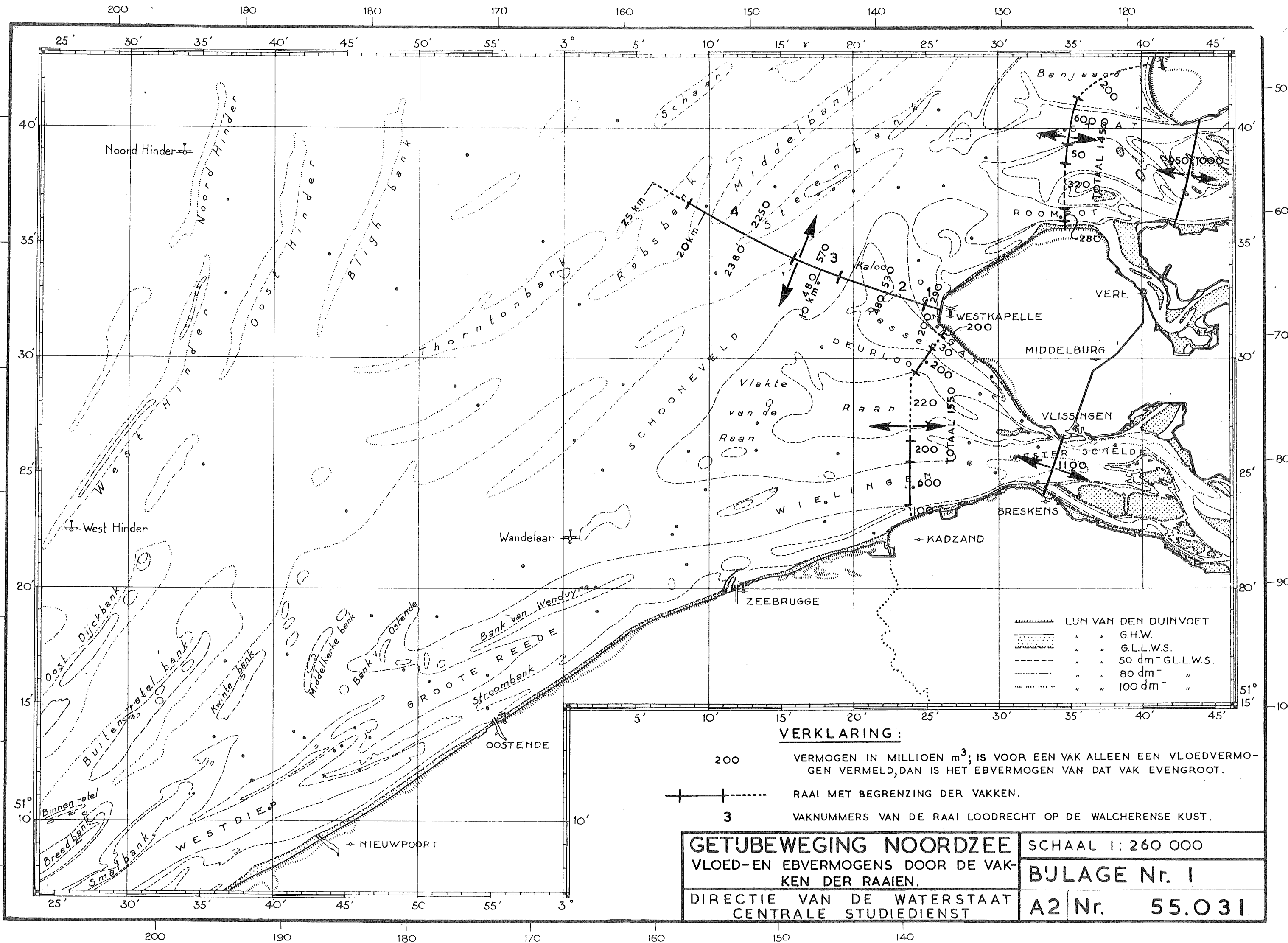
Bij de toepassing in § 6 zullen we deze kwestie nader bespreken; ze blijkt daarbij geen ernstig bezwaar te vormen.

In ieder punt van de strook kan de snelheid volgens (5) van Aanhangsel 3 berekend worden, zodat:

$$(7) \quad v^{(i)} = v_1^{(i)} \cos wt + v_2^{(i)} \sin wt, \quad \text{waarbij}$$

$$v_1^{(i)} = -\frac{g}{\Omega} \frac{\partial H_1^{(i)}}{\partial y} ; \quad v_2^{(i)} = -\frac{g}{\Omega} \frac{\partial H_2^{(i)}}{\partial y} ; \quad i = 1, 2 \text{ of } 3,$$

is.



Noord Hinder

West Hinder

Wandelaar

ZEEBRUGGE

OOSTENDE

NIEUWPOORT

ROOMPOT

WESTKAPELLE

MIDDELBURG

VLISSINGEN

WESTER SCHELD

BRESKENS

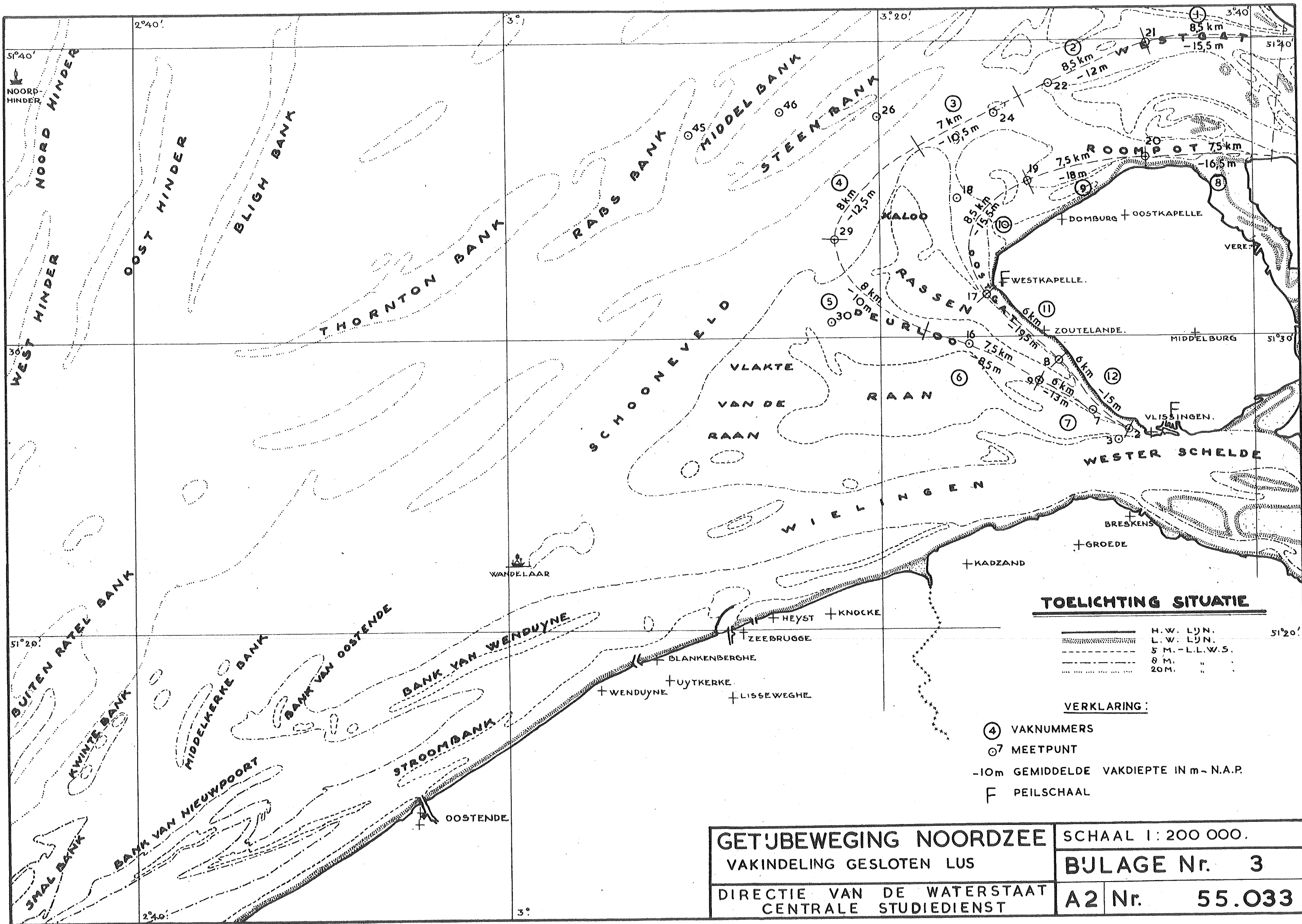
KADZAND

- LUN VAN DEN DUINVOET
- " " G.H.W.
- " " G.L.L.W.S.
- " " 50 dm⁻ G.L.L.W.S.
- " " 80 dm⁻ " "
- " " 100 dm⁻ " "

VERKLARING:

- 200 VERMOGEN IN MILLIOEN m^3 ; IS VOOR EEN VAK ALLEEN EEN VLOEDVERMOGEN VERMELD, DAN IS HET EBVERMOGEN VAN DAT VAK EVENGROOT.
- +----- RAAI MET BEGRENZING DER VAKKEN.
- 3 VAKNUMMERS VAN DE RAAI LOODRECHT OP DE WALCHERENSE KUST.

GETUBEWEGING NOORDZEE VLOED-EN EBVERMOGENS DOOR DE VAKKEN DER RAAIEN. DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	SCHAAL 1: 260 000
	BIJLAGE Nr. 1
	A2 Nr. 55.031



TOELICHTING SITUATIE

	H.W. LYN.	51°20'
	L.W. LYN.	
	5 M. - L.L.W.S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

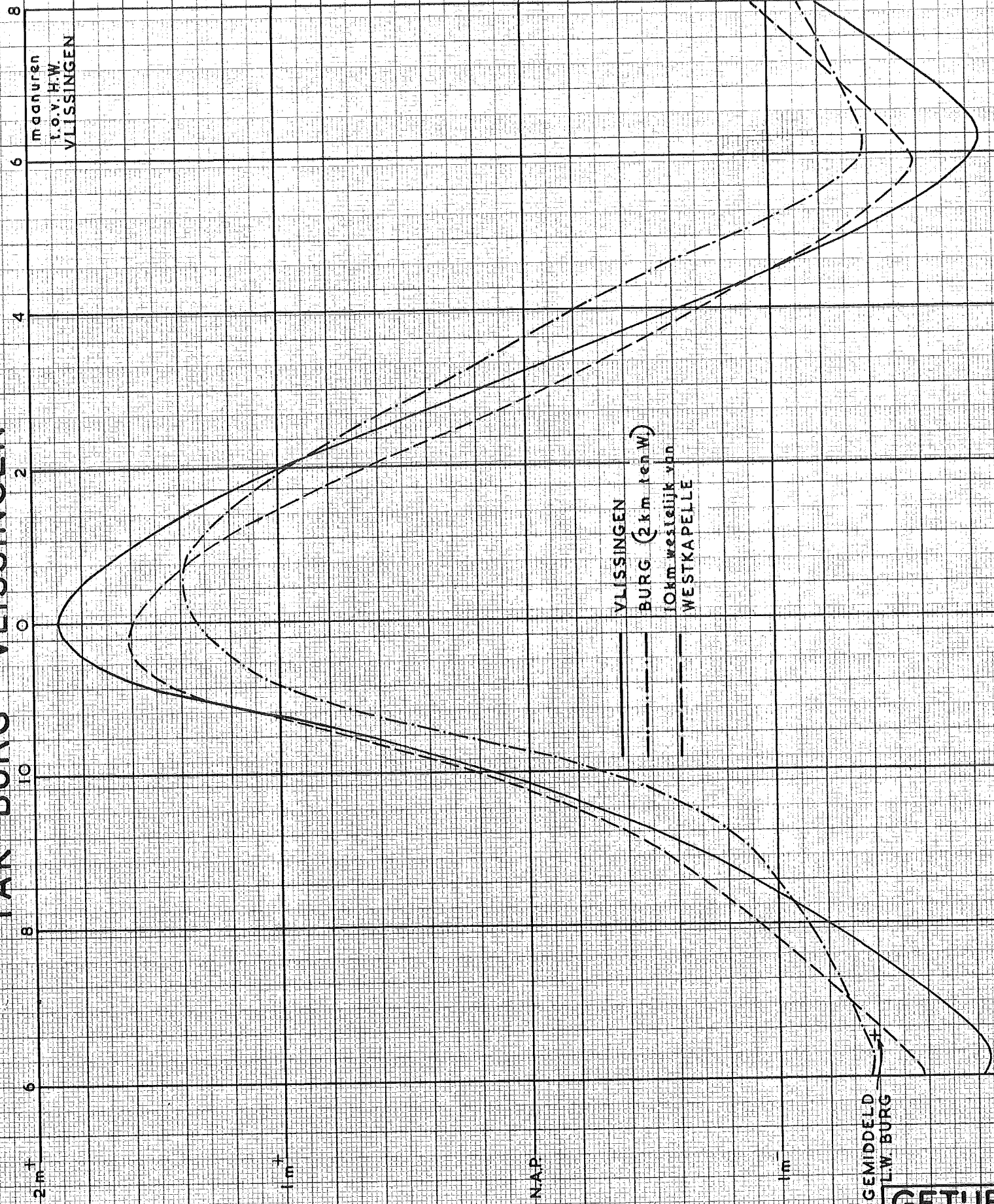
VERKLARING:

- ④ VAKNUMMERS
- ⑦ MEETPUNT
- 10m GEMIDDELTE VAKDIEPTE IN m - N.A.P.
- F PEILSCHAAL

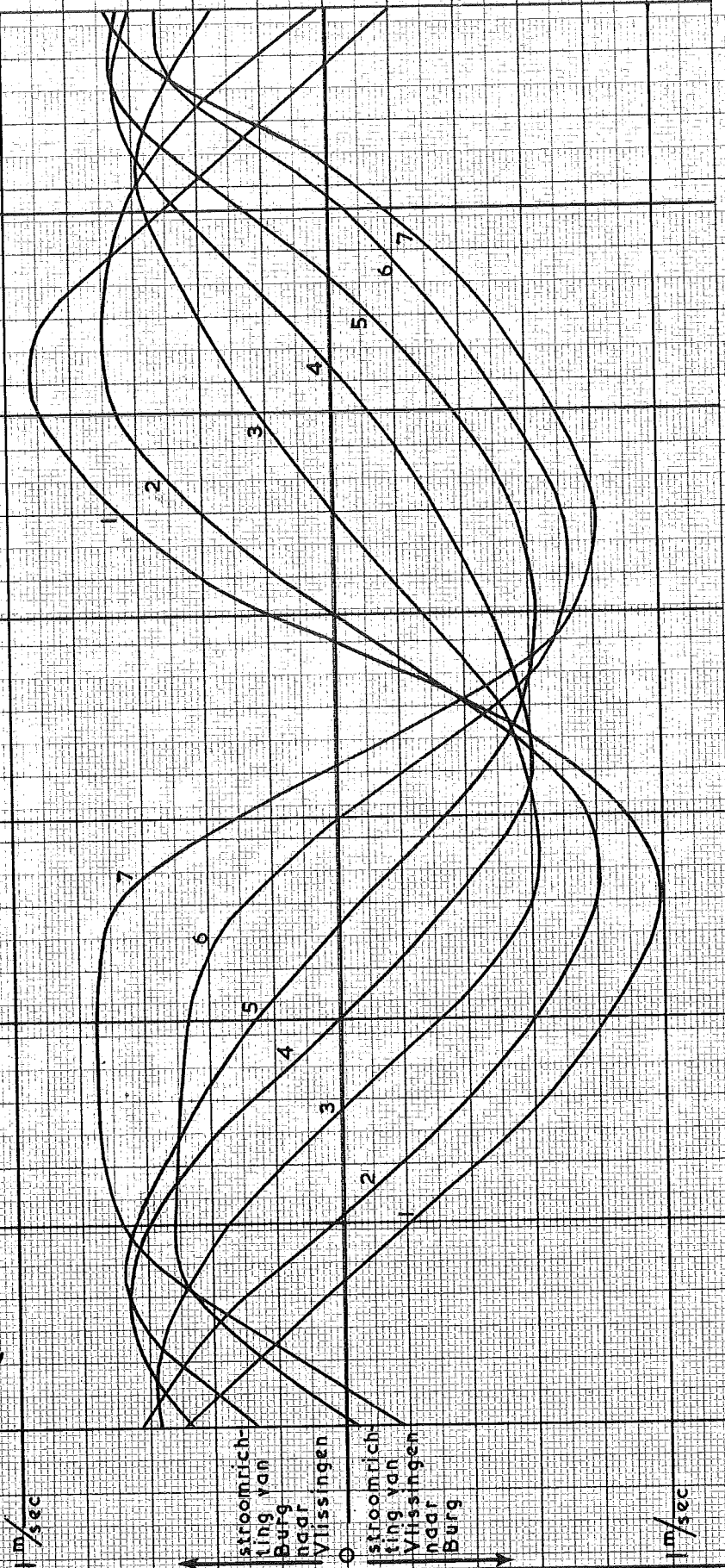
GET'UBEWEGING NOORDZEE VAKINDELING GESLOTEN LUS DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	SCHAAL 1: 200 000.
	BULAGE Nr. 3
A2 Nr. 55.033	

OOSTERSCHELDE OPEN

TAK BURG - VLISSINGEN

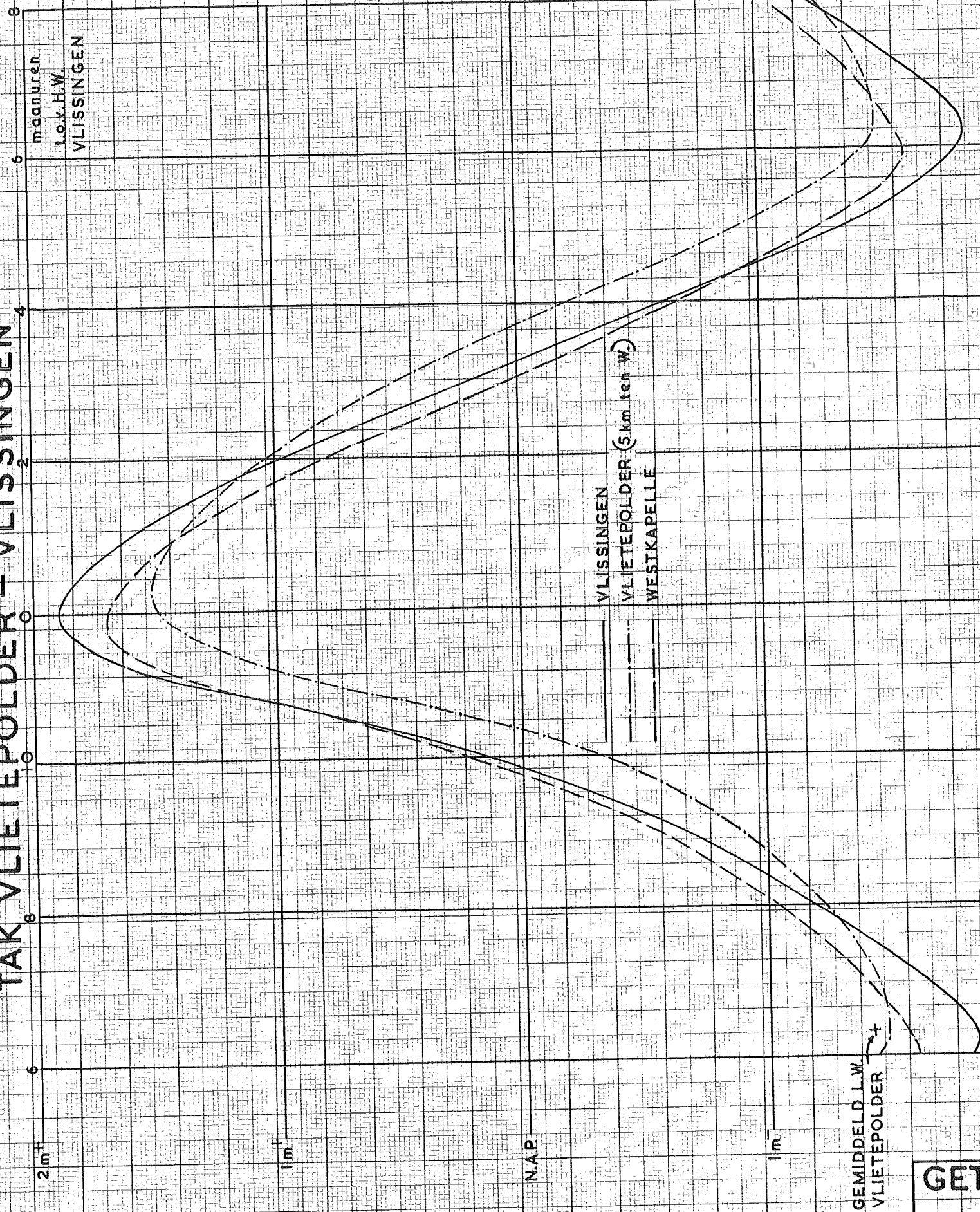


SNELHEDEN GEMIDDELD OP DE VAKKEN (Geprojecteerd op de baan in de nummers van Bjlage 3)

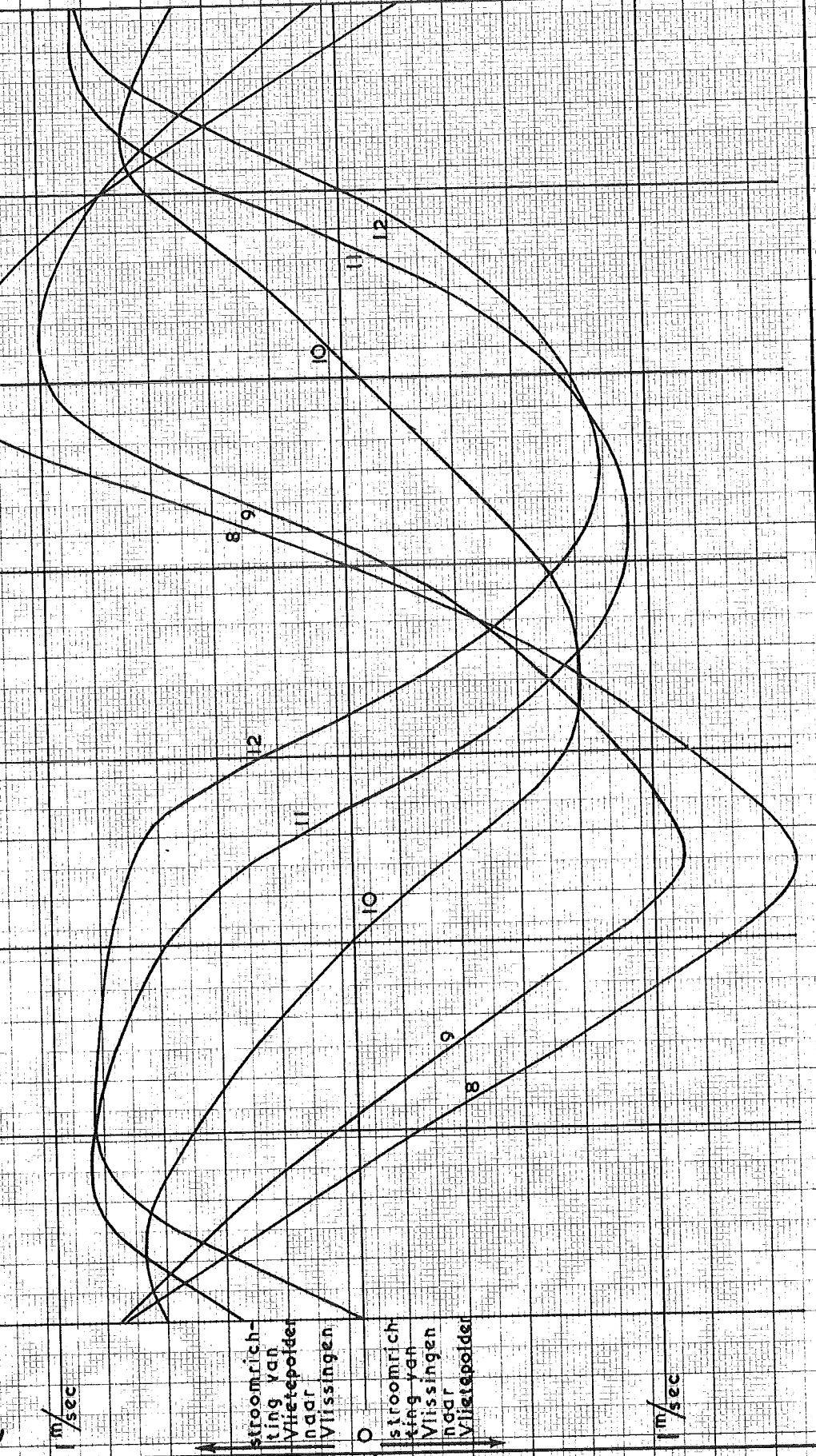


GETJBEWEGING NOORDZEE		BjLAGE Nr. 4	
MOND WESTER-EN OOSTERSCHELDE		A2 Nr. 55.034	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST			

OOSTERSCHELDE OPEN TAK VLIETEPOLDER - VLISSINGEN



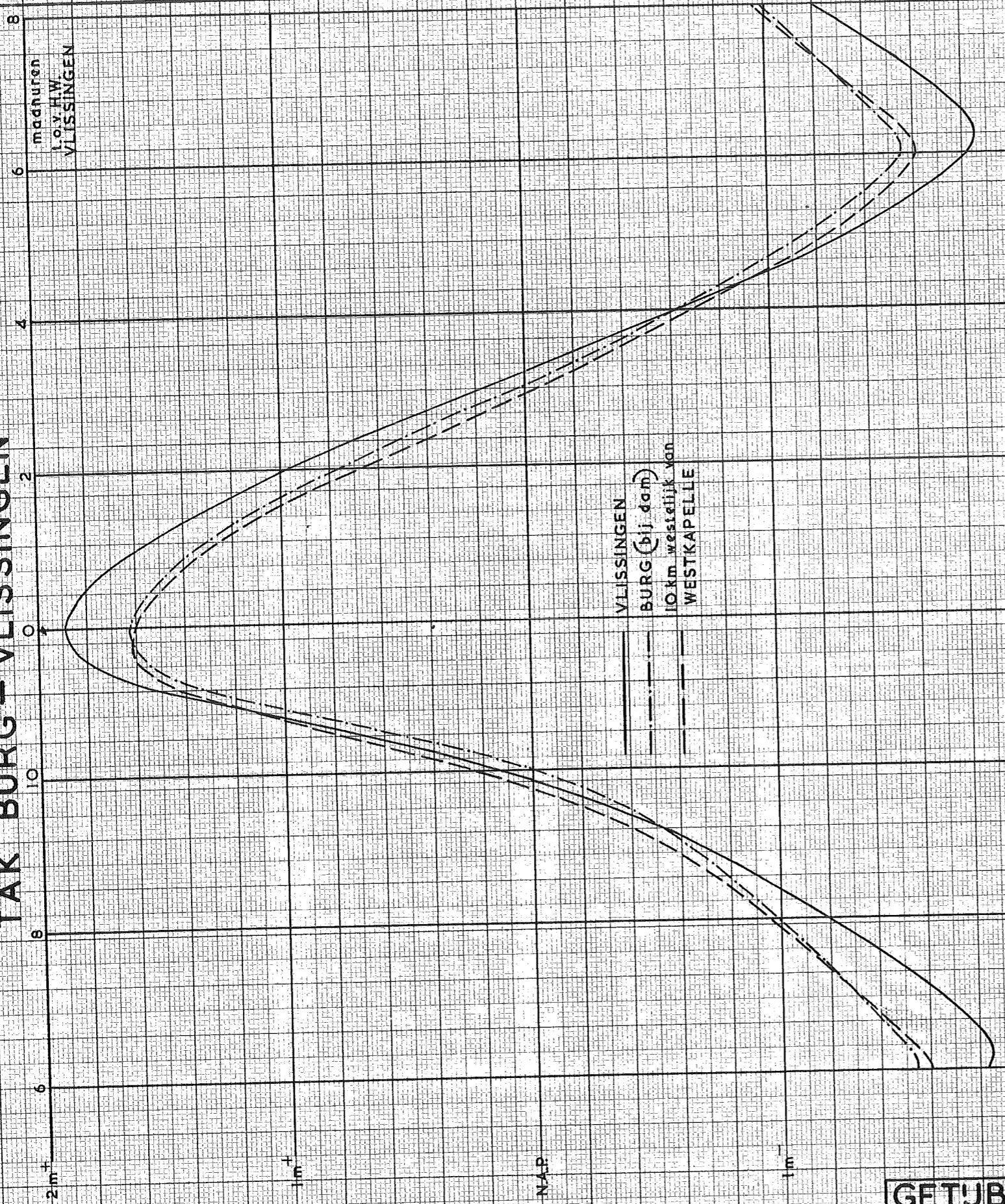
SNELHEDEN GEMIDDELD OP DE VAKKEN (Geprojecteerd op de baan in de nummers van BULAGE 3)



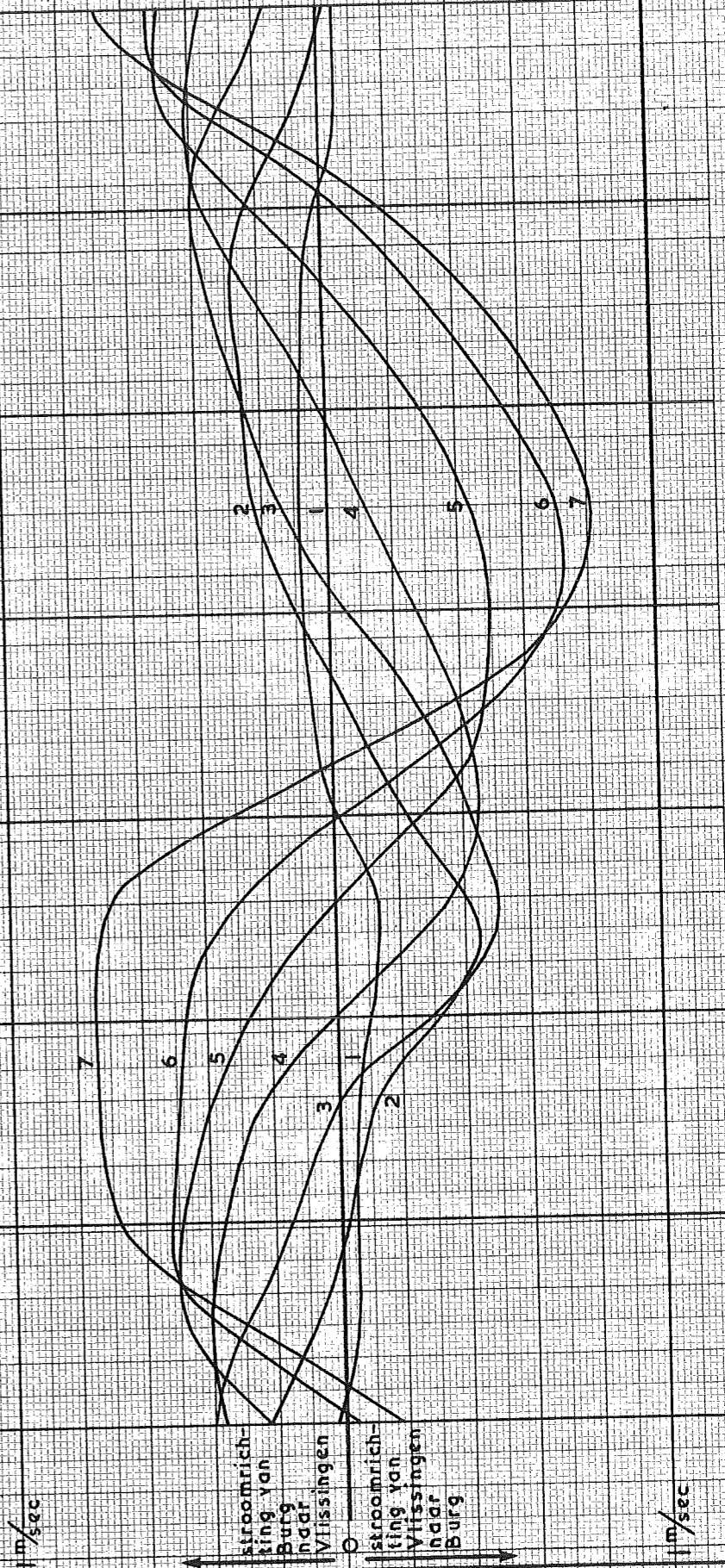
GETJUBEWEGING NOORDZEE		BULAGE Nr. 5	
MOND WESTER- EN OOSTERSCHELDE		A2 Nr. 55.035	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT			
CENTRALE STUDIEDIENST			

OOSTERSCHELDE AFGESLOTEN

TAK BURG - VLISSINGEN

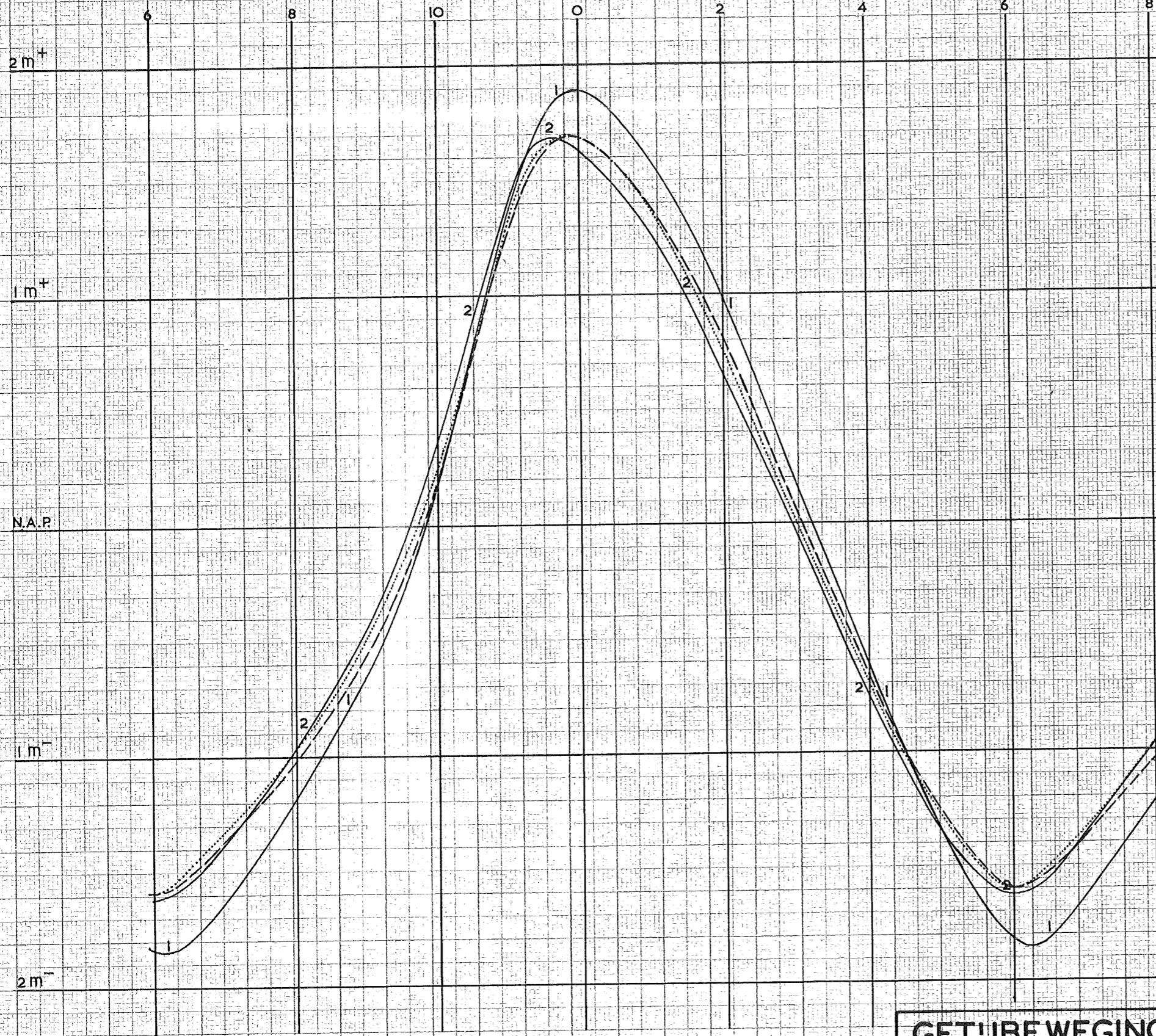


SNELHEDEN GEMIDDELD OP DE VAKKEN (GEPROJECTEERD OP DE BAAN IN DE NUMMERS VAN BIJLAGE 3)



GETJBEWEGING NOORDZEE		BIJLAGE Nr. 6	
MOND WESTER- EN OOSTERSCHELDE		A2 Nr. 55.036	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT			
CENTRALE STUDIEDIENST			

MAANUREN T.O.V. H.W. TE VLISSINGEN



VERKLARING

- 1 — GETUKROMME VLISSINGEN VOLGENS ALGEMENE DIENST VAN DE R.W.S.
- 2 — GETUKROMME WESTKAPELLE VOLGENS ALGEMENE DIENST VAN DE R.W.S.
- GETUKROMME WESTKAPELLE BEREKEND MET $C=60$.
- GETUKROMME WESTKAPELLE BEREKEND MET $C=50$.

GETJBEWEGING NOORDZEE
VERGELUKING TUSSEN GEMETEN EN
BEREKEND GETJ TE WESTKAPELLE.
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
CENTRALE STUDIEDIENST

BIJLAGE Nr. 8
A2 Nr. 55.038

MAANUREN T.O.V. H.W. TE VLISSINGEN

2 m⁺

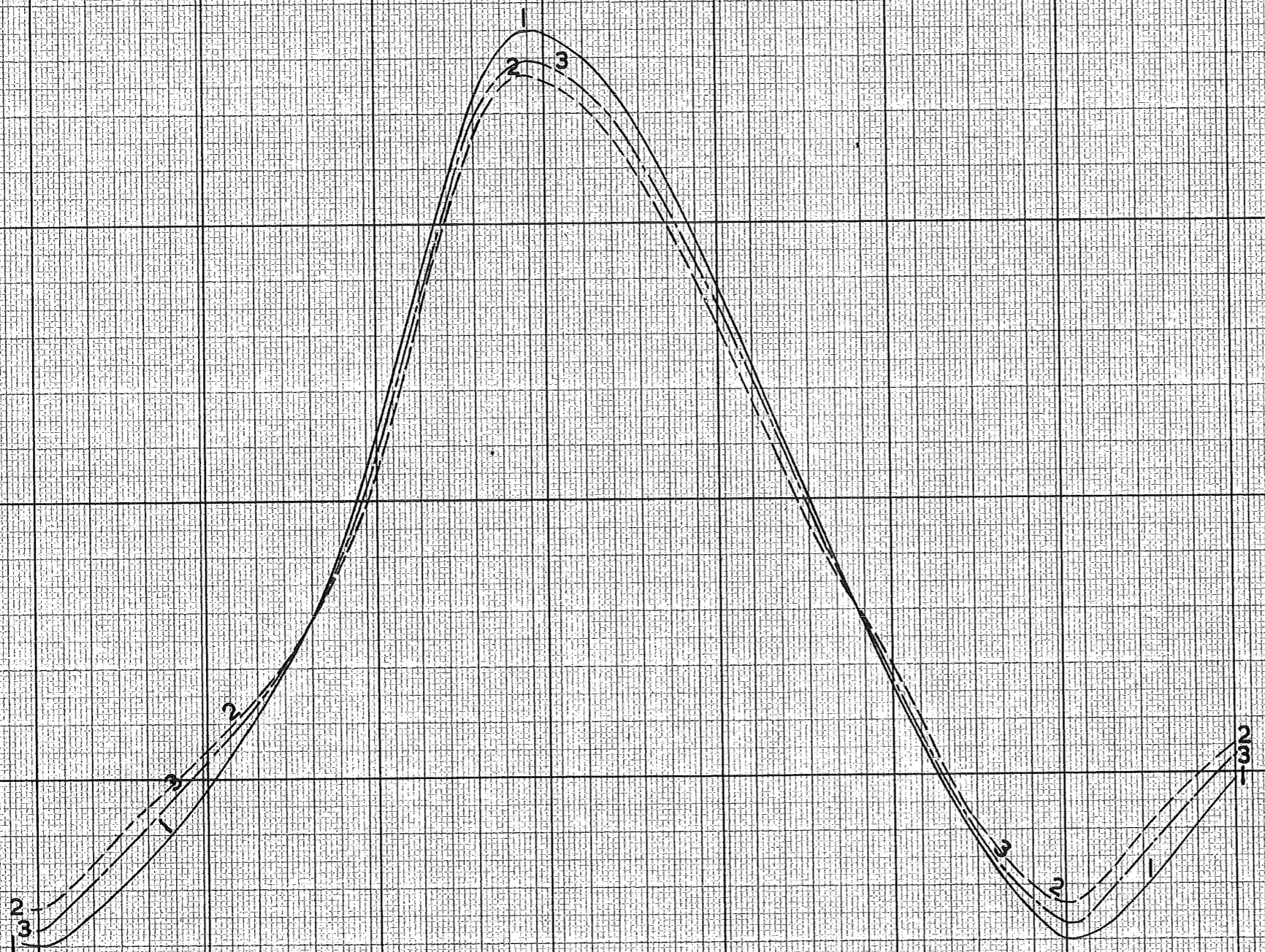
1 m⁺

N.A.B.

1 m⁻

2 m⁻

6 8 10 0 2 4 6 8



VERKLARING

- 1 GETULIJN WESTKAPELLE
- 2 GETULIJN BUITENMOND OOSTGAT, OPEN TOESTAND.
- 3 GETULIJN BUITENMOND OOSTGAT, AFGESLOTEN TOESTAND.

BUITENMOND OOSTGAT GELUK AAN BEGIN VAK 4 OP BIJLAGE Nr. 3

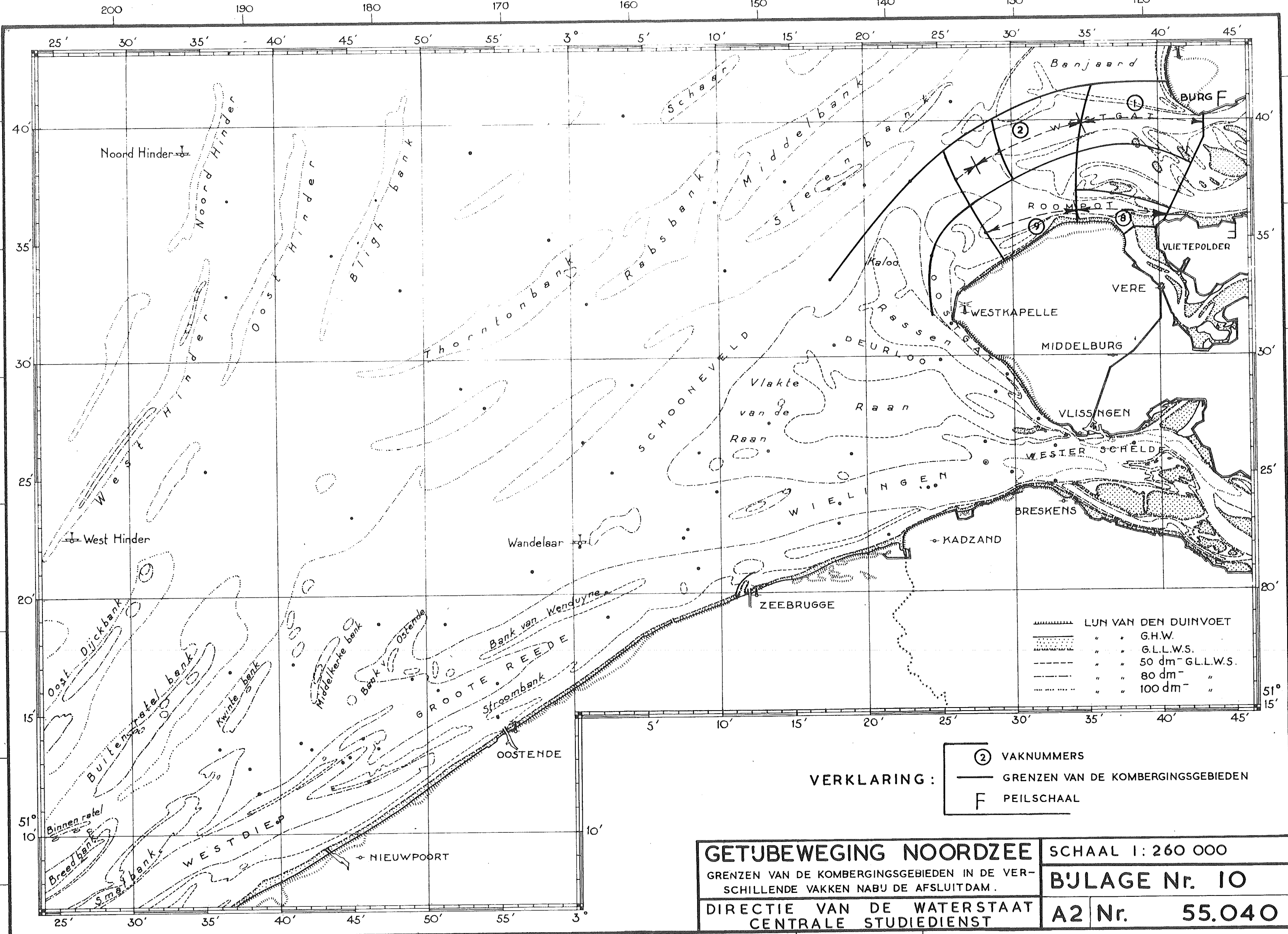
GETUBEWEGING NOORDZEE

GETULIJNEN WESTKAPELLE EN BUITENMOND OOSTGAT
BIJ OPEN EN AFGESLOTEN OOSTERSCHELDE.

DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
CENTRALE STUDIEDIENST

BIJLAGE Nr. 9

A 2 Nr. 55.039

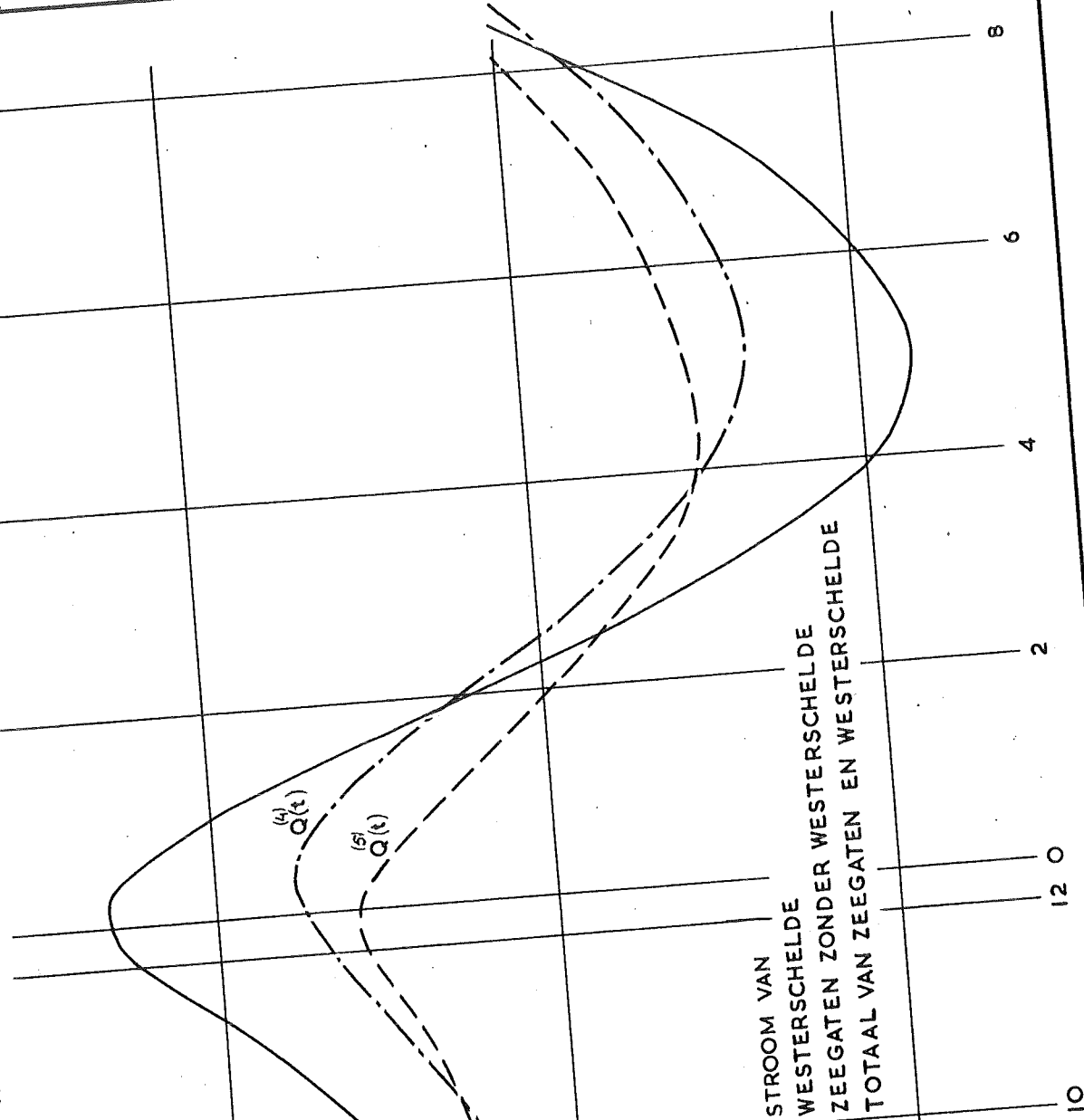


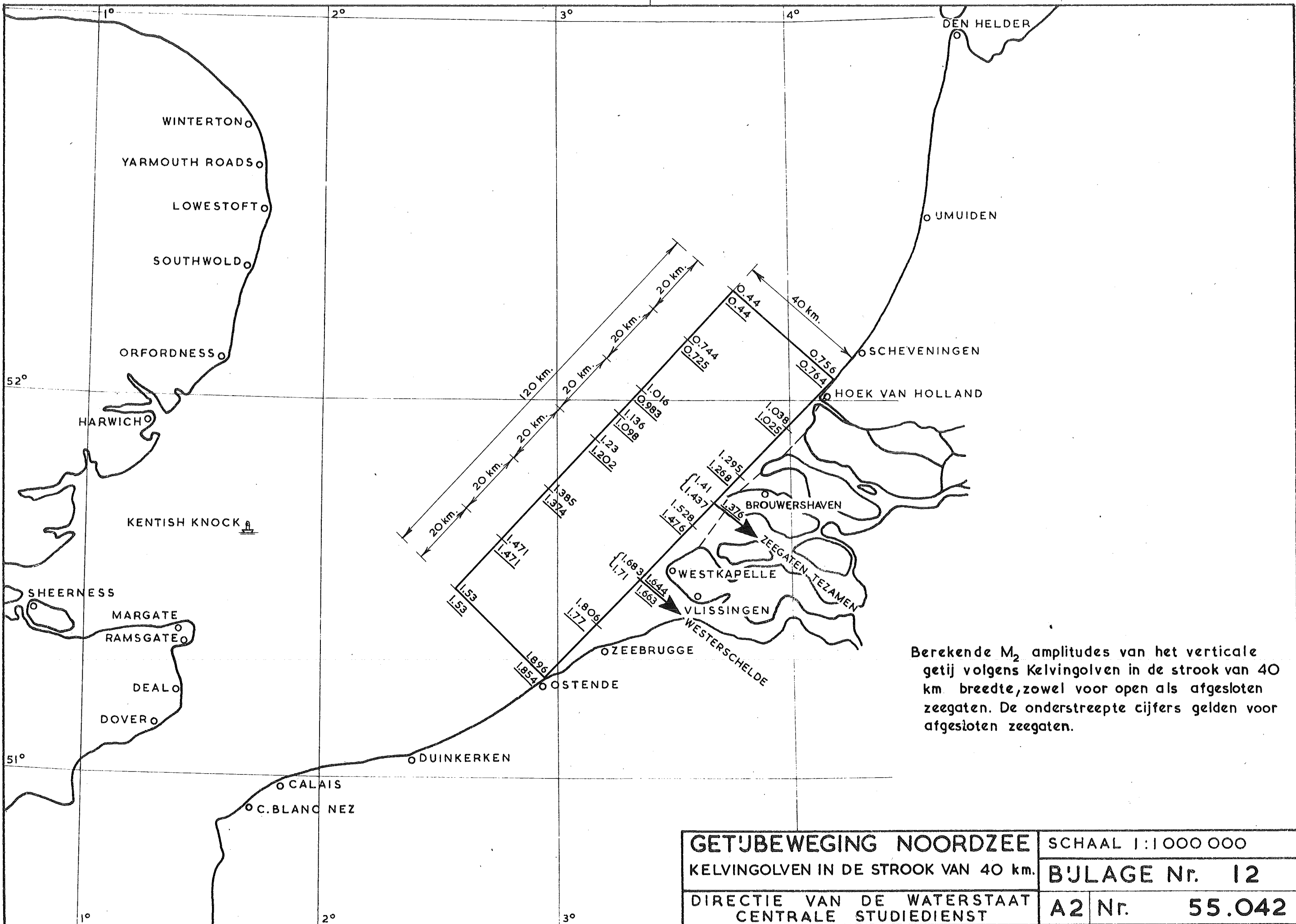
	LUN VAN DEN DUINVOET
	G.H.W.
	G.L.L.W.S.
	50 dm - G.L.L.W.S.
	80 dm - " "
	100 dm - " "

	VAKNUMMERS
	GRENZEN VAN DE KOMBERGINGSGEBIEDEN
	PEILSCHAAL

GETUBEWEGING NOORDZEE GRENZEN VAN DE KOMBERGINGSGEBIEDEN IN DE VERSCHILLENDE VAKKEN NABU DE AFSLUITDAM.	SCHAAL 1: 260 000
	BIJLAGE Nr. 10
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2 Nr. 55.040

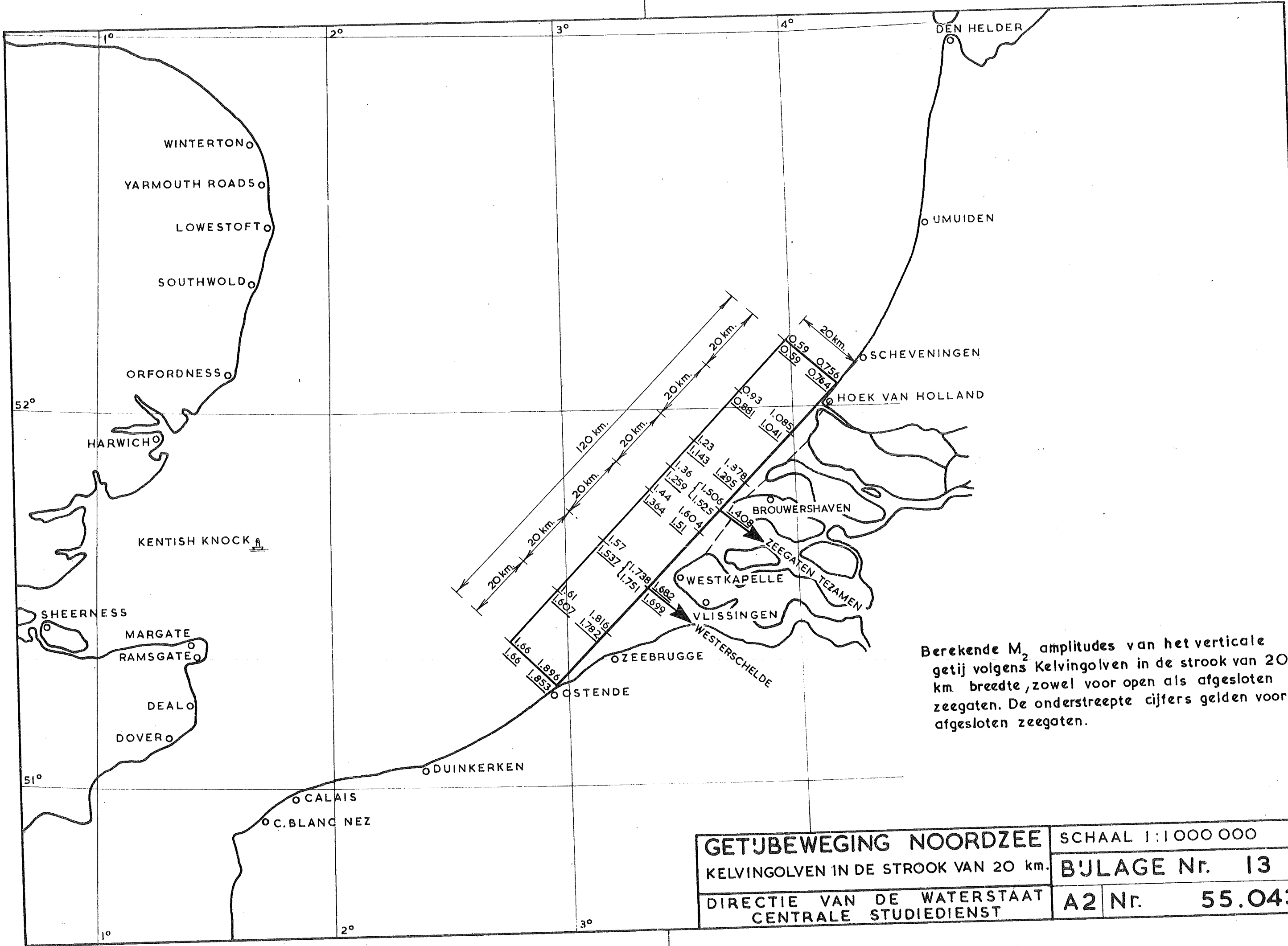
MONDINGEN, DIE AANGEGEVEN ZIJN OP BIJLAGE 12



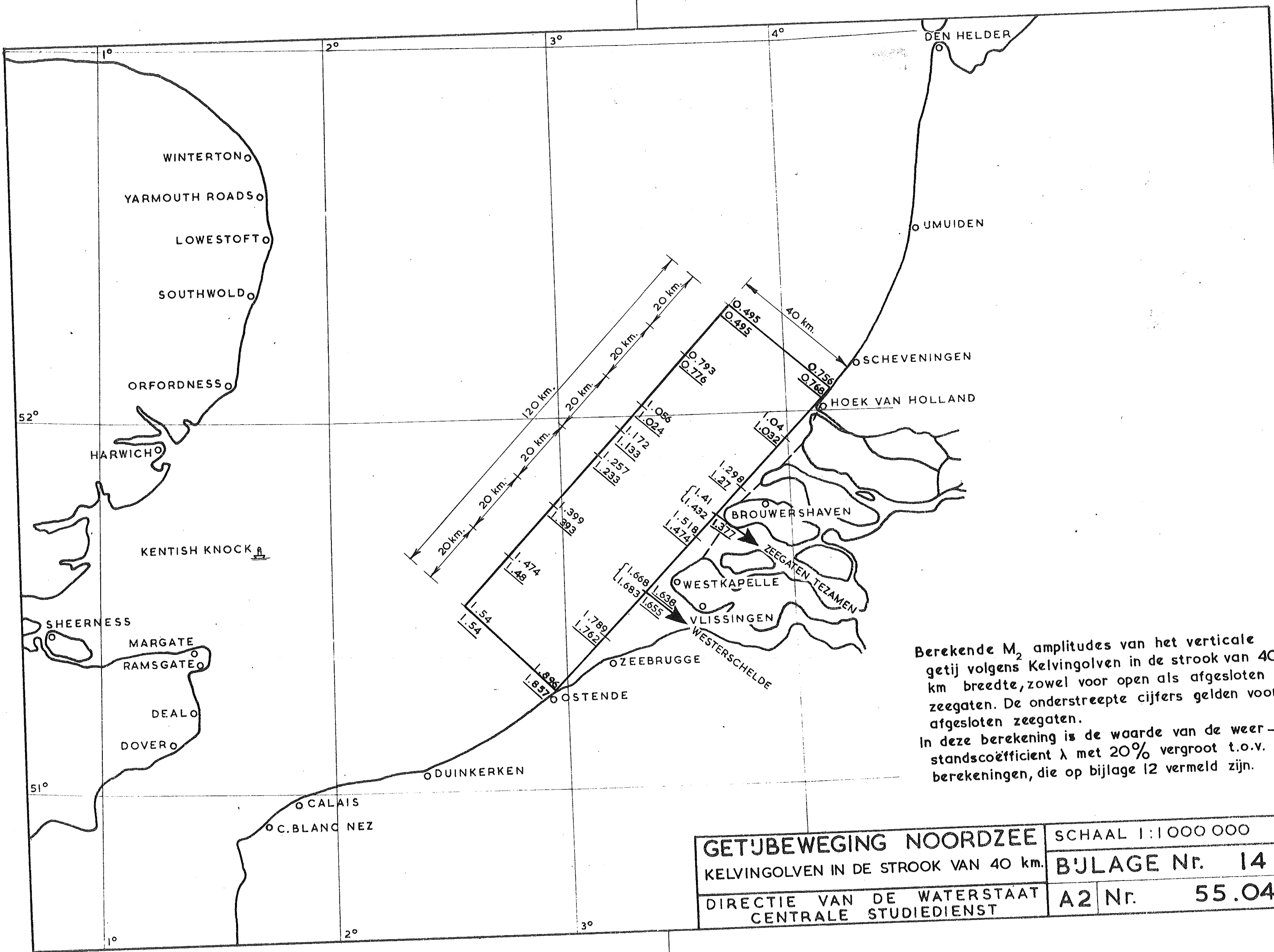


Berekende M_2 amplitudes van het verticale getij volgens Kelvingolven in de strook van 40 km breedte, zowel voor open als afgesloten zeegaten. De onderstreepte cijfers gelden voor afgesloten zeegaten.

GETJEBEWEGING NOORDZEE KELVINGOLVEN IN DE STROOK VAN 40 km.	SCHAAL 1:1000 000	
	BIJLAGE Nr. 12	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2	Nr. 55.042

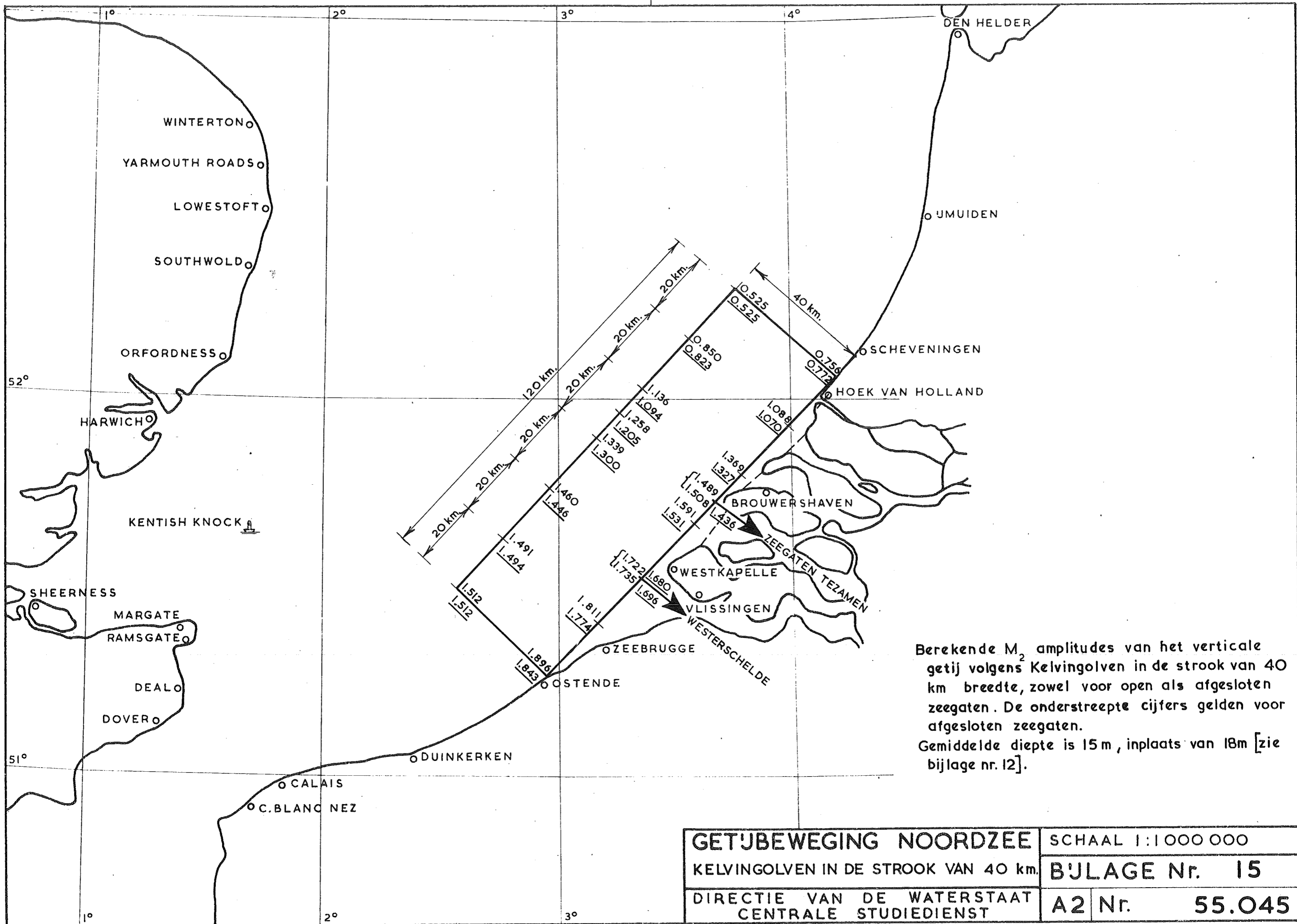


GETJBEWEGING NOORDZEE KELVINGOLVEN IN DE STROOK VAN 20 km.	SCHAAL 1:1 000 000
	BIJLAGE Nr. 13
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2 Nr. 55.043



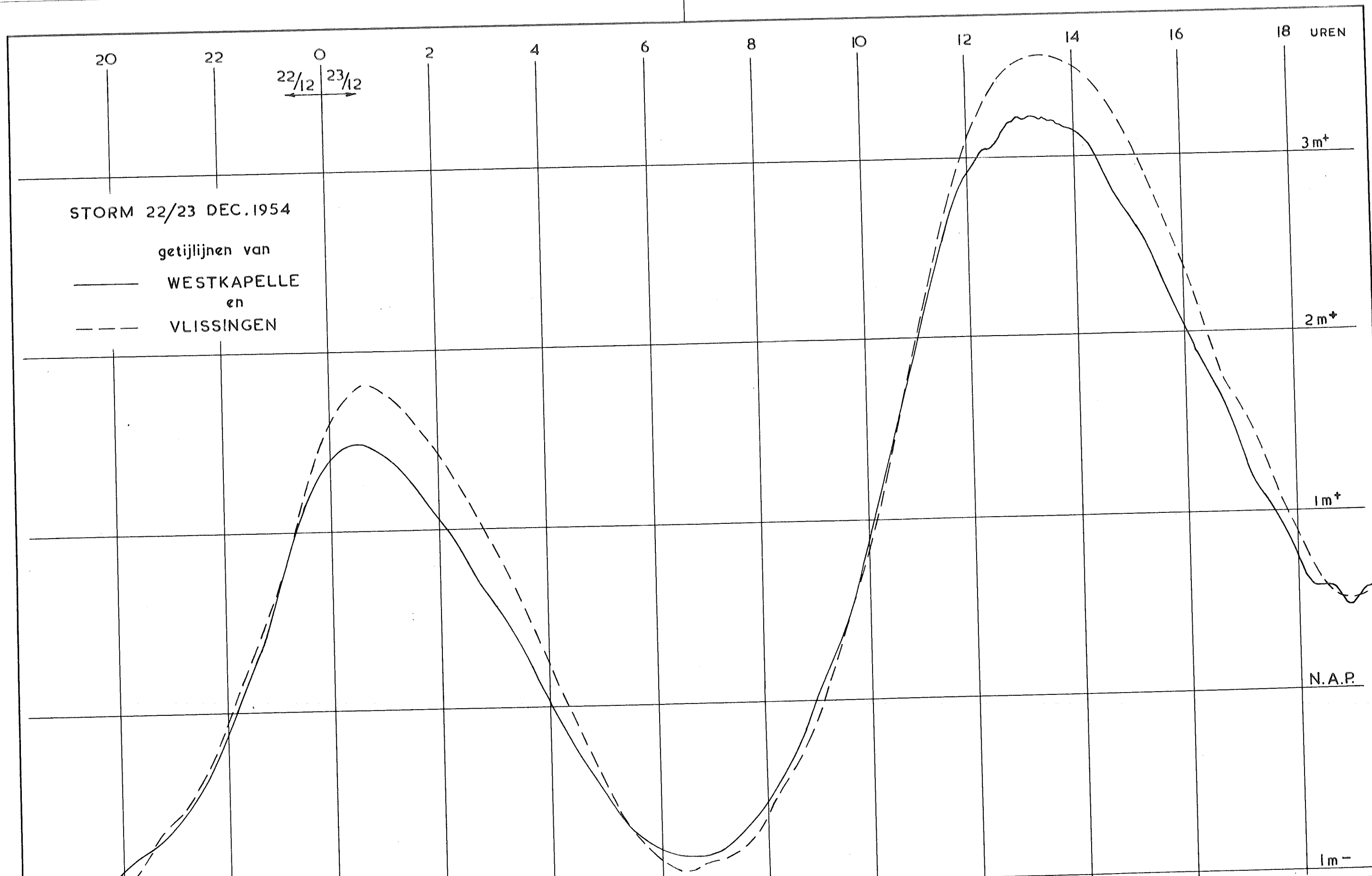
Berekende M_2 amplitudes van het verticale getij volgens Kelvingolven in de strook van 40 km breedte, zowel voor open als afgesloten zeegaten. De onderstreepte cijfers gelden voor afgesloten zeegaten. In deze berekening is de waarde van de weerstandscoefficient λ met 20% vergroot t.o.v. de berekeningen, die op bijlage 12 vermeld zijn.

GETJBEWEGING NOORDZEE KELVINGOLVEN IN DE STROOK VAN 40 km.	SCHAAL 1:1 000 000	
	BIJLAGE Nr. 14	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2 Nr.	55.044



Berekende M_2 amplitudes van het verticale getij volgens Kelvingolven in de strook van 40 km breedte, zowel voor open als afgesloten zeegaten. De onderstreepte cijfers gelden voor afgesloten zeegaten. Gemiddelde diepte is 15 m, inplaats van 18m [zie bijlage nr. 12].

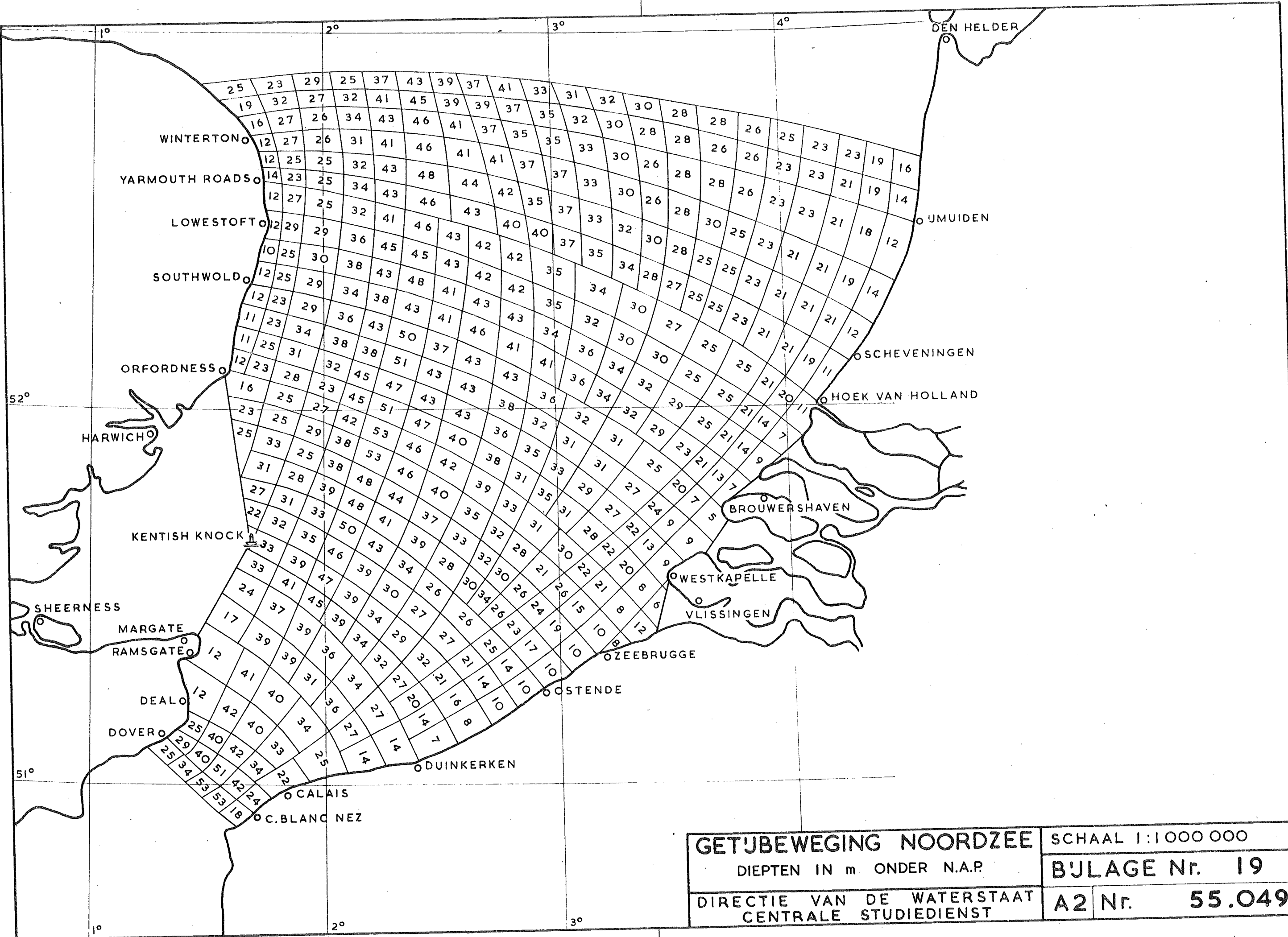
GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000	
KELVINGOLVEN IN DE STROOK VAN 40 km.		BIJLAGE Nr. 15	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2 Nr.	55.045



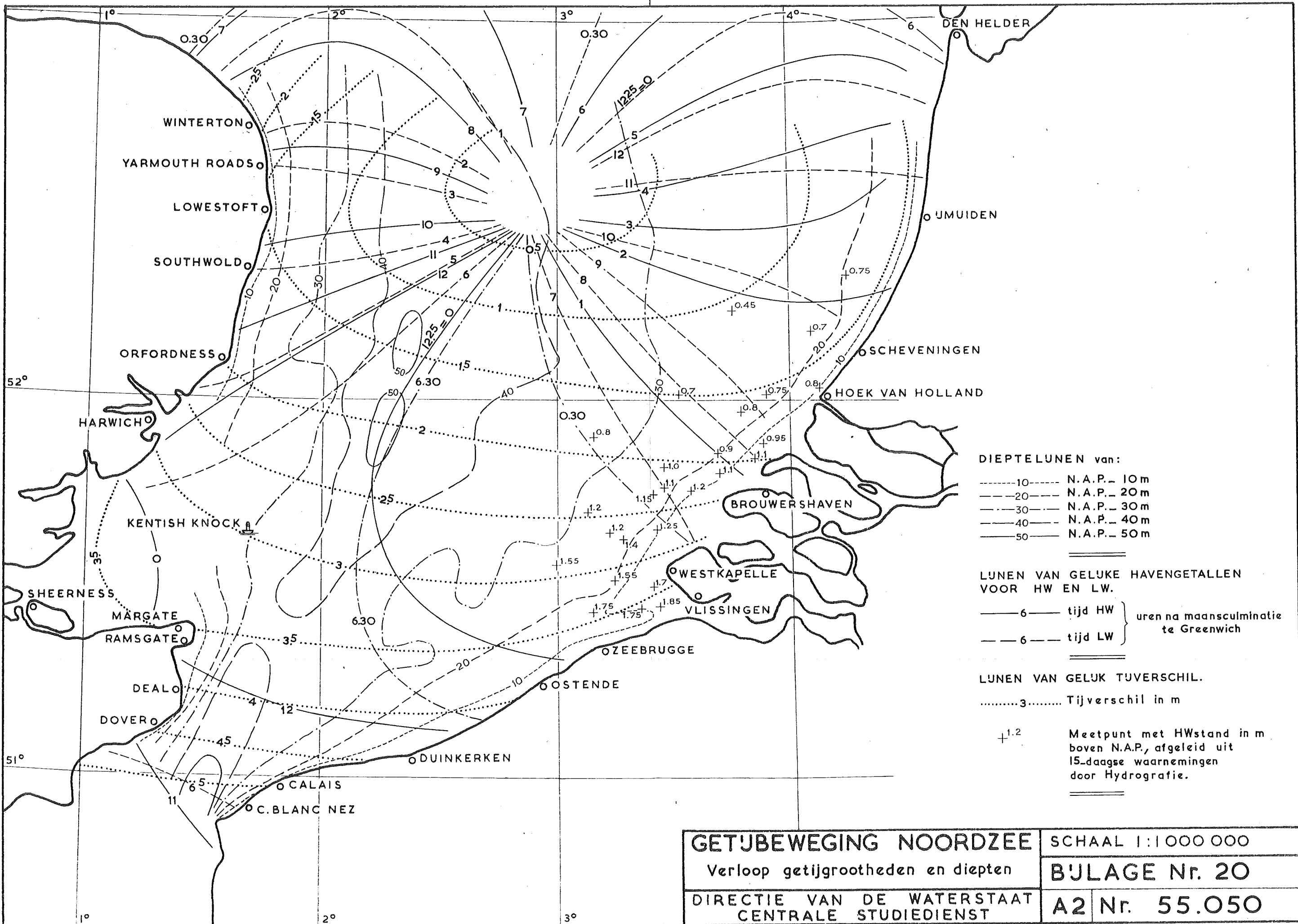
STORM 22/23 DEC. 1954

getijlijnen van
 ——— WESTKAPELLE
 en
 - - - - - VLISSINGEN

GET'JBEWEGING NOORDZEE		BIJLAGE Nr. 17	
GET'JLJNEN VAN WESTKAPELLE EN VLISSINGEN		A2 Nr. 55.047	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST			



GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000	
DIEPTEN IN m ONDER N.A.P.		BIJLAGE Nr. 19	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr. 55.049



DIEPTELUNEN van:

- 10----- N.A.P. - 10m
- 20----- N.A.P. - 20m
- 30----- N.A.P. - 30m
- 40----- N.A.P. - 40m
- 50----- N.A.P. - 50m

LUNEN VAN GELUKE HAVENGETALLEN VOOR HW EN LW.

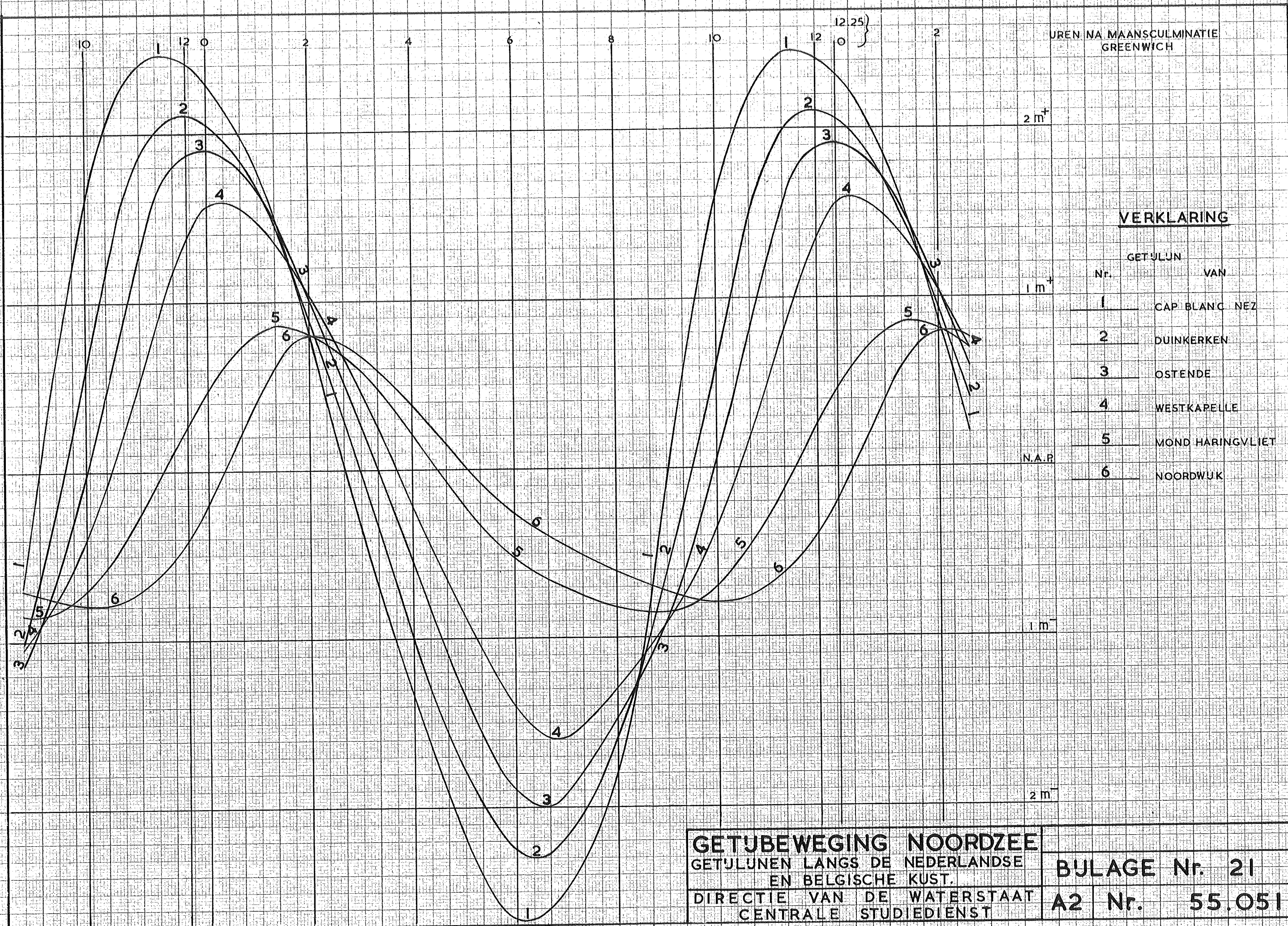
- 6——— tijd HW } uren na maansculminatie te Greenwich
- 6——— tijd LW }

LUNEN VAN GELUK TUVERSCHIL.

-3..... Tijverschil in m

+1.2 Meetpunt met HWstand in m boven N.A.P., afgeleid uit 15-daagse waarnemingen door Hydrografie.

GETJEBEWEGING NOORDZEE Verloop getijgrootheden en diepten DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	SCHAAL 1:1 000 000
	B'JLAGE Nr. 20
	A2 Nr. 55.050



UREN NA MAANSCULMINATIE
GREENWICH

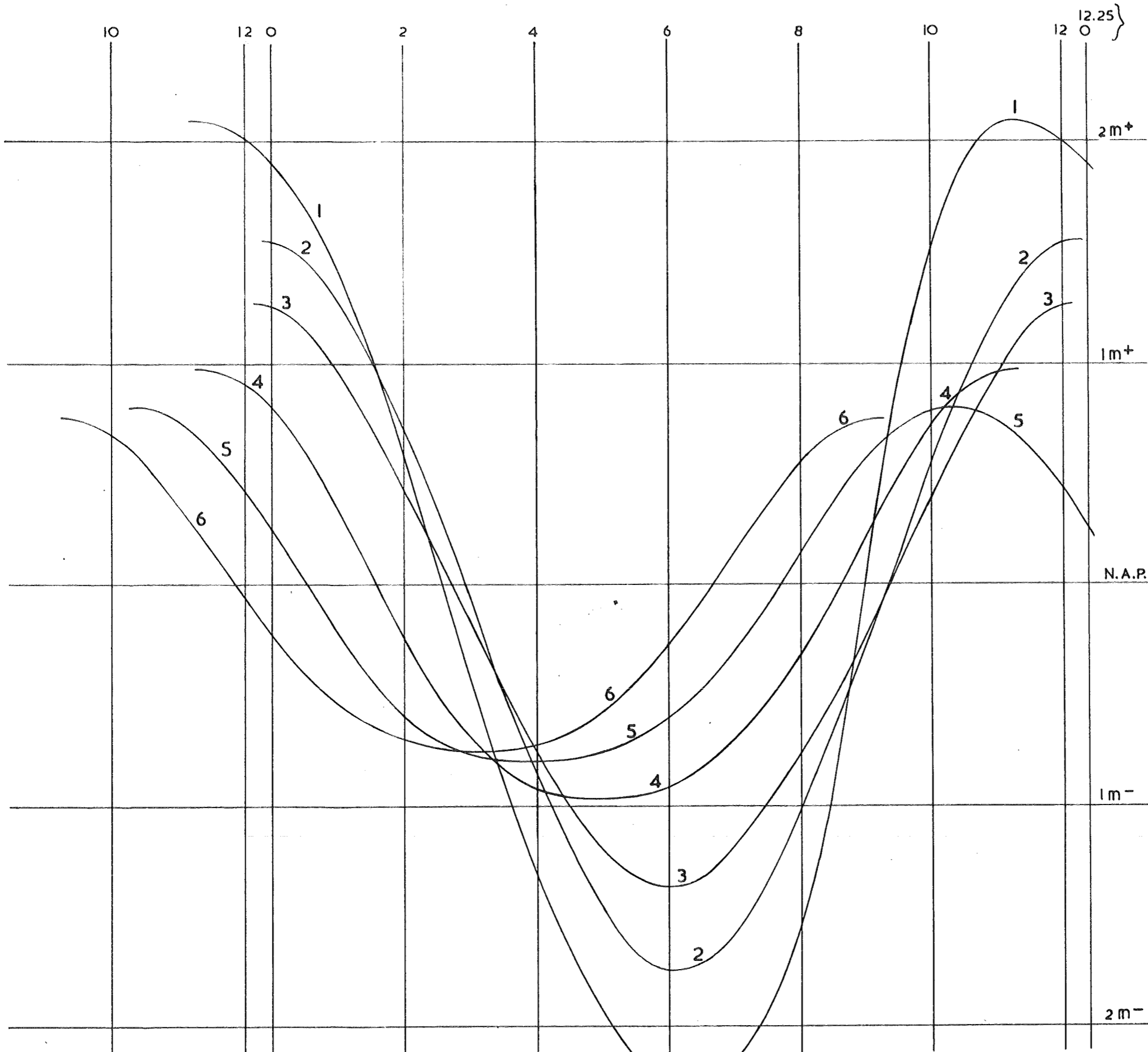
12.25

VERKLARING

Nr.	GETULUN VAN
1	CAP BLANC NEZ
2	DUINKERKEN
3	OSTENDE
4	WESTKAPPELLE
5	MOND HARINGVLIET
6	NOORDWIJK

GETUBEWEGING NOORDZEE		BULAGE Nr. 21
GETULUNEN LANGS DE NEDERLANDSE EN BELGISCHE KUST.		
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT		A2 Nr. 55.051
CENTRALE STUDIEDIENST		

UREN NA MAANSCULMINATIE
GREENWICH



VERKLARING

Nr.	GETULIJN	VAN
1	DOVER	
2	THEEMSMOND	
3	LONG SAND HEAD	
4	ORFORDNESS	
5	SOUTHWOLD	
6	YARMOUTH ROADS	

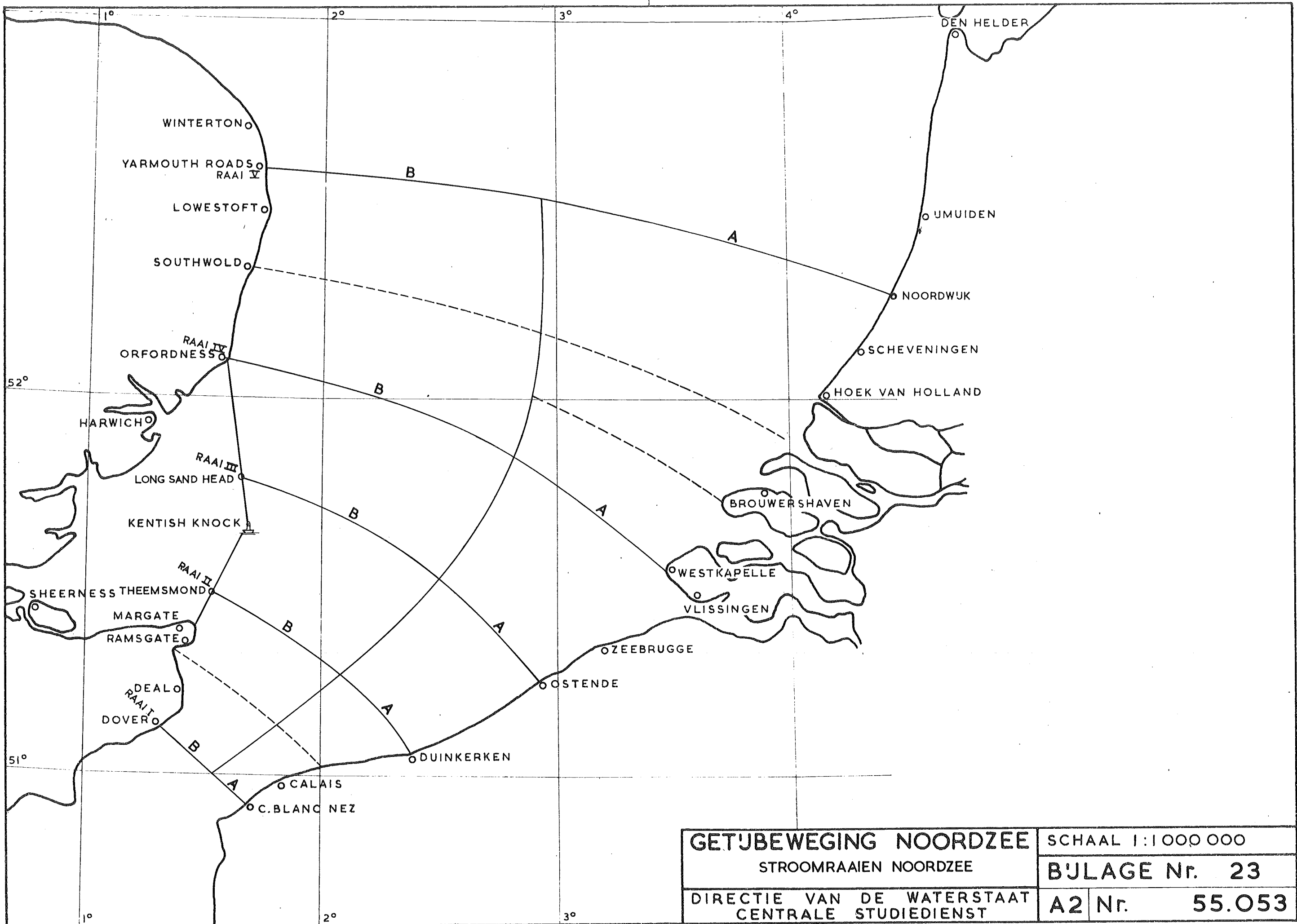
GET'JBEWEGING NOORDZEE

GETULIJNEN LANGS DE ENGELSE KUST

DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
CENTRALE STUDIEDIENST

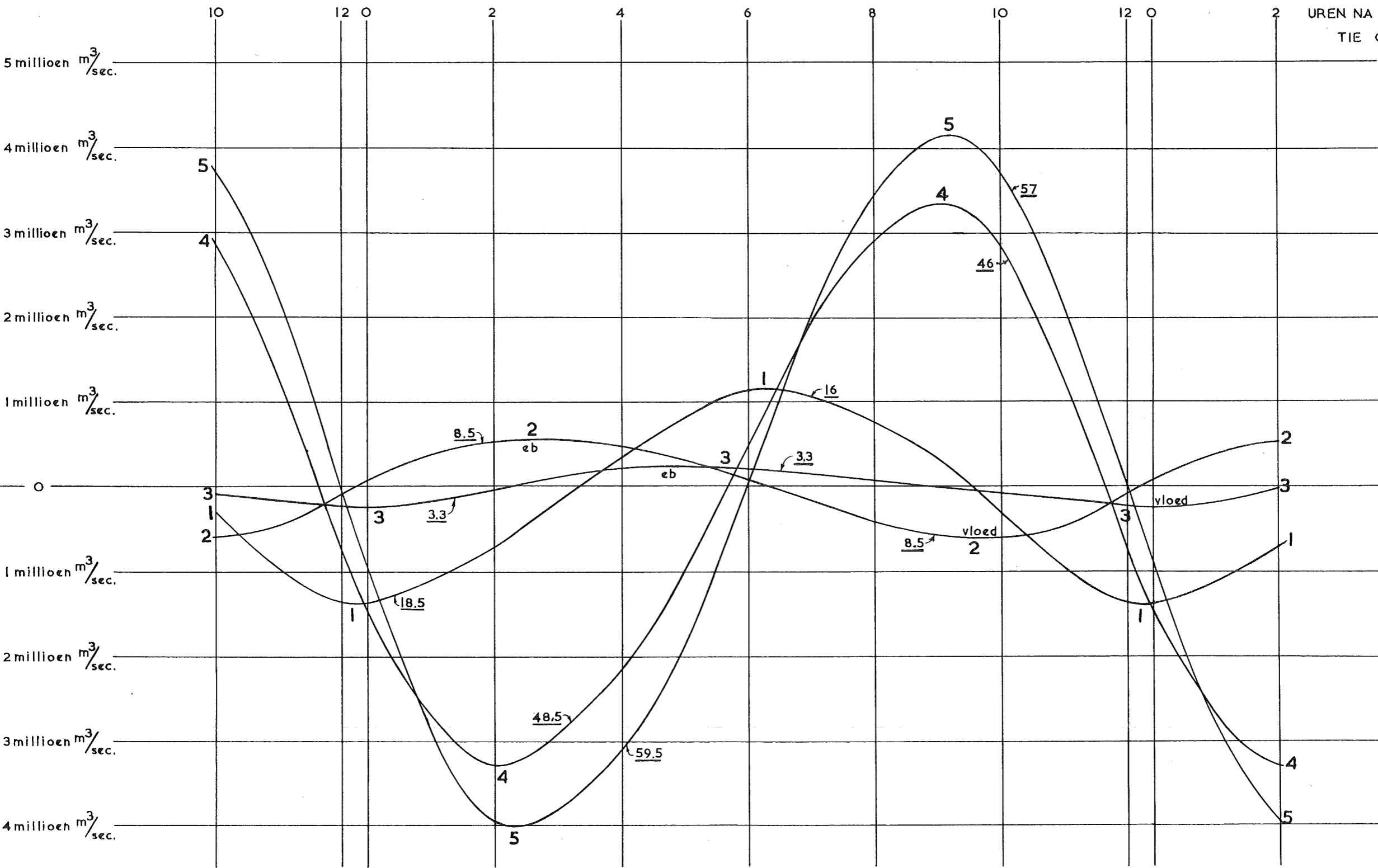
B'JLAGE Nr. 22

A2 Nr. 55.052



GETUBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000	
STROOMRAAIEN NOORDZEE		BIJLAGE Nr. 23	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2 Nr.	55.053

STROOMRICHTING NAAR HET KANAAL
↑
STROOMRICHTING NAAR NOORDZEE
↓



UREN NA MAANSCULMINA-
TIE GREENWICH

- VERKLARING :
- 1 — TOTAALSTROOM RAAI I
 - 2 — TOTAALSTROOM ENGELSE ZEEGATEN
 - 3 — TOTAALSTROOM NEDERLANDSE ZEEGATEN
 - 4 — TOTAALSTROOM RAAI IV
 - 5 — TOTAALSTROOM RAAI V

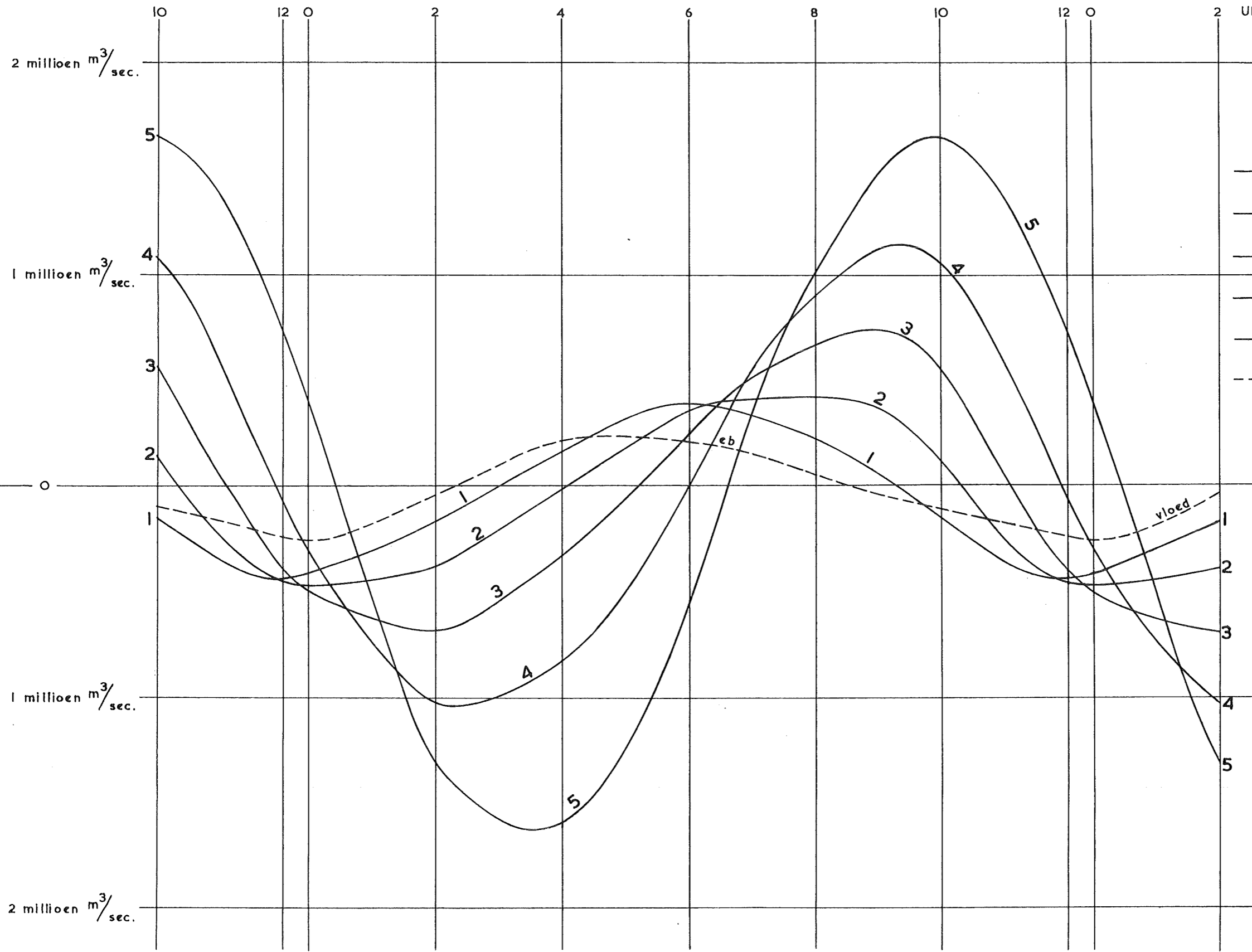
57 VERMOGEN IN MILLIARDEN m³

GETUBEBEWEGING NOORDZEE
STROOMKROMMEN NOORDZEE
[zie bijlage nr. 23]
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
CENTRALE STUDIEDIENST

BIJLAGE Nr. 24
A2 Nr. 55.054

STROOMRICHTING NAAR KANAAL

STROOMRICHTING NAAR NOORDZEE



UREN NA MAANSCULMINATIE
GREENWICH

VERKLARING

Nr. STROOMKROMME VAN:

1 RAAI IA, CAP BLANC NEZ

2 RAAI IIA, DUINKERKEN

3 RAAI IIIA, OSTENDE

4 RAAI IVA, WESTKAPELLE

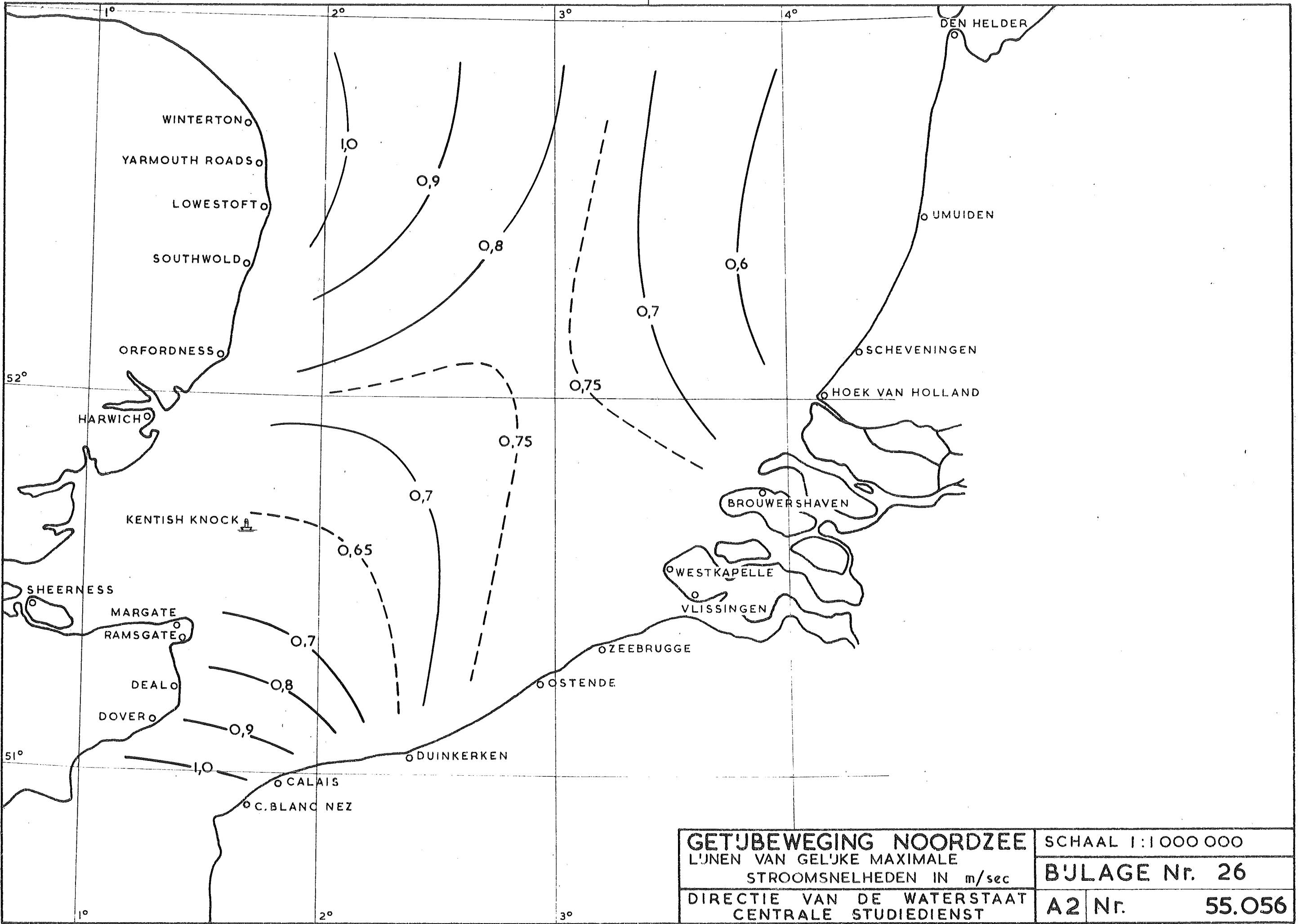
5 RAAI VA, NOORDWIJK

--- TOTAALSTROOM NEDERLANDSE ZEEGATEN

VERMOGENS in milliarden m. ³ .		
RAAI	RICHTING NOORDZEE	RICHTING KANAAL.
RAAI IA	5.8	5.4
RAAI IIA	7.0	6.6
RAAI IIIA	10.4	10.0
RAAI IVA	15.9	15.5
RAAI VA	24.0	23.6
VLOED- OF EBVERMOGEN NEDERLANDSE ZEEGATEN 3.3		

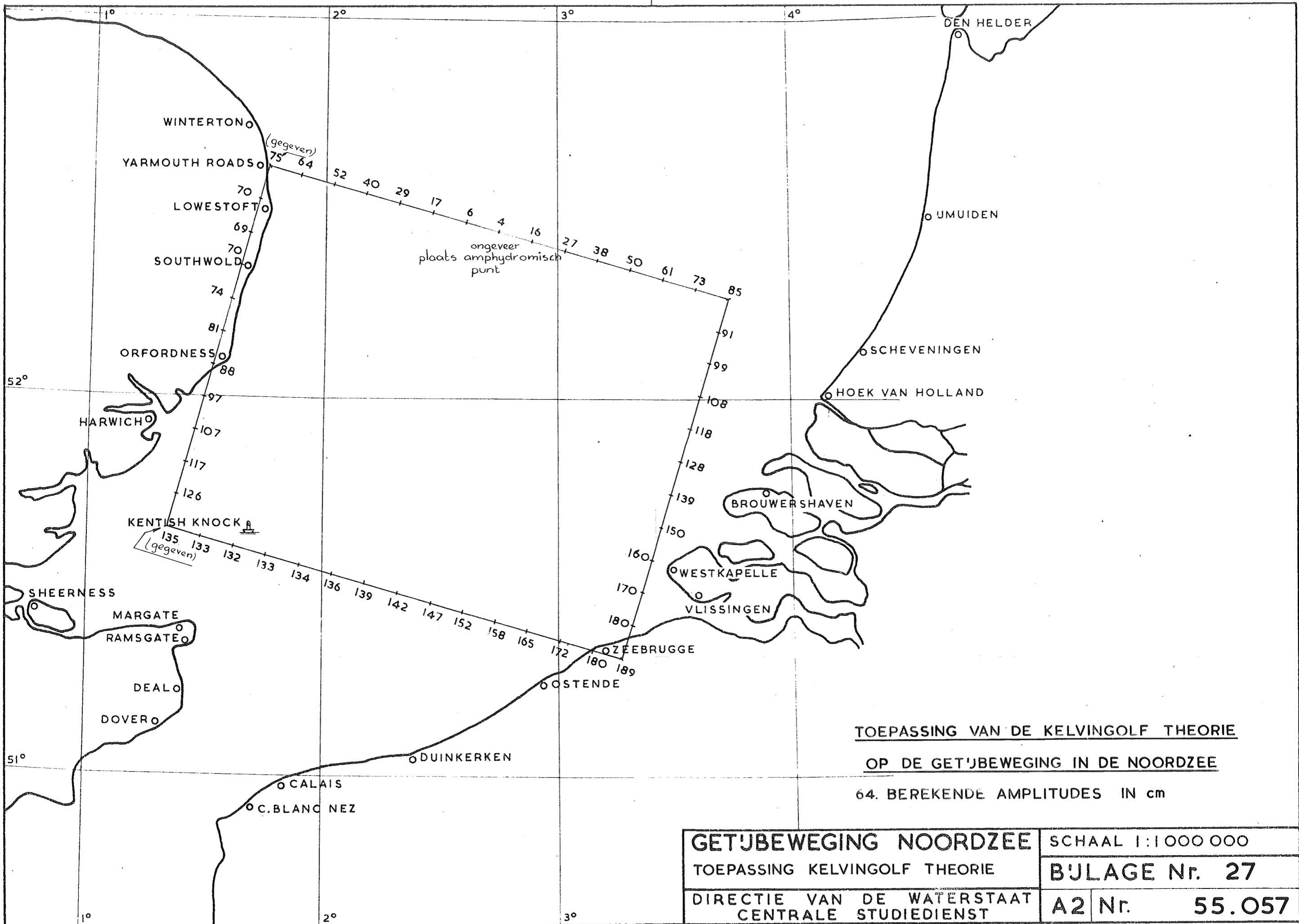
GETJBEWEGING NOORDZEE
STROOMKROMMEN OOSTELJK DEEL VAN
DE NOORDZEE [zie bijlage 23]
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
CENTRALE STUDIEDIENST

BJLAGE Nr. 25
A2 Nr. 55.055



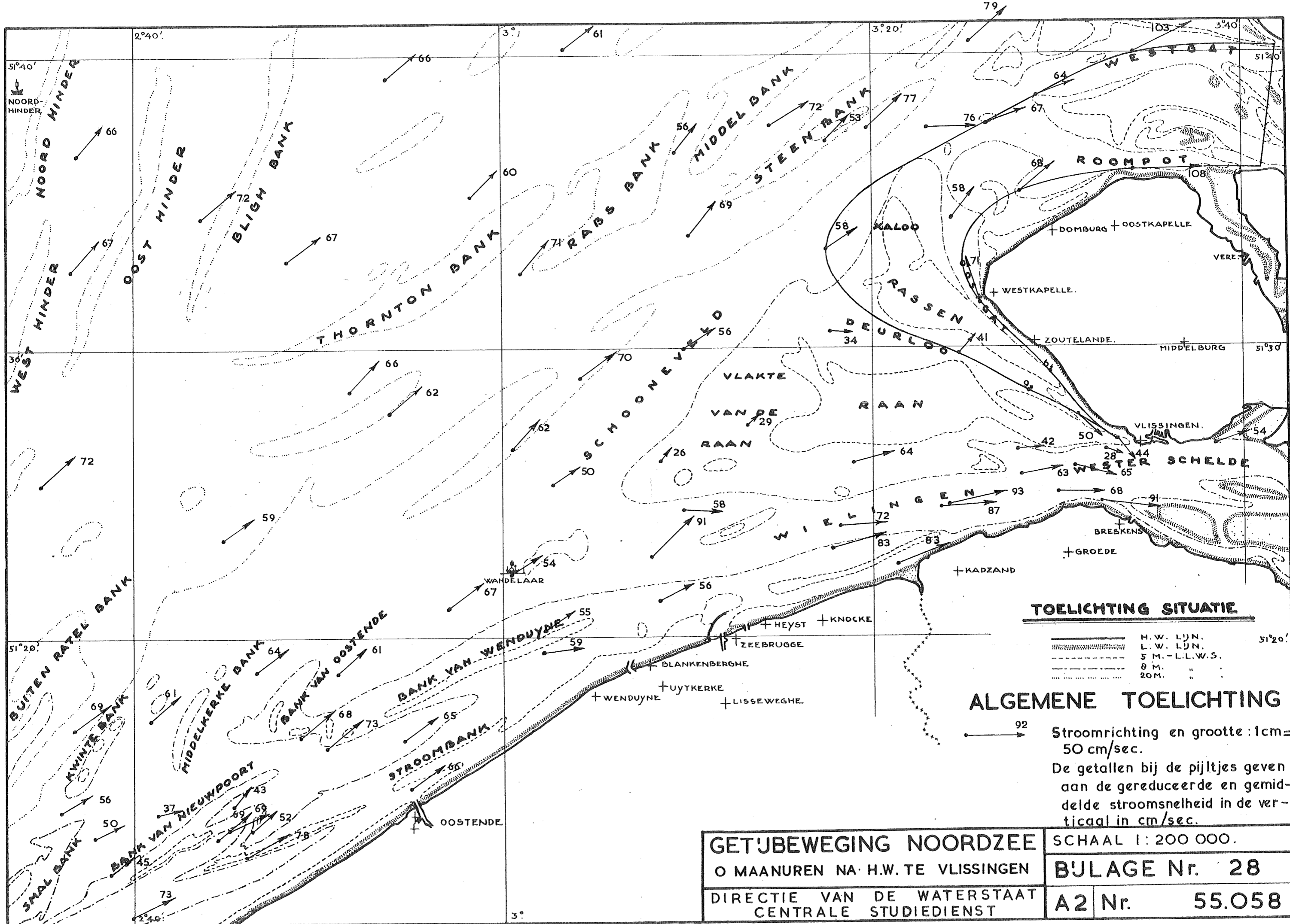
GETJBEWEGING NOORDZEE
 L'JNEN VAN GELIJKE MAXIMALE
 STROOMSNELHEDEN IN m/sec
 DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
 CENTRALE STUDIEDIENST

SCHAAL 1:1 000 000	
BIJLAGE Nr. 26	
A2	Nr. 55.056



TOEPASSING VAN DE KELVINGOLF THEORIE
 OP DE GETJBEWEGING IN DE NOORDZEE
 64. BEREKENDE AMPLITUDES IN cm

GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1000 000	
TOEPASSING KELVINGOLF THEORIE		BIJLAGE Nr. 27	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr. 55.057



TOELICHTING SITUATIE

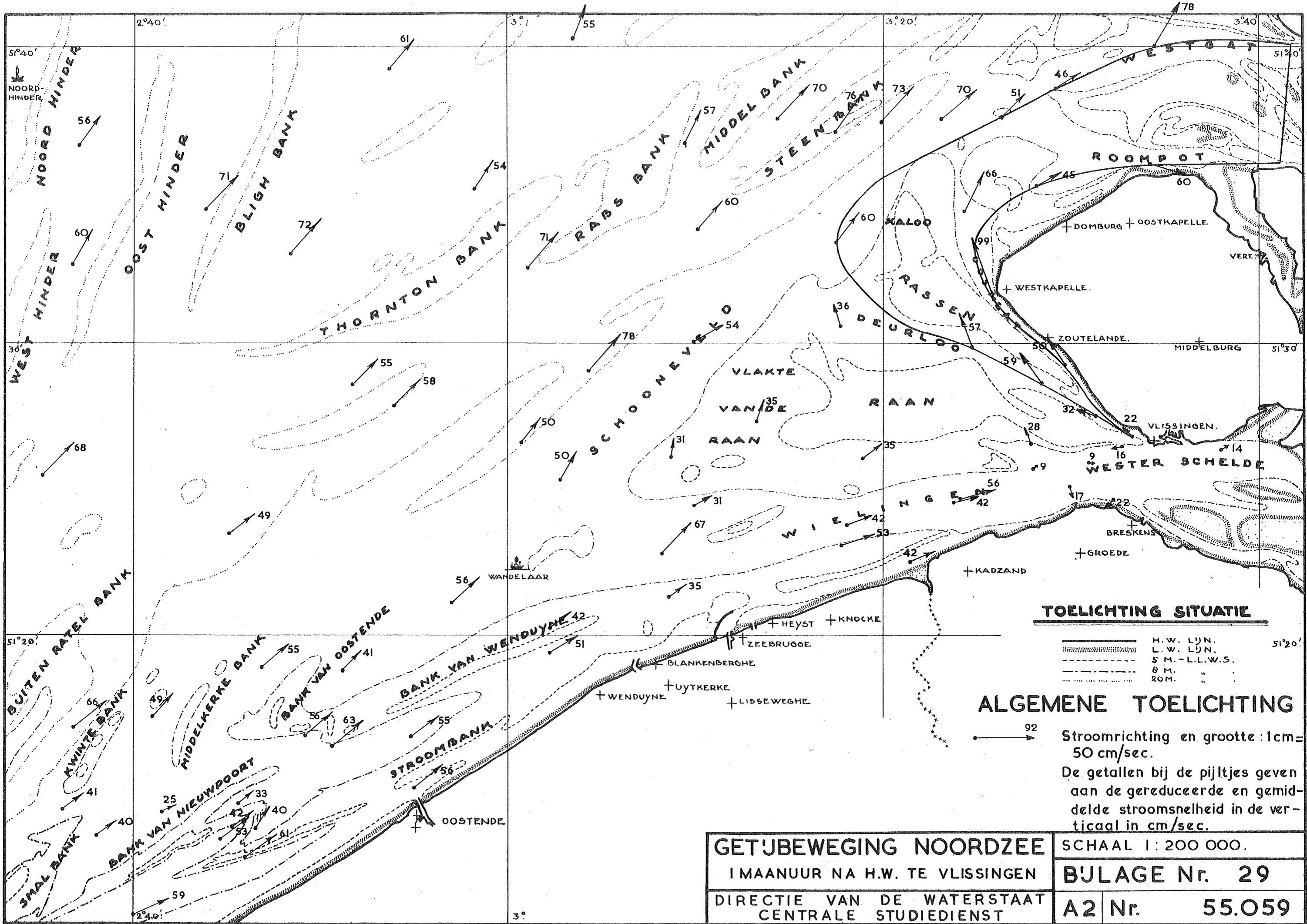
	H. W. L. J. N.	51°20'
	L. W. L. J. N.	
	5 M. - L. L. W. S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte : 1 cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GETJEBEWEGING NOORDZEE
 O MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN
 DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
 CENTRALE STUDIEDIENST

SCHAAL 1 : 200 000.
BULAGE Nr. 28
A2 Nr. 55.058



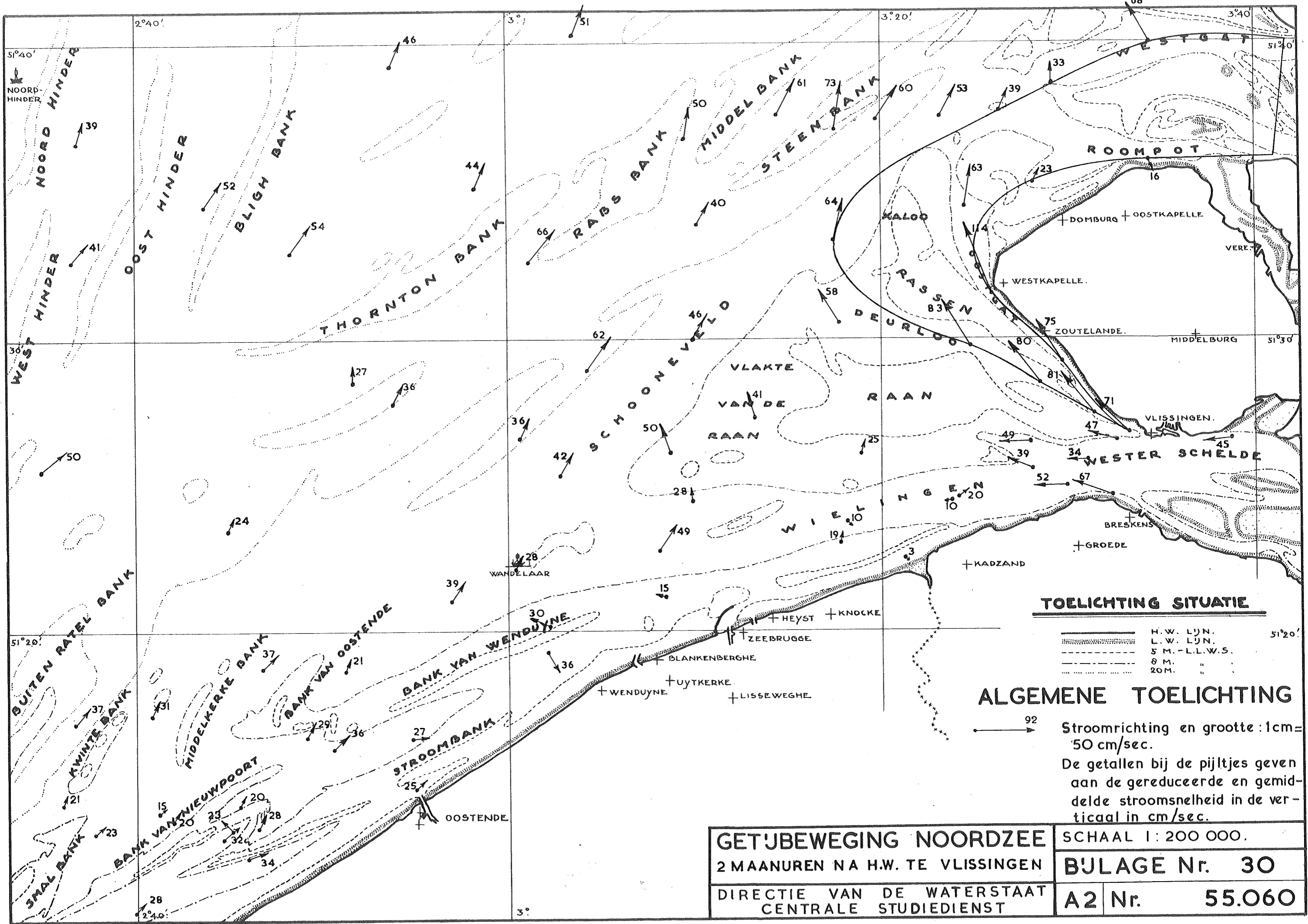
TOELICHTING SITUATIE

	H. W. L.W.	51°20'
	L. W. L.W.S.	
	5 M. - L.L.W.S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GET'JBEWEGING NOORDZEE	SCHAAL 1: 200 000.
IMAANUUR NA H.W. TE VLISSINGEN	BJLAGE Nr. 29
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2 Nr. 55.059



TOELICHTING SITUATIE

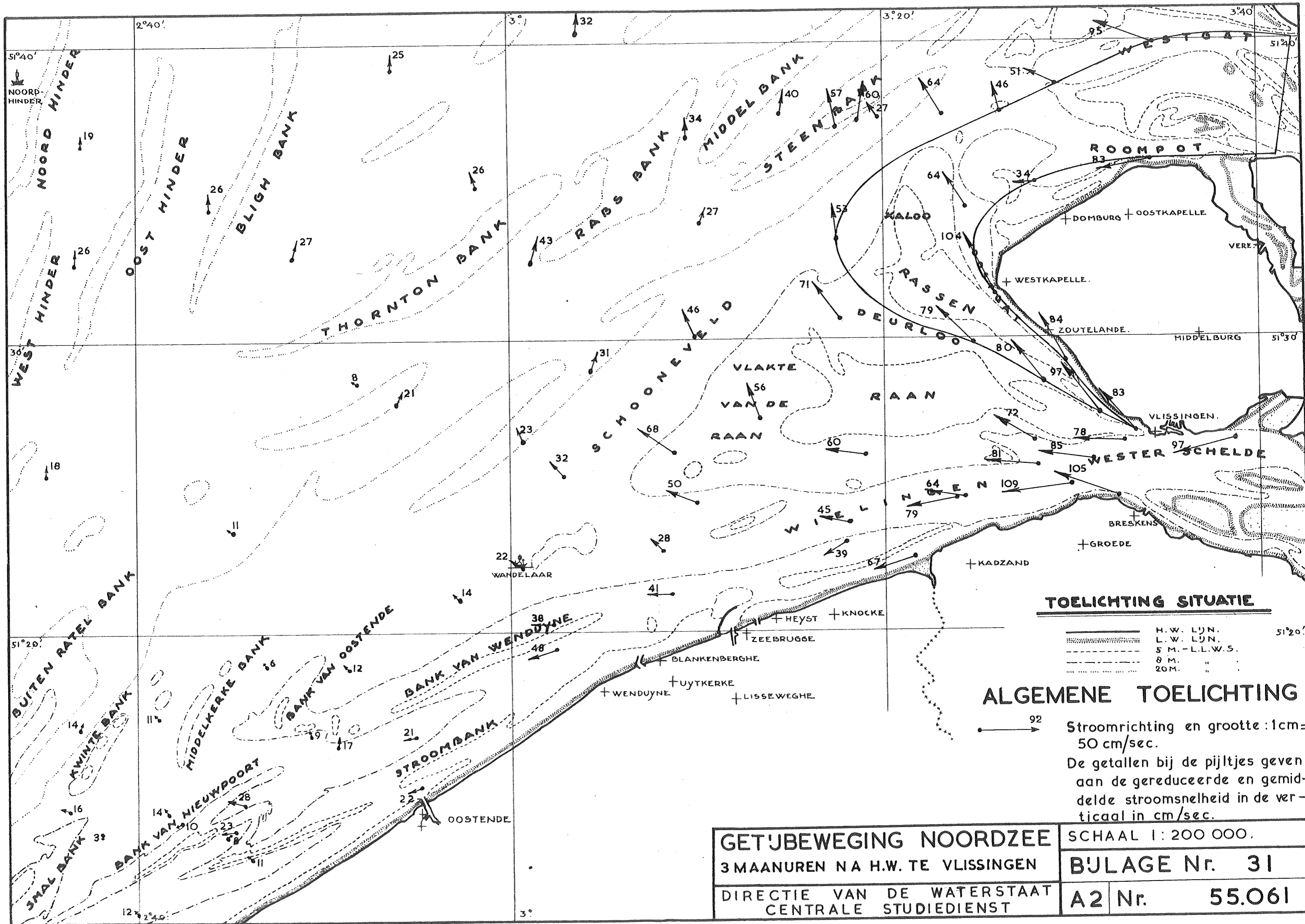
	H. W. L.J.N.	51°20'
	L. W. L.J.N.	
	5 M. - L.L.W.S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticaleal in cm/sec.

GET'JBEWEGING NOORDZEE
 2 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN
 DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
 CENTRALE STUDIEDIENST

SCHAAL 1: 200 000.
BIJLAGE Nr. 30
A2 Nr. 55.060



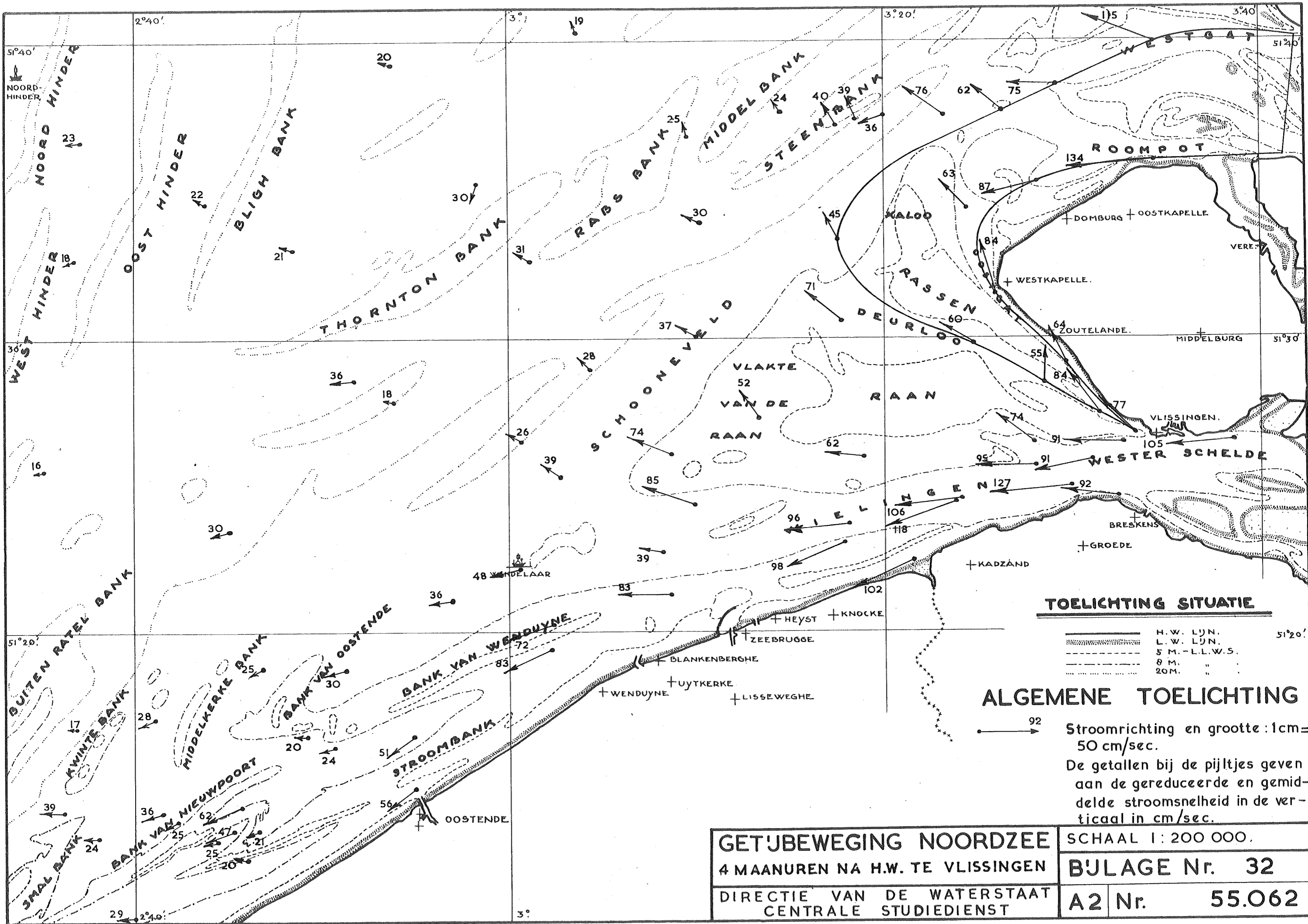
TOELICHTING SITUATIE

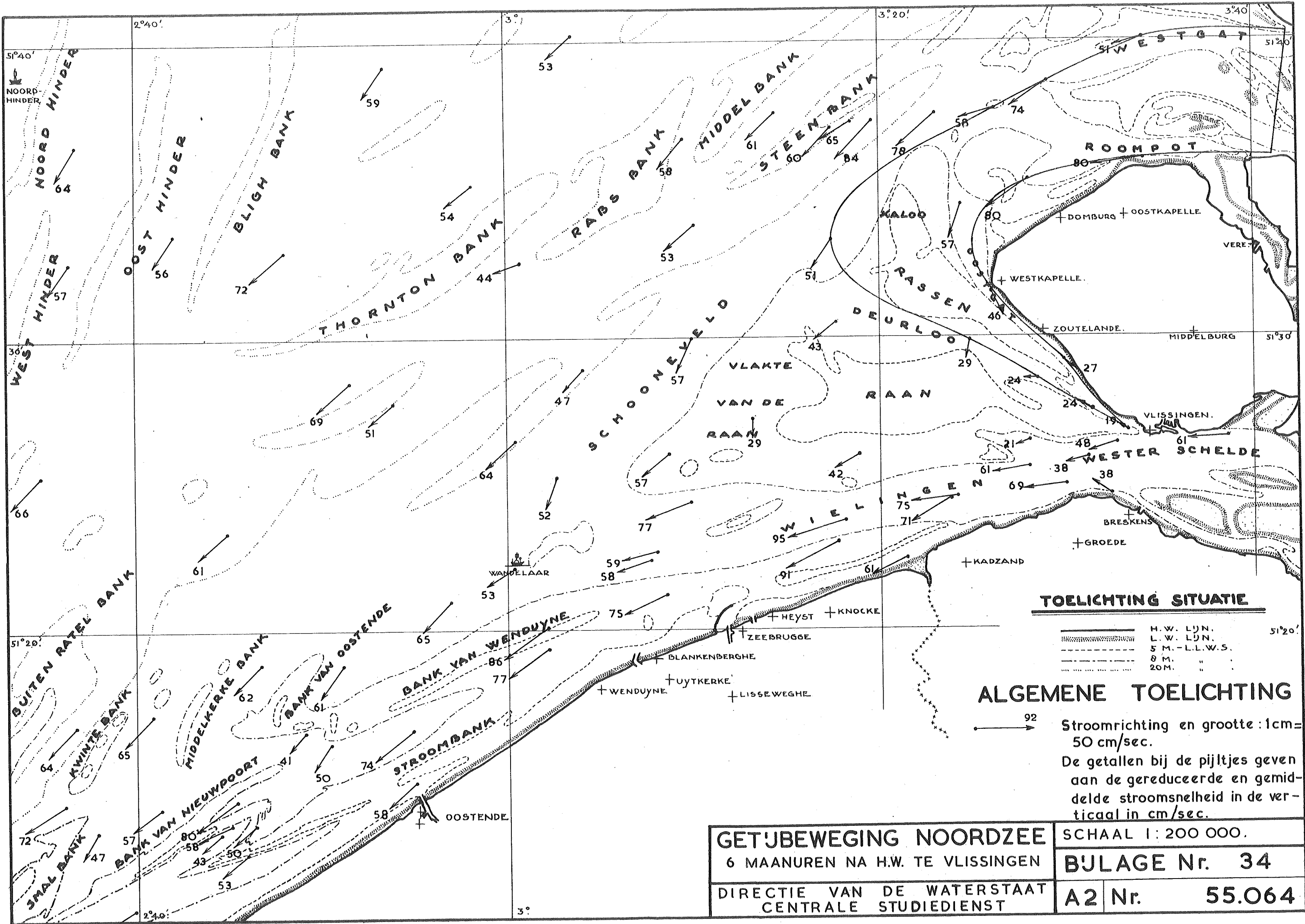
- H.W. LYN.
- - - L.W. LYN.
- 5 M. - L.L.W.S.
- ... 8 M. "
- 20 M. "

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GETUBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1: 200 000.	
3 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN		BULAGE Nr. 31	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr. 55.061





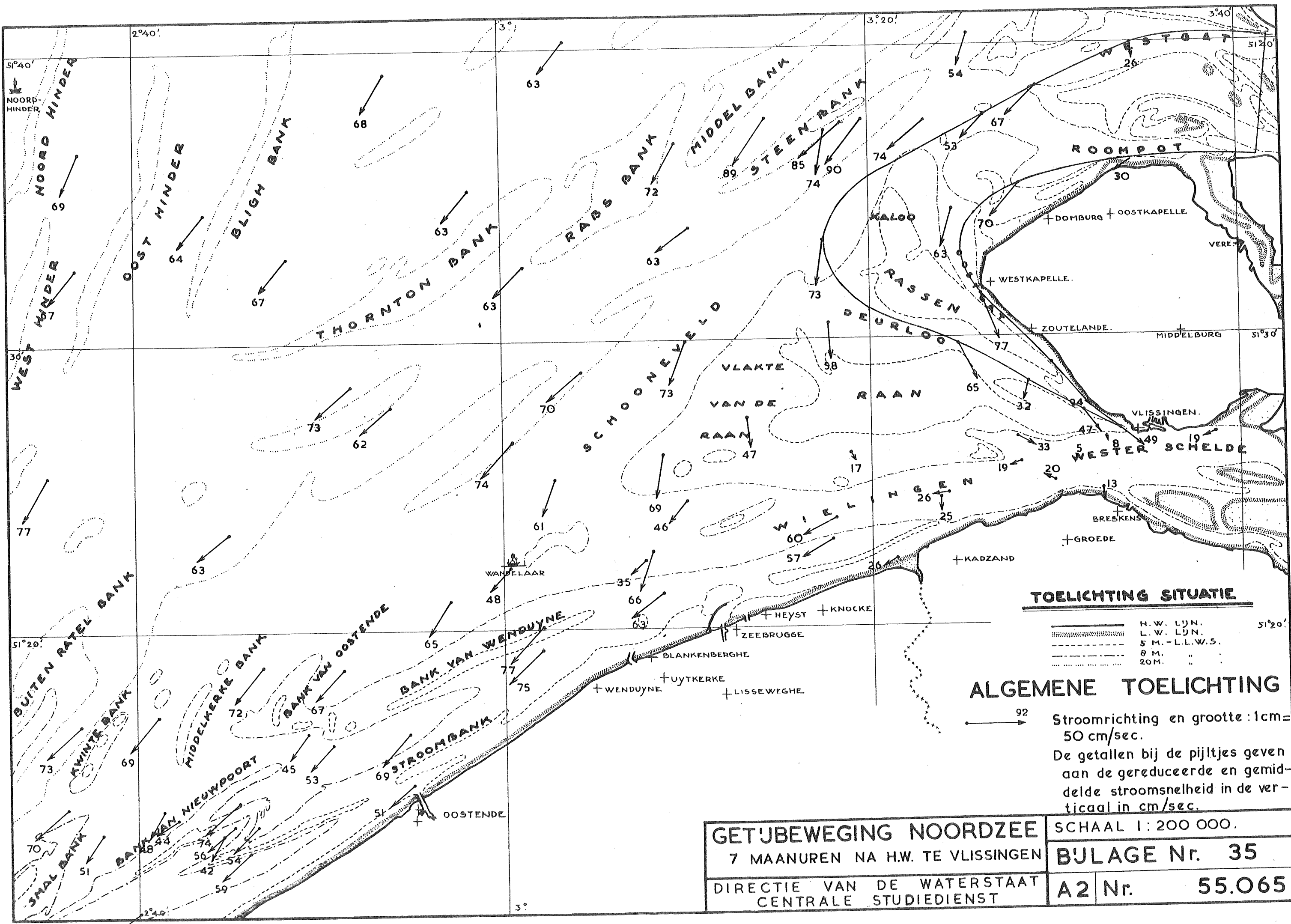
TOELICHTING SITUATIE

	H.W. LIJN.	51°20'
	L.W. LIJN.	
	5 M. - L.L.W.S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1: 200 000.	
6 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN		BJLAGE Nr. 34	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr. 55.064



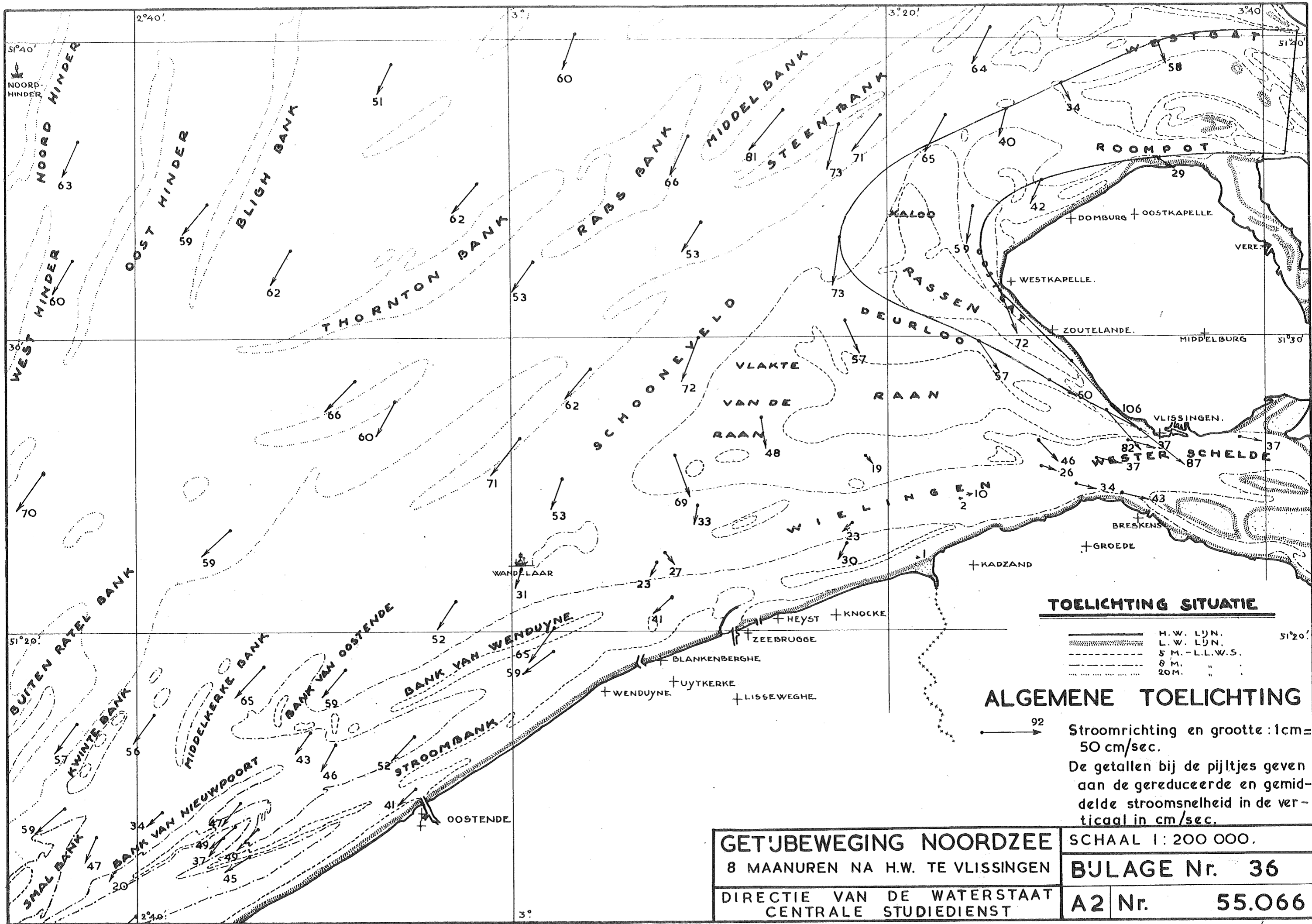
TOELICHTING SITUATIE

	H. W. L. J. N.	51°20'
	L. W. L. J. N.	
	5 M. - L. L. W. S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

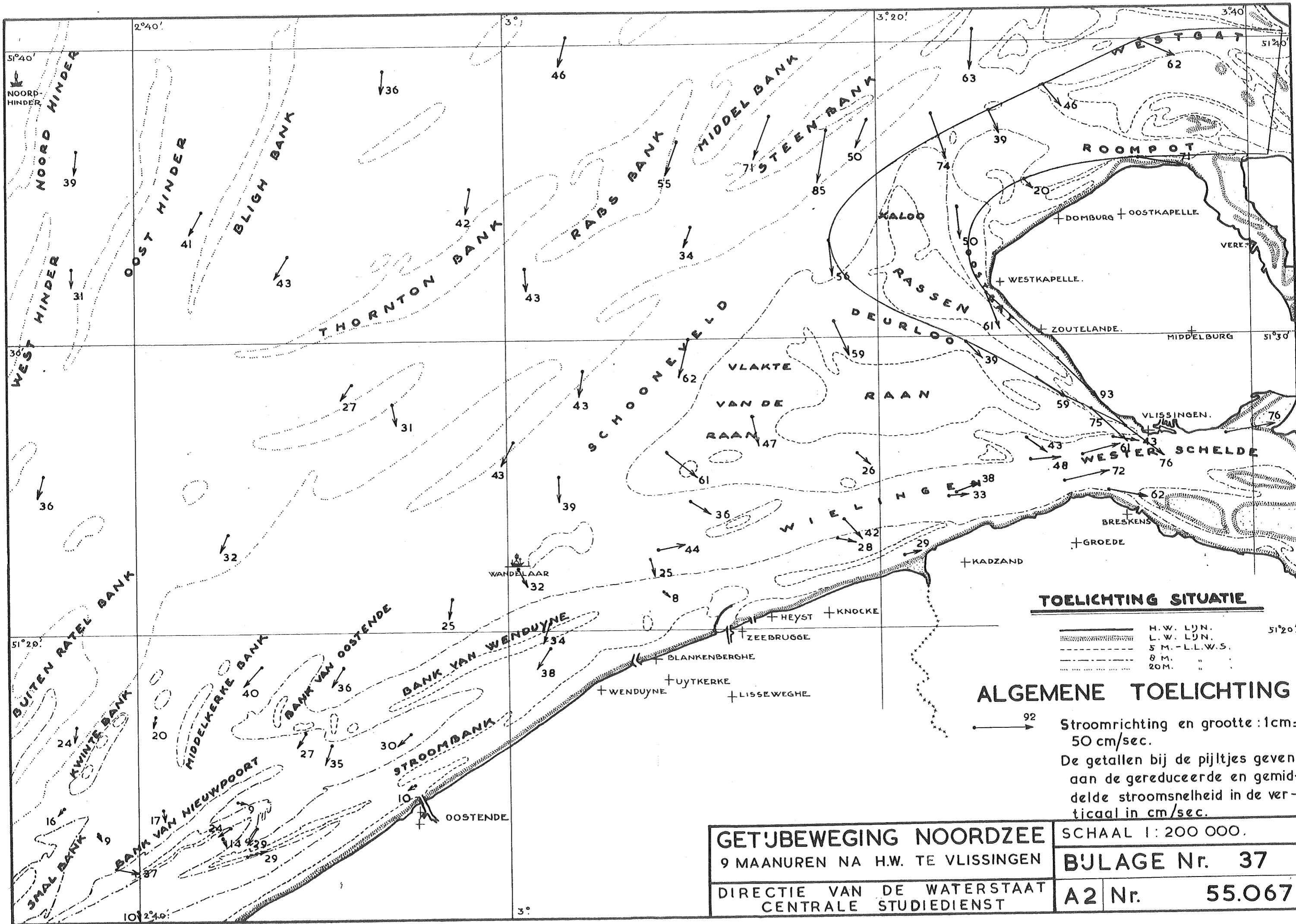
92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GET'JBEWEGING NOORDZEE 7 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	SCHAAL 1 : 200 000.
	BJLAGE Nr. 35
A2	Nr. 55.065



GETJBEWEGING NOORDZEE
 8 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN
 DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
 CENTRALE STUDIEDIENST

SCHAAL 1: 200 000.
BJLAGE Nr. 36
A2 Nr. 55.066



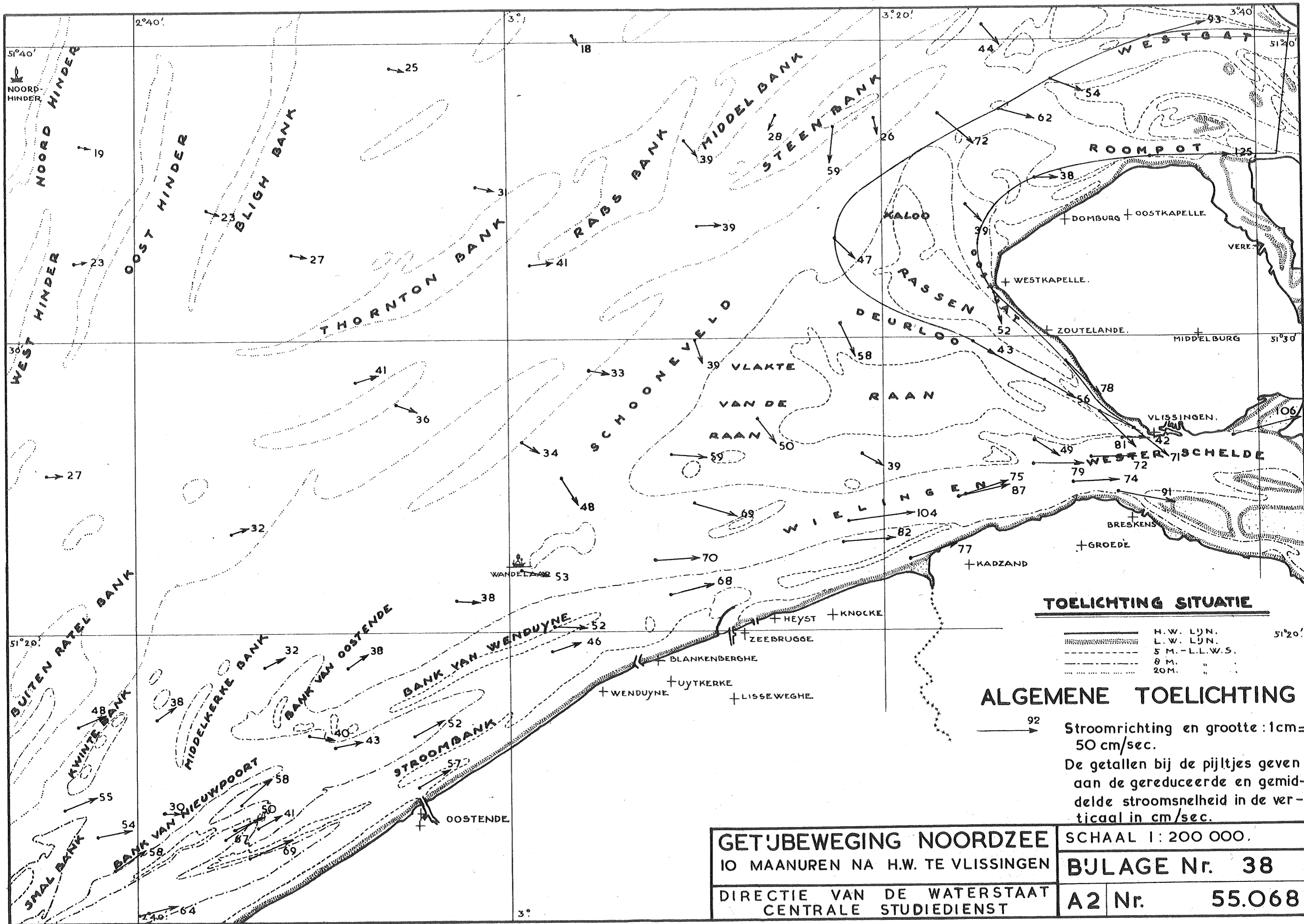
TOELICHTING SITUATIE

	H. W. L. J. N.	51°20'
	L. W. L. J. N.	
	5 M. - L. L. W. S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GET'JBEWEGING NOORDZEE 9 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN	SCHAAL 1 : 200 000.	
	BJLAGE Nr. 37	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2	Nr. 55.067



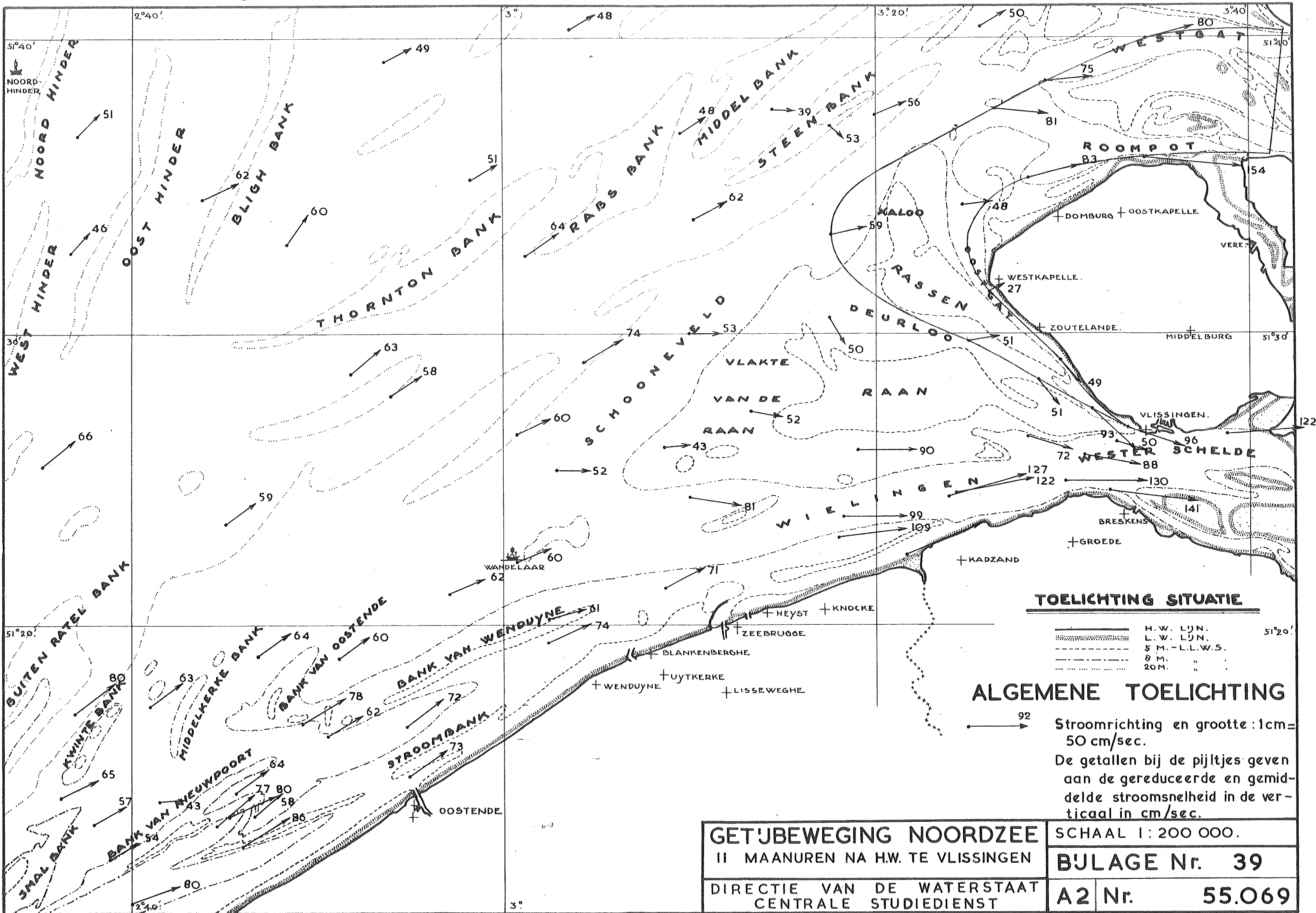
TOELICHTING SITUATIE

	H.W. LYN.	51°20'
	L.W. LYN.	
	5 M. - L.L.W.S.	
	8 M. "	
	20 M. "	

ALGEMENE TOELICHTING

92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

GETUBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1: 200 000.	
10 MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN		BULAGE Nr. 38	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT		A2 Nr. 55.068	
CENTRALE STUDIEDIENST			



TOELICHTING SITUATIE

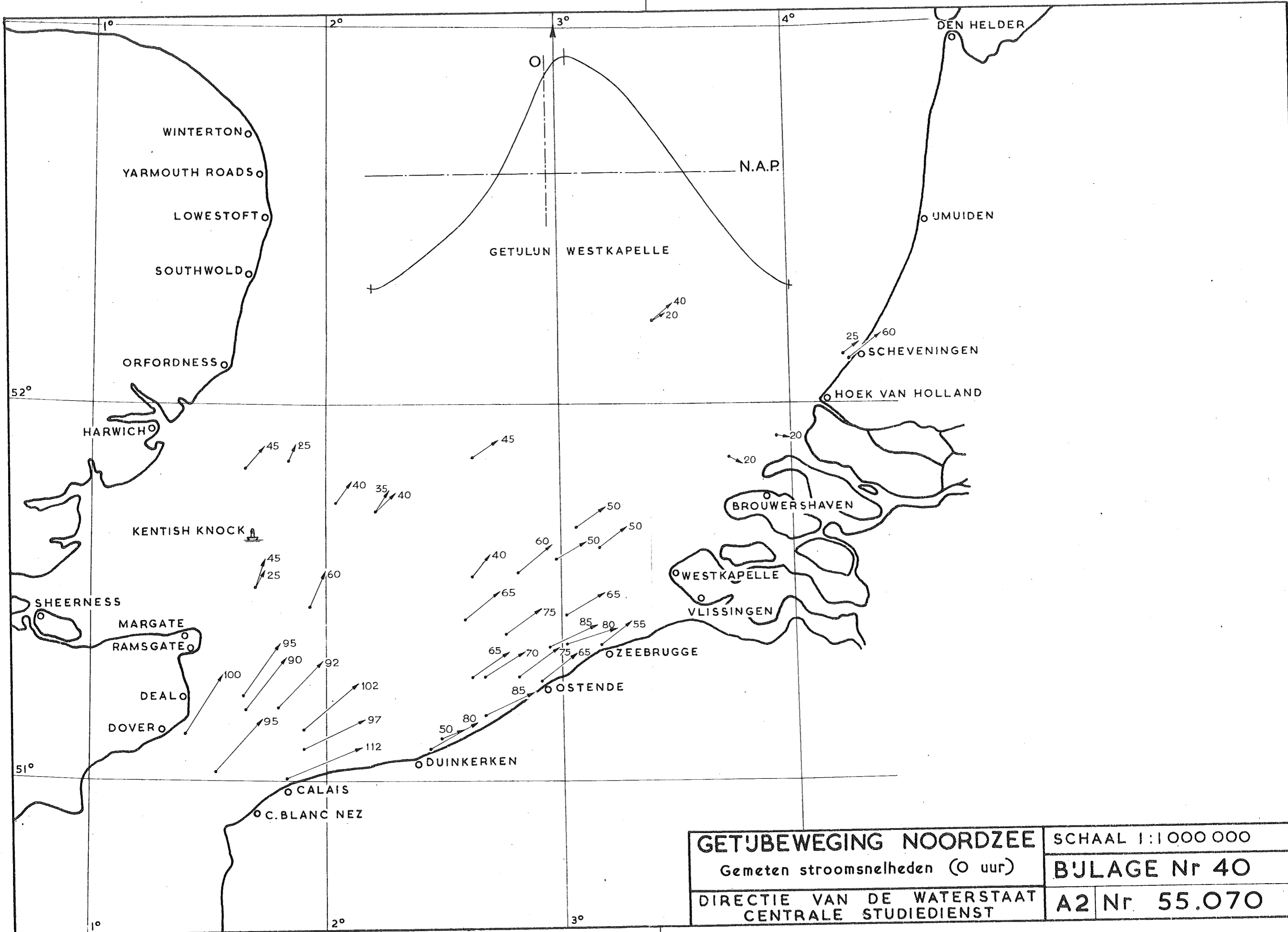
- H.W. L.J.N.
- - - L.W. L.J.N.
- - - 5 M. - L.L.W.S.
- - - 8 M. "
- - - 20M. "

ALGEMENE TOELICHTING

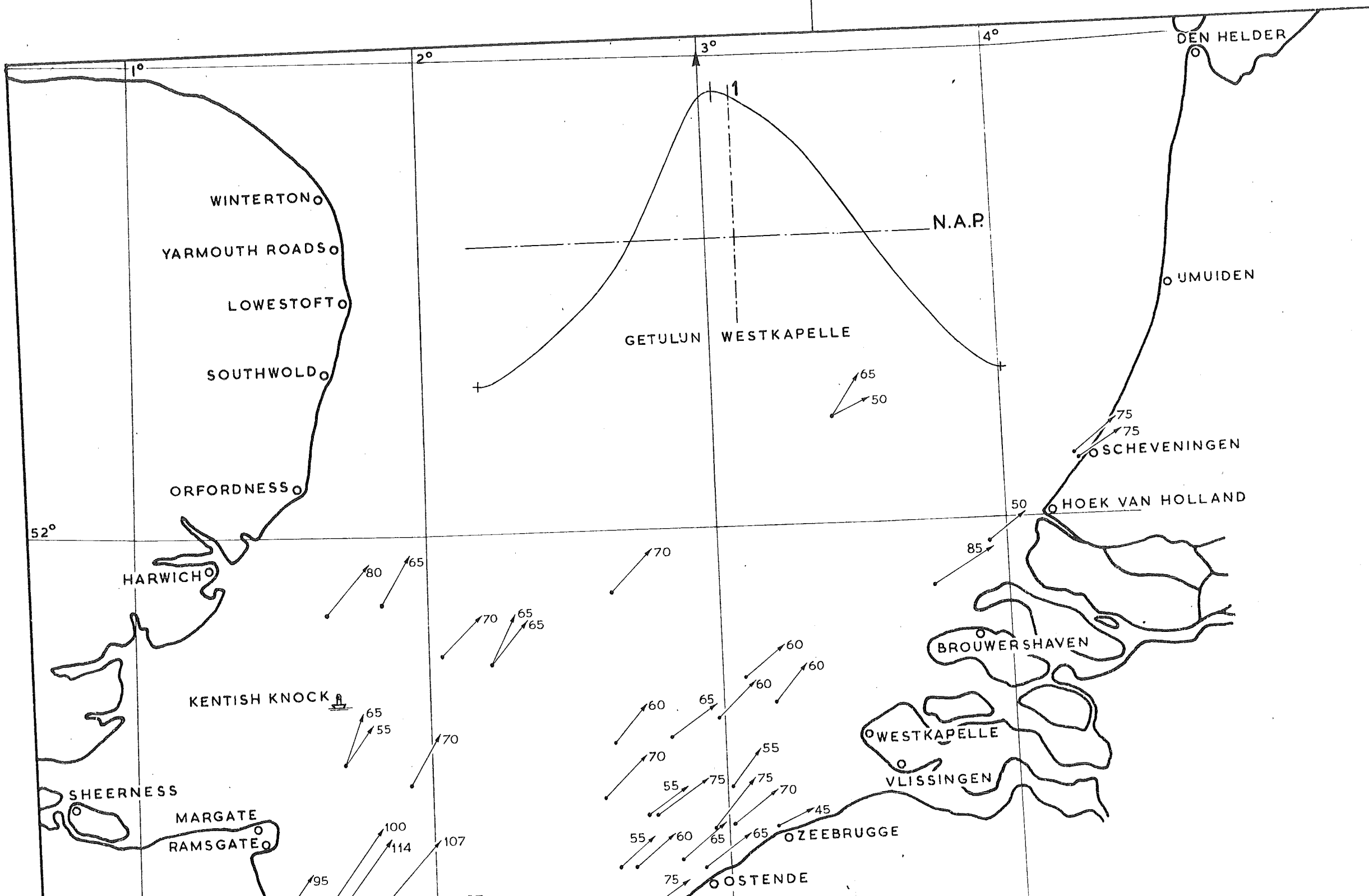
92
 Stroomrichting en grootte: 1cm = 50 cm/sec.
 De getallen bij de pijltjes geven aan de gereduceerde en gemiddelde stroomsnelheid in de verticale in cm/sec.

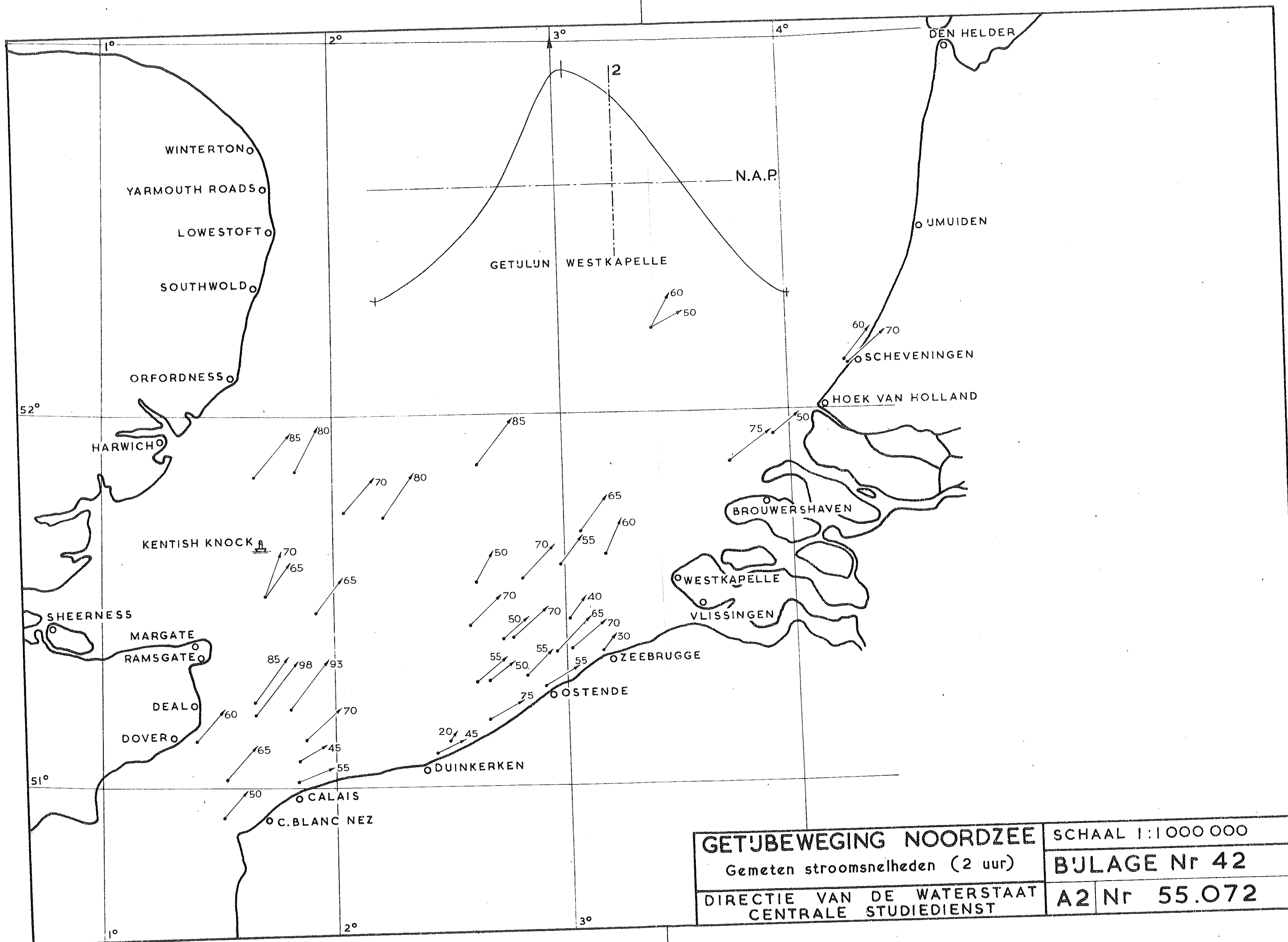
GET'JBEWEGING NOORDZEE
 II MAANUREN NA H.W. TE VLISSINGEN
 DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
 CENTRALE STUDIEDIENST

SCHAAL 1: 200 000.
BULAGE Nr. 39
 A2 Nr. 55.069

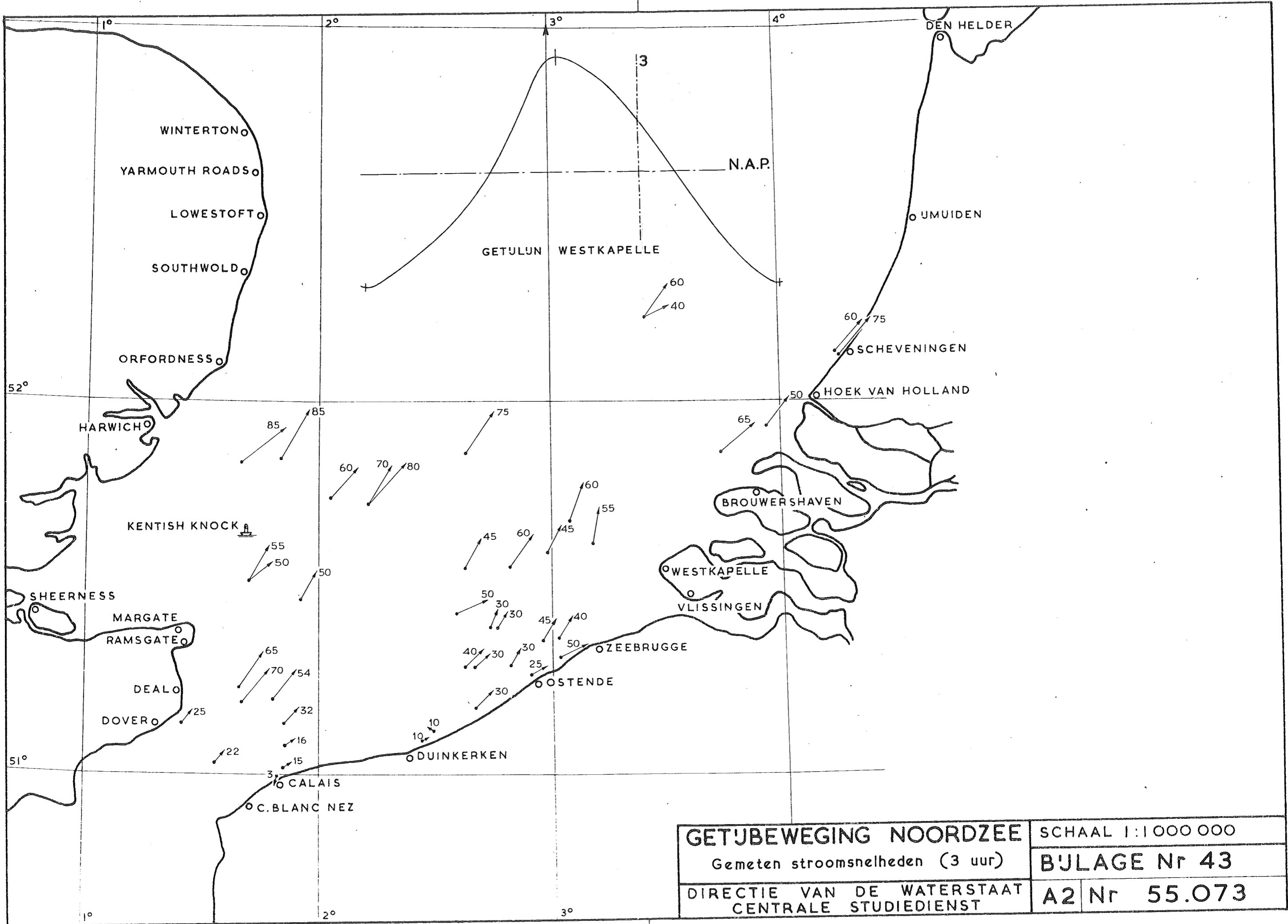


GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000
Gemeten stroomsnelheden (0 uur)		BIJLAGE Nr 40
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2 Nr 55.070

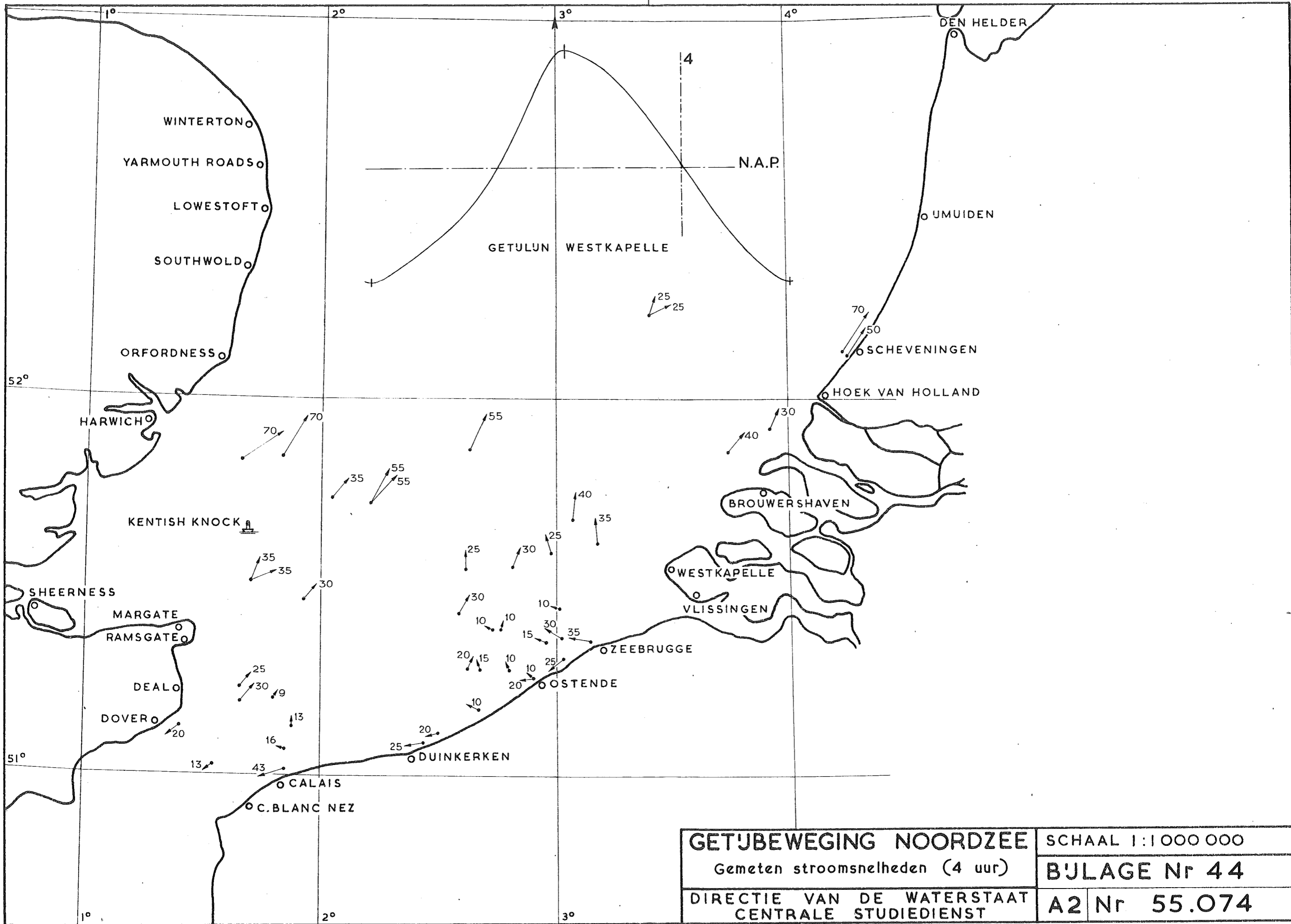




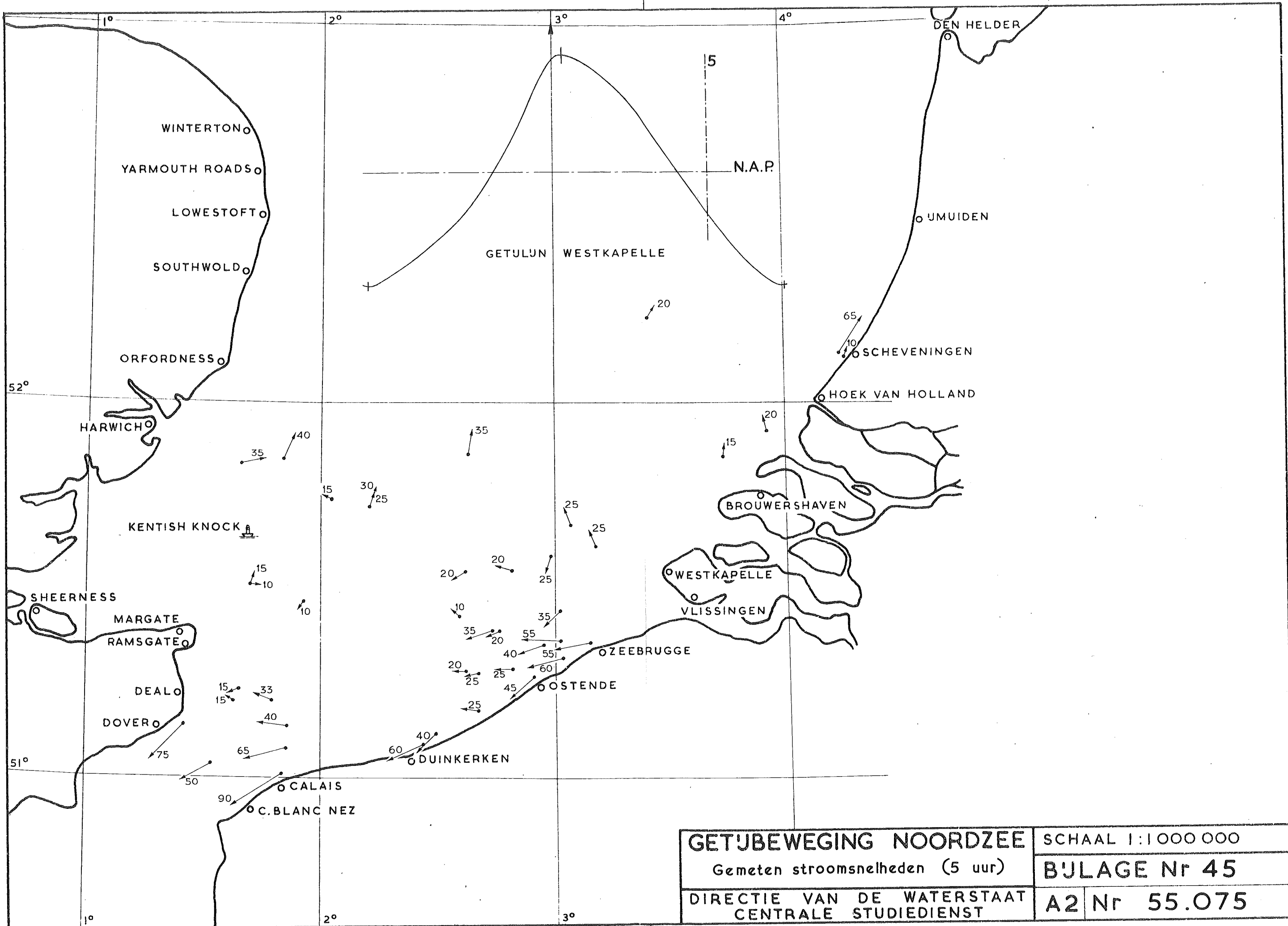
GETJBEWEGING NOORDZEE	SCHAAL 1:1 000 000
	Gemeten stroomsnelheden (2 uur)
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	B'JLAGE Nr 42
	A2 Nr 55.072



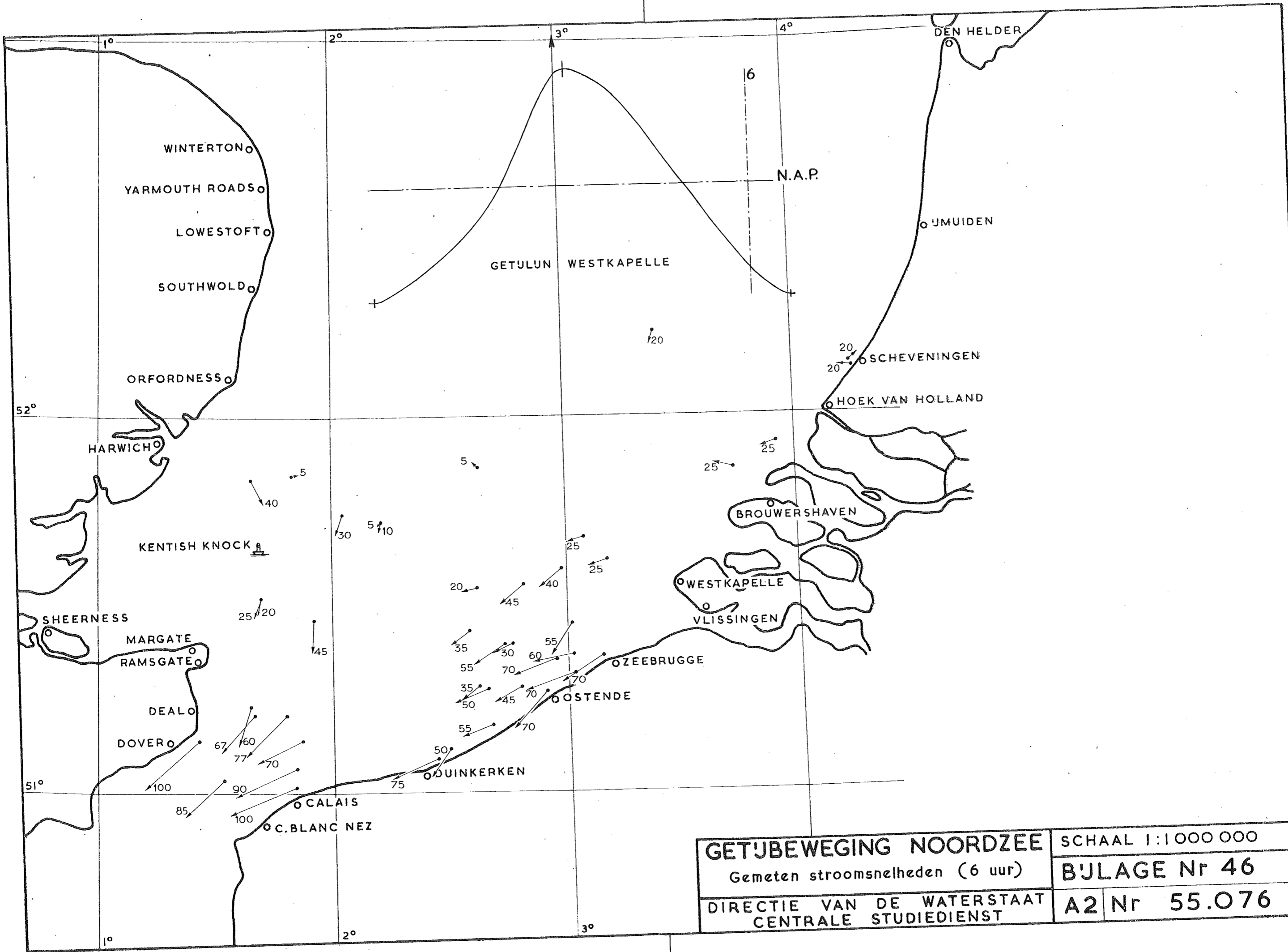
GETUBEWEGING NOORDZEE Gemeten stroomsnelheden (3 uur)	SCHAAL 1:1000000
	BIJLAGE Nr 43
	A2 Nr 55.073
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	

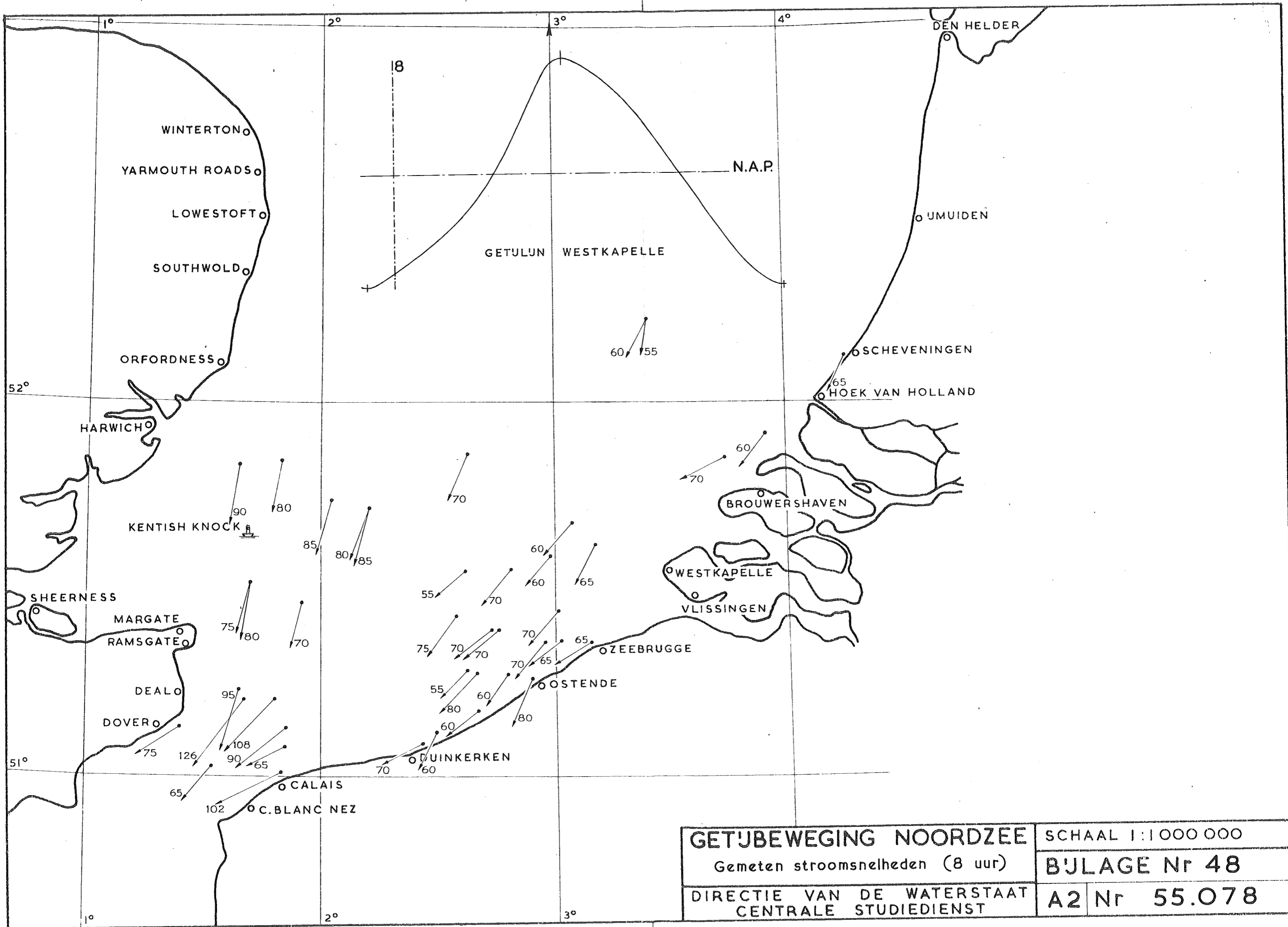


GETUBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000	
Gemeten stroomsnelheden (4 uur)		BIJLAGE Nr 44	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr 55.074



GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000	
Gemeten stroomsnelheden (5 uur)		BIJLAGE Nr 45	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr 55.075





GETJBEWEGING NOORDZEE

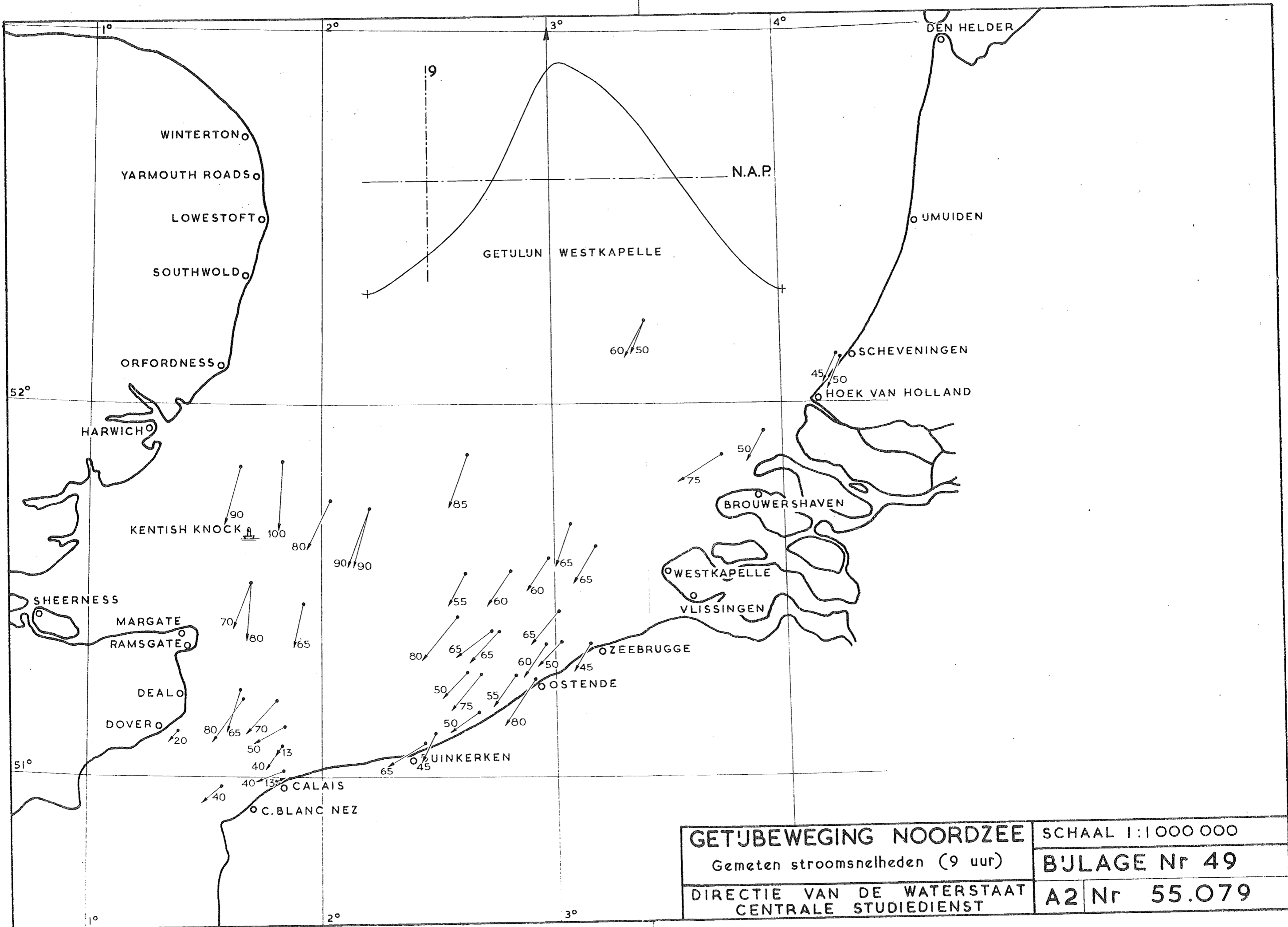
Gemeten stroomsnelheden (8 uur)

DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
CENTRALE STUDIEDIENST

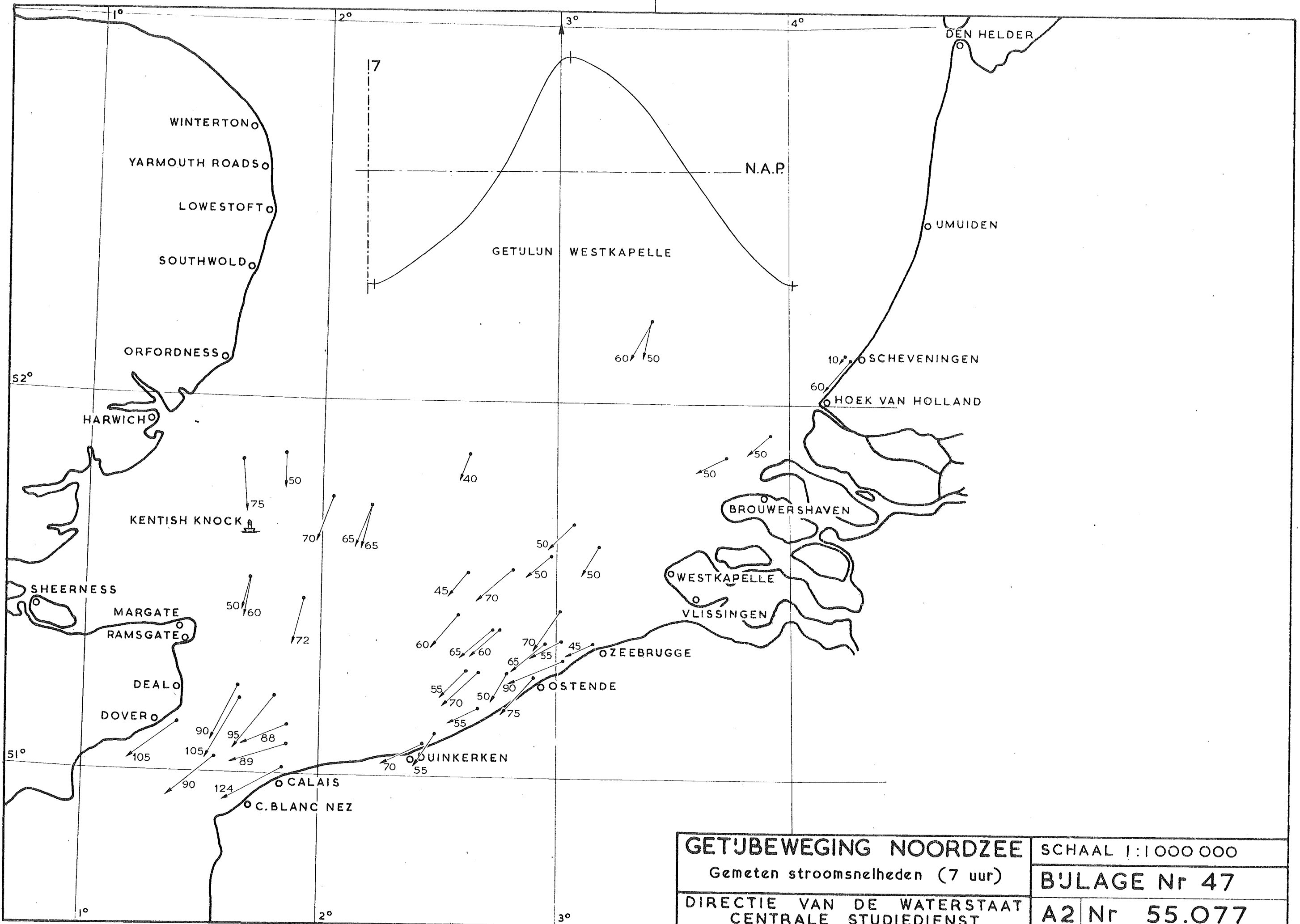
SCHAAL 1:1 000 000

BIJLAGE Nr 48

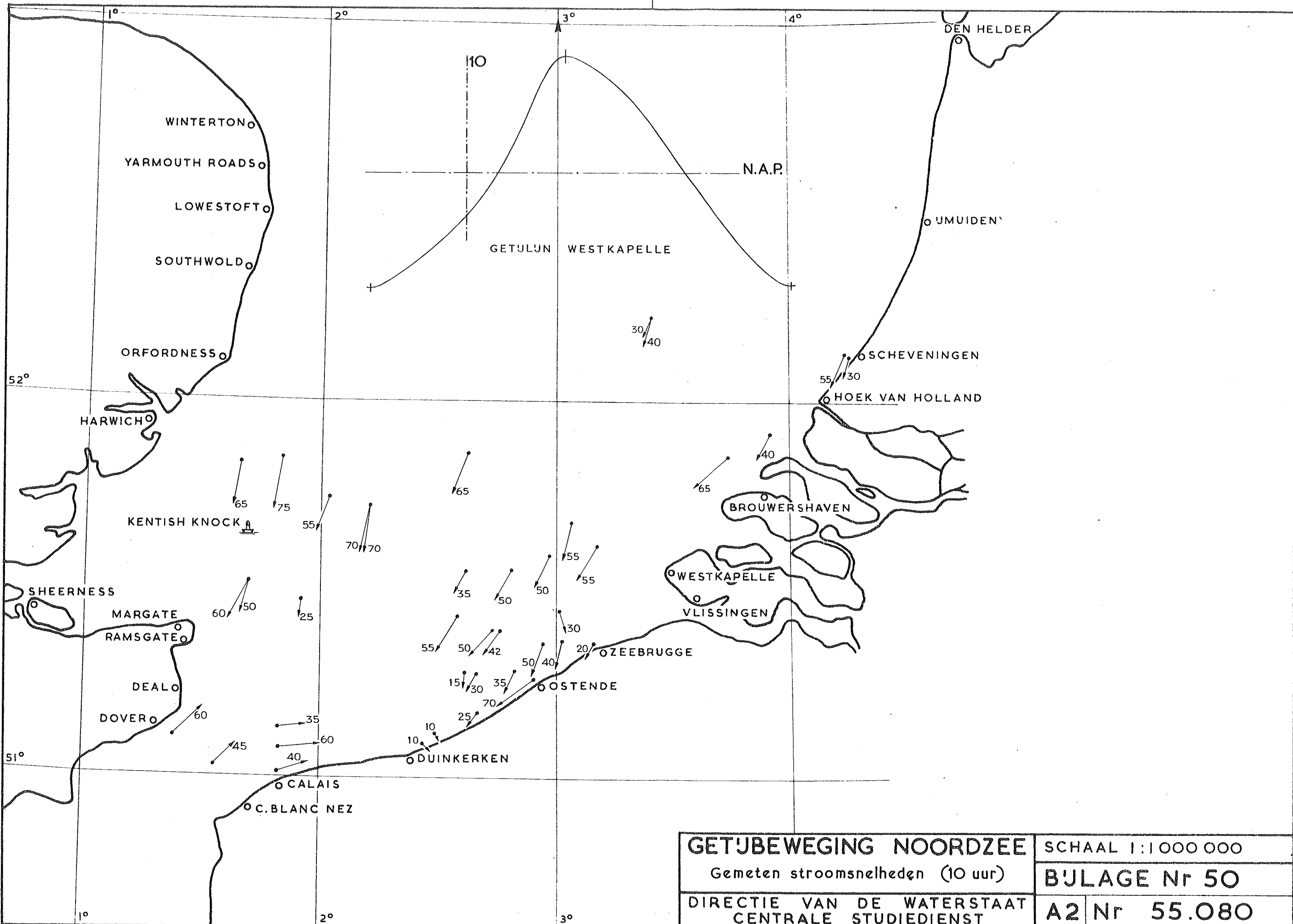
A2 Nr 55.078



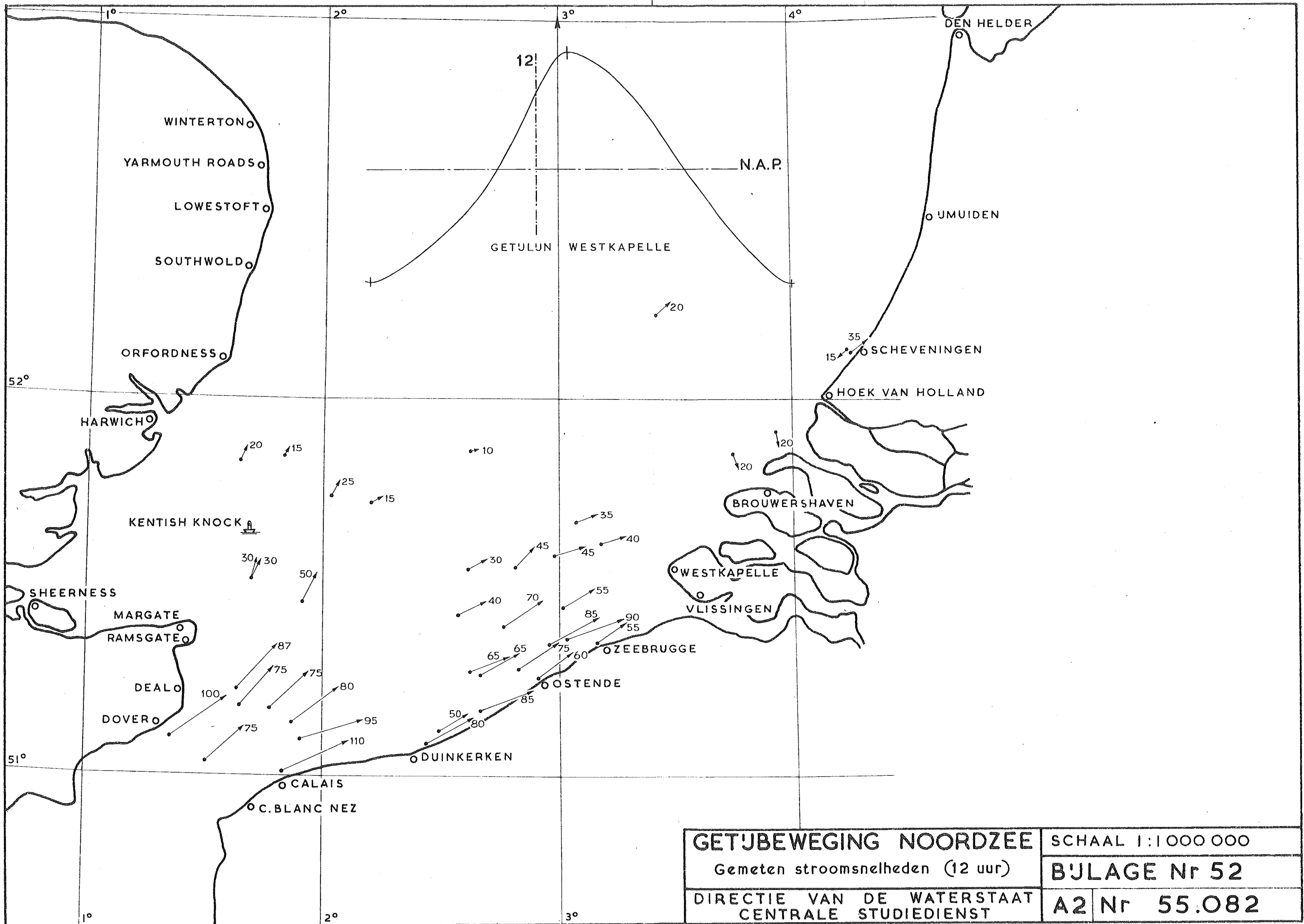
GETUBEWEGING NOORDZEE Gemeten stroomsnelheden (9 uur)	SCHAAL 1:1 000 000
	BIJLAGE Nr 49
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	A2 Nr 55.079



GETJEBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1000000
Gemeten stroomsnelheden (7 uur)		BIJLAGE Nr 47
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2 Nr 55.077



GETJBEWEGING NOORDZEE		SCHAAL 1:1 000 000	
Gemeten stroomsnelheden (10 uur)		BIJLAGE Nr 50	
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST		A2	Nr 55.080



GETJBEWEGING NOORDZEE
 Gemeten stroomsnelheden (12 uur)
 DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT
 CENTRALE STUDIEDIENST

SCHAAL 1:1 000 000
BIJLAGE Nr 52
 A2 Nr 55.082

IMMINGHAM 220

53°

WINTERTON 115

YARMOUTH ROADS 70

LOWESTOFT 70

SOUTHWOLD 75

ORFORDNESS 95

HARWICH 130

OSEA ISLAND 180

KENTISH KNOCK

SCHOUWENBANK

SOUTHEND 200

NOORDHINDER

155

LONDON BRIDGE 240

SHEERNESS 190

VLISSING

CHATHAM 215

RAMSGATE 185

ZEEBRUGGE 170

MARGATE 165

OSTENDE 180

DEAL

DOVER 220

200 DUINKERKEN

51°

245 CALAIS

BRIGHTON

HASTINGS

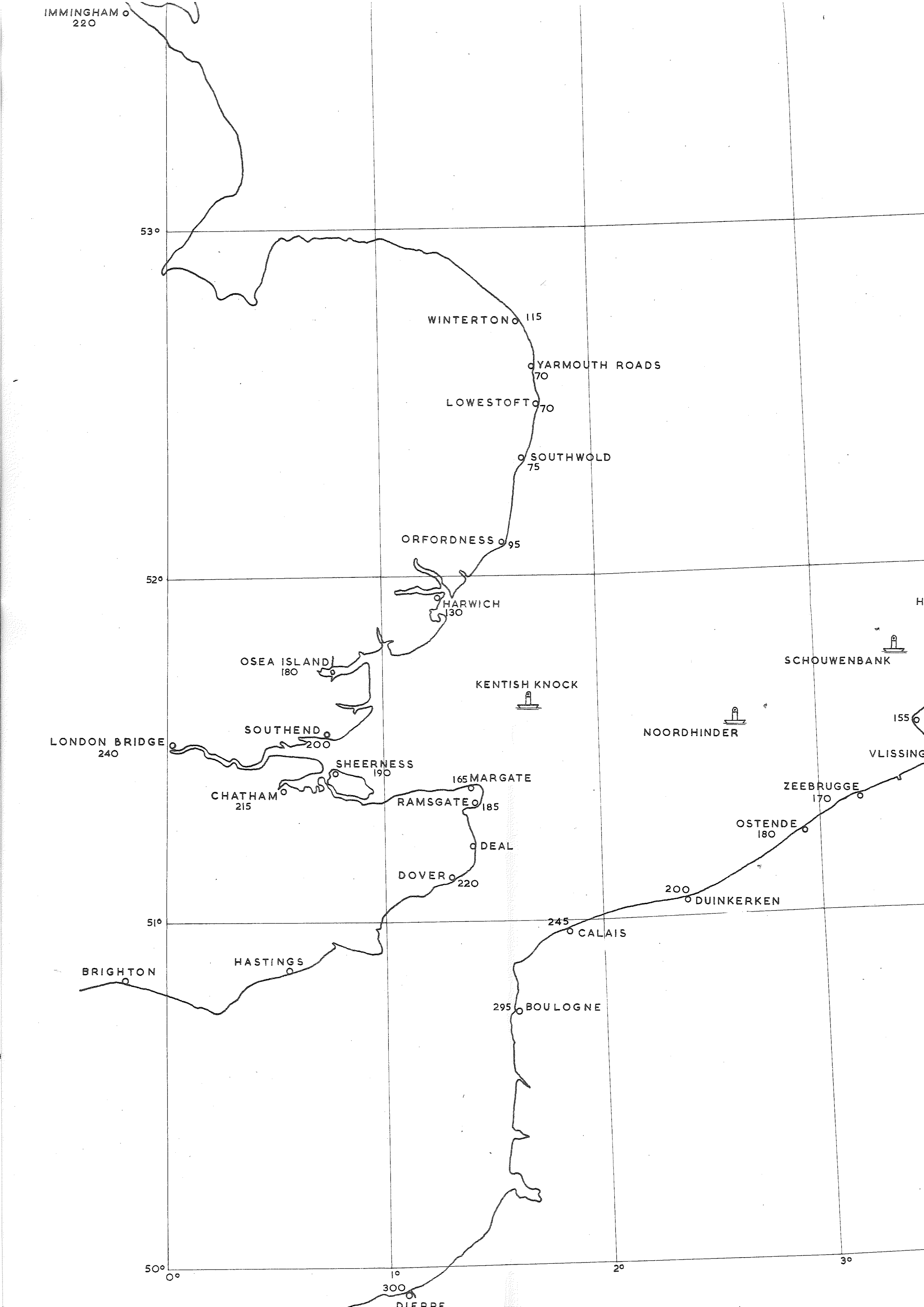
295 BOULOGNE

50°

300 DIERPPE

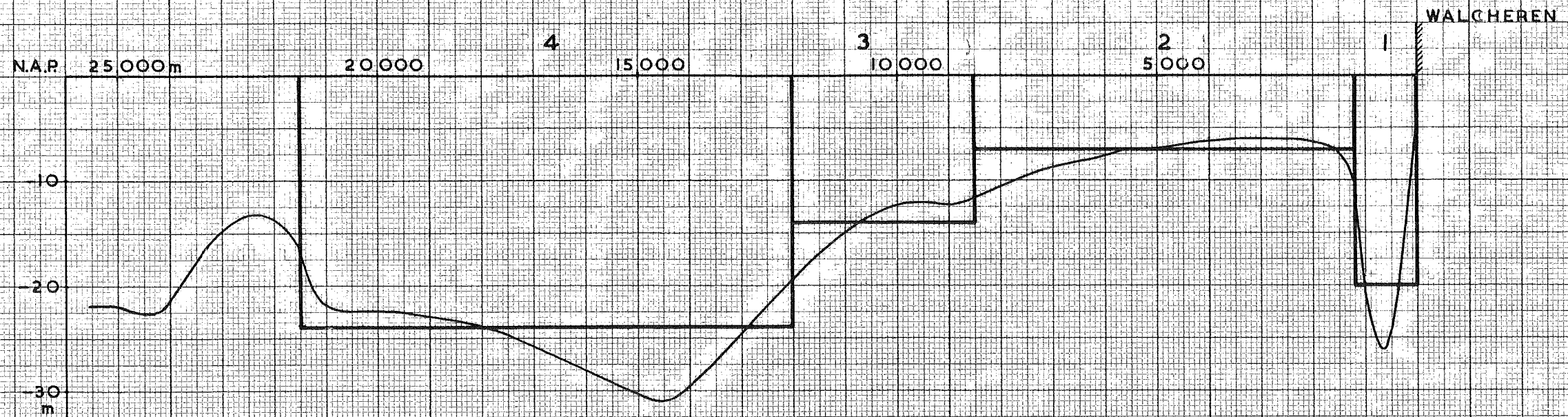
20°

30°

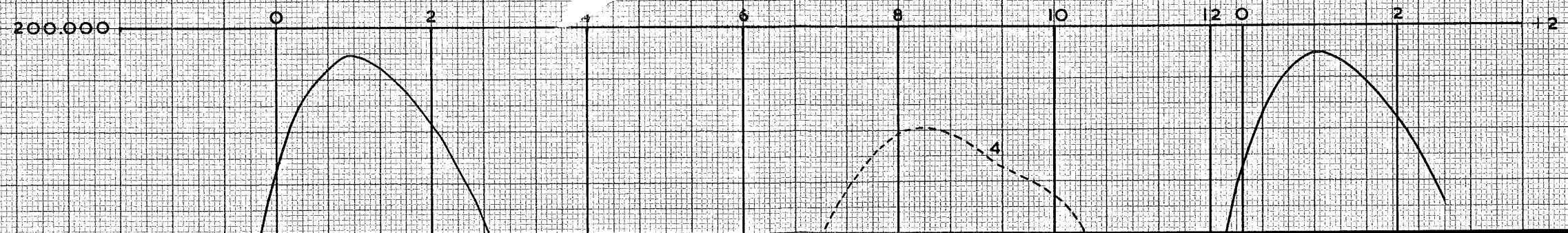




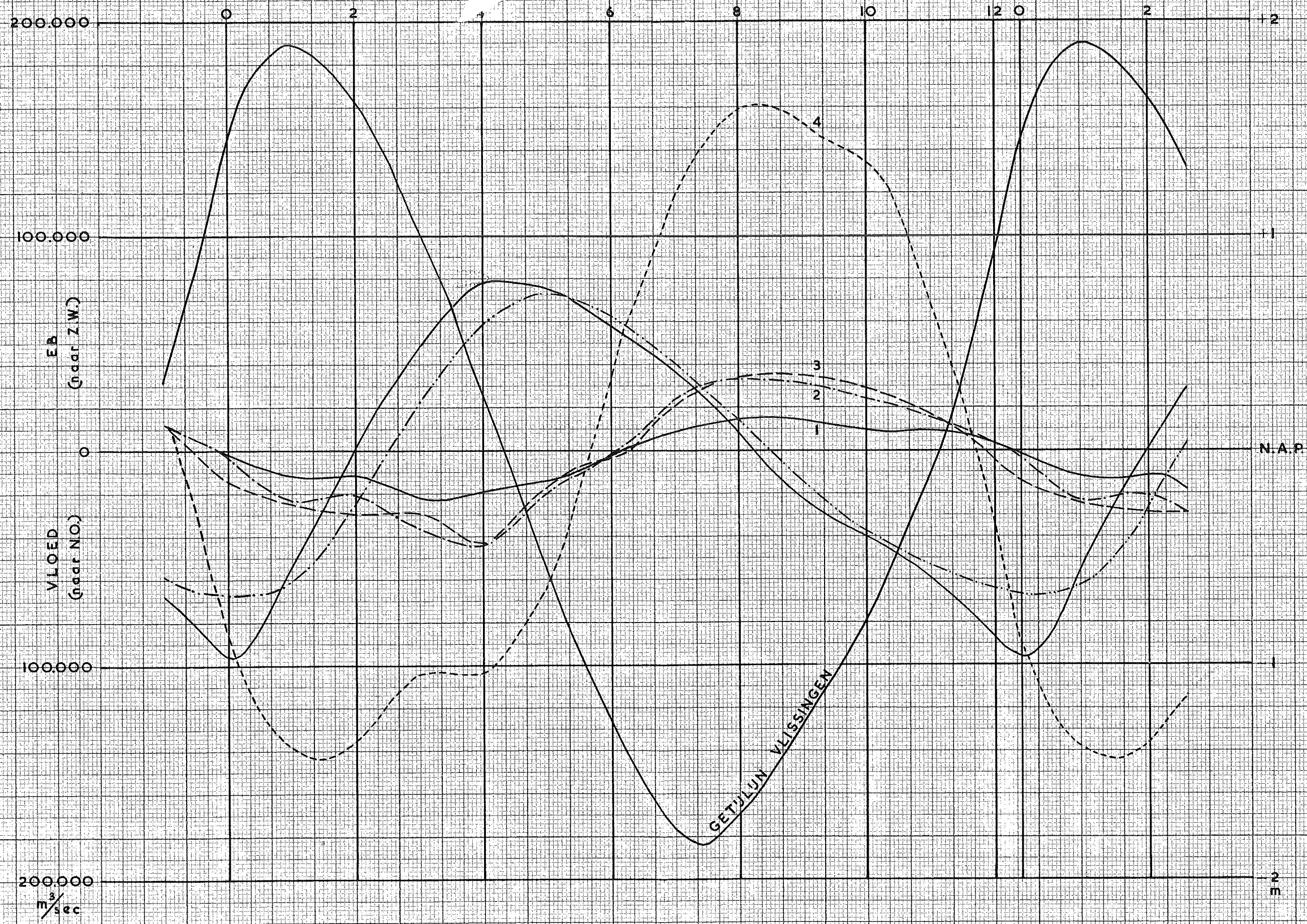
PROFIEL IN EEN RAAI BIJ WESTKAPELLE (ZIE BIJLAGE I)



STROMEN DOOR DE VAKKEN VAN BOVENSTAANDE RAAI, VERGELEKEN MET DE STROMEN DOOR OOSTERSCHELDE (BURGH) EN WESTERSCHELDE (VLISSINGEN)

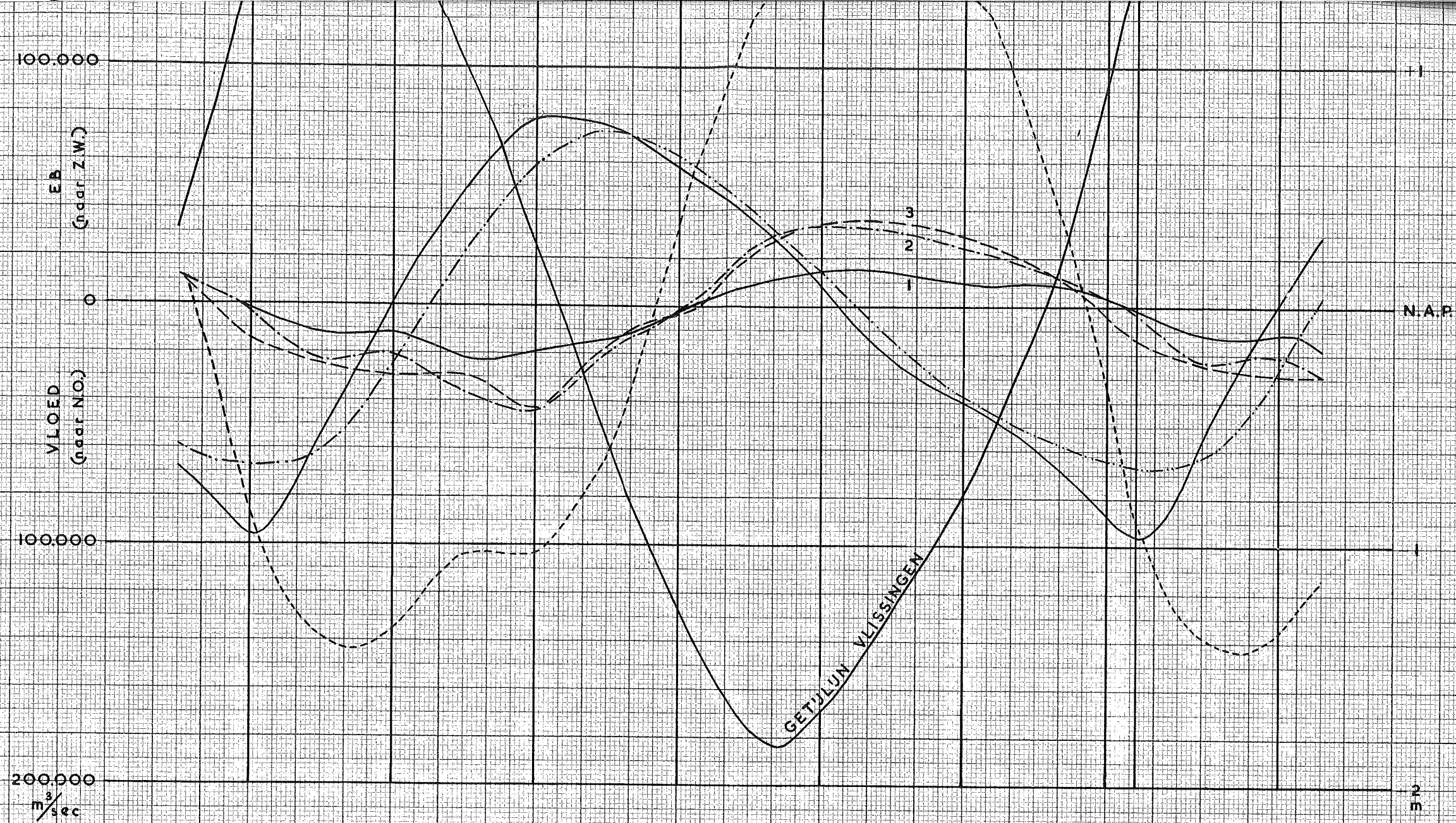


STROMEN DOOR DE VAKKEN VAN BOVENSTAANDE RAAI, VERGELEKEN MET DE STROMEN DOOR OOSTERSCHELDE (BURGH) EN WESTERSCHELDE (VLISSINGEN)



VERMOGENS IN 10^6 m^3

- VAK 1
- VAK 2
- VAK 3



VERMOGENS IN $10^6 m^3$	
VLOED	EB
290	200
530	480
570	480
2250	2380
1000	950
1100	1100

- VAK 1
- - - VAK 2
- VAK 3
- - - VAK 4
- OOSTERSCHELDE
- WESTERSCHELDE

GETJBEWEGING NOORDZEE	
STROMEN DOOR RAAI WESTKAPELLE	B'JLAGE Nr. 2
DIRECTIE VAN DE WATERSTAAT CENTRALE STUDIEDIENST	B2 Nr. 55.032