

HOOFDSTUK IV. Discussie van de uitkomsten.

13. De golfmetingen in de bestaande situatie (S 0).

Bij alle windrichtingen zijn de golven buiten den havenmond veel hooger dan verder in zee. De oorzaak hiervan is gelegen in de interferentie van de aankomende golven met die, welke tegen de havendammen zijn gebroken en daarvandaan gedeeltelijk worden teruggekaatst. Daardoor ontstaat in de omgeving van de haven een wilde en koppige zee met golfhoogten die plaatselijk meer zijn dan anderhalf maal de oorspronkelijke (fig. 12-14).

Bij westelijken wind neemt de golfhoogte af, zoodra men in de luwte komt van den Zuiderhavendam (fig. 13); is de wind zeer ver geruimd (fig. 12 en 14), dan geeft deze dam nog geen luwte en het water wordt pas rustiger na het passeeren van den nauwen havenmond. In de voorhaven zijn de golven steeds veel lager dan buiten.

Een tweede vervlakking treedt op bij het Oude Zuiderhavenhoofd: meer binnenwaarts is in één geval (fig. 12) een golfhoogte gemeten van 0,21 m, bij alle andere omstandigheden is het water nog vlakker (tabel III).

De meting die in figuur 12 is weergegeven (wind NEtN = $+34^{\circ}$, zonder stroom) voldoet niet aan de in paragraaf 9 aangenomen grondslagen: de waterstand was niet N.A.P. + 1,4 m, maar + 2,0 m, welke een twintig maal kleinere frequentie heeft. De, overigens onder gelijke omstandigheden verrichte, meting met waterstand N.A.P. + 1,4 m leverde dan ook een kleinere golfhoogte op (tabel III). Van de onderlinge vergelijkbare metingen met de frequentie van eenige uren per jaar (par. 9) werd bij die met de windrichting NWtW (-56°) en zonder stroom de grootste golfhoogte in den vaarweg gevonden (0,19 m). Deze meting is weergegeven in figuur 13. In dit geval kwam tevens de grootste hoogte in de Nieuwe Willemshaven voor.

De sterkste golfbeweging in het Dok werd gemeten in het in figuur 14 getoonde geval. Hier is de waterstand wat te laag: deze moest N.A.P. + 2,2 m zijn inplaats van + 2,0 m. Dit kan geen belangrijk verschil maken.

Dat onder alle omstandigheden in het model van de bestaande situatie zeer kleine golfhoogten zijn gevonden, komt geheel overeen met de ervaring. Deze leert, dat ook bij de hardste stormen geen hinder van de van buiten komende deining wordt ondervonden.

De in de haven zelf opgewekte golven worden nader beschouwd in paragraaf 24.

14. De golfmetingen in de situatie vóór 1911 (S-1).

De zeebodem is in deze situatie niet nauwkeurig in overeenstemming gebracht met den toestand van het begin van de twintigste eeuw. Wel is de kuil vóór de haven aangevuld tot de diepte die in dien tijd aanwezig was (ongeveer N.A.P. - 7 m).

De metingen waarbij, respectievelijk in de Nieuwe Willems-haven en het Dok, de groot^{ste} golven werden gevonden, zijn weergegeven in de figuren 15 en 16. De deining in de havens is zeer veel sterker dan in den bestaanden toestand, welk feit geheel overeenkomt met de ervaring in Harlingen. Van den toestand vóór 1911 wordt opgegeven (par. 3) dat, zowel in de Nieuwe Willems-

haven als in het Dok, golven van meer dan 0,4 m hoogte kunnen optreden. In de Nieuwe Willemshaven zijn in het model golven gemeten die dit bedrag ruim overschrijden; in het Dok is het tijdens de metingen niet bereikt. Het is echter niet uitgesloten, dat daar een nog wat sterkere deining optreedt bij meer Zuidelijke windrichtingen dan bij de proeven, zijn toegepast, of bij aanwezigheid van stroom dwars voor den havenmond langs.

In de voorhaven was het wateroppervlak in het model zeer onrustig: de gemeten golfhoogte bedroeg op enkele plaatsen bijna anderhalven meter, dus maar weinig minder dan in zee. Uit de werkelijkheid is hiervoor eveneens een bedrag van 1,5 m opgegeven. Er is dus een zeer goede overeenstemming.

15. Overeenkomst tusschen model en werkelijkheid.

Voor het nagaan van de overeenkomst tusschen de verschijnselen in het model en die in de werkelijkheid zijn terbeschikking:

- a. de uitkomsten van den deiningmeter en de ter vergelijking daarmede verrichte modelmetingen;
- b. de metingen in de bestaande situatie (S 0);
- c. de metingen in de situatie voor 1911 (S-1).

Uit de metingen a (par. 9) kan niet rechtstreeks tot overeenstemming worden besloten. Zij waren noodig om de berekening der golven buiten de haven te toetsen en moeten daartoe slechts het verband leveren tusschen die golven en die op de plaats van den deiningmeter. Dat in paragraaf 9 een bevredigende overeenstemming is gevonden tusschen de bij den deiningmeter waargenomen golven in de werkelijkheid en in het model, geeft een sterke aanwijzing voor de betrouwbaarheid zoowel van de berekening als van het model. Het is immers moeilijk denkbaar dat bij al de beschouwde windrichtingen, zoowel de berekening der golven als het in het model bepaalde verband, afwijkingen zouden vertoonen die elkaar nagenoeg opheffen.

In de bestaande situatie te Harlingen zijn binnen de haven geen waarnemingen beschikbaar die gelegenheid geven tot een quantitative vergelijking met de modelmetingen. Dat deze metingen het beeld van een zeer rustige haven geven, komt echter volledig met de ervaring overeen.

Van den toestand in de haven van vóór 1911 zijn wel enkele golfhoogten bekend (par. 3 en 14). Deze vertoonen een zeer goede overeenstemming met de modelmetingen. Ook dit is op zichzelf niet geheel beslissend, omdat men niet weet, welke frequentie ^{aan} de opgegeven golfhoogten moet worden toegekend.

Alles bijeengenomen is het gebleken, dat alle punten van vergelijking meer of minder sterke aanwijzingen voor de overeenstemming leveren. Men mag hieruit de conclusie trekken dat ook voor grootheden die in de werkelijkheid niet zijn gemeten en voor situaties die (nog) niet bestaan op een goede weergave door het model kan worden gerekend. Op de in die situaties in het model gemeten golf-

hoogten kan dus een verwachting worden gebaseerd over de hoogten die in de werkelijkheid zullen voorkomen.

16. De golfmetingen in S 1.

Het wegnemen van het Oude Zuiderhavenhoofd heeft tengevolge, dat de deining vrij veel hoger wordt dan in den bestaanden toestand. Het geval waarbij in de geheele haven de grootste golven zijn gemeten, is weergegeven in figuur 17. De meting, die is uitgevoerd met den waterstand N.A.P. + 2,0 m inplaats van + 1,4 m, welke volgens paragraaf 9 bij de windrichting + 34° behoort, kan rechtstreeks worden vergeleken met die van figuur 12. Door het wegnemen van het Oude Zuiderhavenhoofd worden de golven in den vaarweg bijna driemaal zoo hoog. Zij overschrijden daarmee de gestelde grens van 0,45 m vrij belangrijk. De deining in de havenbekkens was ongeveer gelijk aan de daar toelaatbaar geachte hoogte van 0,2 m.

Het verwijderen van het paalwerk langs den Zuiderhavendam heeft, zooals uit figuur 18 blijkt, een verdere versterking van de deining tengevolge. De golven in den vaarweg stijgen tot ruim 0,7 m, die in de Nieuwe Willems haven tot ruim 0,3 m. Bij de andere windrichtingen (N-11°E en N-56°E) waarvoor metingen beschikbaar zijn, is de invloed van het paalwerk minder duidelijk (tabel III). Waarschijnlijk moet men zich voorstellen dat de golven die zich evenwijdig aan den dam voortplanten (-11°) en vooral die, welke om den kop moeten zwenken, voor ze binnenkomen, niet of nauwelijks worden gehinderd door de aanwezigheid van de palen. De uit het Noordoosten komende golven daarentegen breken tegen de binnenzijde van den dam en worden van daar teruggekaatsd naar de haven. Dit verschijnsel van breken en gedeeltelijk terugkaatsen wordt blijkbaar in vrij sterke mate beïnvloed door het paalwerk.

Men mag van een paalwerk dus alleen een merkbare verbetering verwachten, als de voortplantingsrichting van de golven een component heeft naar den dam toe. Dit wordt bevestigd door metingen in een later stadium van onderzoek (S 3, S 16 en S 18 tegenover S 19). Voor de golfrichting van -11° is daarbij nog een zwakke invloed van de palen gevonden.

Evenwijdig aan den dam loopende golven kunnen beter worden gedempt door het aanbrengen van schermen loodrecht op den dam.

17. De golfmetingen in S 2 tot en met S 7.

De enkele meting die is uitgevoerd in S 2 met een nieuwen Noorderhavendam, welke een mondwijdte van 140 m openlaat, gaf een zeer ongunstig resultaat (fig. 19). Hoewel de deining in de havenbekkens matig was, leverde de meting een golfhoogte van meer dan een meter in den vaarweg.

Het vernauwen van den mond tot 125 m (S 3) bracht in het overeenkomstige geval (-11°, zuidgaande stroom) verbetering: de grootste golfhoogte in den vaarweg was 0,74 m. Bij mindervergrooten wind echter (-56°, fig. 20) bleek de deining zeer sterk te zijn, namelijk even hoog als de golven in zee (1,7 m). In de havenbekkens zijn geen hoogere golven gemeten dan ruim 0,2 m. Het feit dat het paalwerk langs den Zuiderhavendam was weggenomen, kan nauwelijks van invloed zijn op de golfhoogten.

Het ligt voor de hand, dat bij dezen wind, die vrijwel recht op den havenmond staat, ook in S 2 de deining in den vaar-

weg en in de nieuwe buitenhaven grooter is dan de gemeten waarde van figuur 19.

Ongetwijfeld is verbetering te verkrijgen door verder vernauwen van den ingang tot de haven, doch het is uitgesloten, dat het resultaat voldoende is, voor de mond nauwer is, dan met het oog op de scheepvaart gewenscht is. De beide eischen van paragraaf 3 zijn dus bij de situatie van S 2 en S 3 niet met elkander te vereenigen. Blijkbaar moet het scheepsverkeer tusschen de nieuwe buitenhaven en de overige havenbassins te ver naar buiten komen.

Bij de situatie S 4 is er naar gestreefd, om hierin verbetering te brengen: tusschen de bestaande havenbekkens en de nieuwe sluis is een verbinding gemaakt door het weg-nemen van een omstreeks 150 m lang gedeelte van den Middenhavendam. Bovendien is het Oude Zuiderhavenhoofd weer aangebracht en is in den hoek van het Oude Zuiderhavenhoofd een flauw hellende glooiing gemaakt, met het doel de golven daarop te laten breken. Ook deze poging had weinig succes: zooals uit figuur 21 blijkt, bleef niet alleen de deining in den vaarweg zeer groot (1,65 m), maar ook in het Dok zijn golven van ruim 0,5 m hoogte gemeten. Hiertoe draagt de verkorting van de kade tusschen de beide havenbekkens wellicht bij.

Het is mogelijk, dat de golven worden teruggekaatst tegen het buitenste deel van den middenhavendam. Daarom is in S 5 de kop van dezen dam, over een lengte van 80 m, weggenomen. Voorts is de opening versmald van 150 tot 100 m en zijn nog eenige wijzigingen van minder belang aangebracht.

De metingen in S 5 toonen, wat den vaarweg betreft, een vrij groote, hoewel lang niet afdoende, verbetering. De golfhoogte bij de ongunstigste omstandigheden (fig. 22), die dezelfde zijn als in de beide voorafgaande situaties, wordt ten opzichte daarvan ongeveer gehalveerd. Blijkbaar planten de golven zich voort door den verwijden rechtstreekschen doorgang van den havenmond naar de Nieuwe Willems haven, waardoor zij minder in de richting van de nieuwe sluis worden gedrongen. Hiermee is in overeenstemming, dat de deining in de Nieuwe Willems haven in vergelijking met S 4 is versterkt.

Voldoende is de verbetering nog lang niet en daarom is in S 6 een ander middel toegepast, namelijk het sterker buigen van den nieuwen Noorderhavendam, waardoor de kop hiervan ongeveer 60 m in zuidelijke richting wordt verplaatst. Daarvoor is het noodig het buitenste (in S 5 vrijstaande) deel van den Middenhavendam weg te nemen, omdat anders de ingang tot de nieuwe Noorderhaven te smal zou worden.

De uitkomsten zijn slecht. Het ongunstigste geval, met golven van ruim een meter in den vaarweg en resp. ruim 0,5 en bijna 0,9 m in de havenbekkens, is weergegeven in figuur 23.

Het laatste middel dat in deze groep is toegepast, bestaat uit het vernauwen van den havenmond tot de kleinste maat die kan worden toegelaten, 100 m (S 7).

Inderdaad geeft dit verbetering. De grootste deining is ook hier weer gemeten bij golven uit NWtW (-56°), en wel in den vaarweg en de Nieuwe Willemshaven bij noordgaanden stroom (fig. 24), in het Dok bij zuidgaanden. De golven waren echter nog steeds ver boven de aangenomen grenzen. Het werd uitgesloten geacht, dat door betrekkelijk geringe veranderingen een voldoende resultaat kon worden bereikt; daarom is overgegaan tot meer radicale maatregelen.

18. De golfmetingen in S 8 tot en met S 17.

Deze maatregelen bestaan uit het verlengen van den Zuiderhavendam, waardoor de havenmond tegen het Westen en Noordwesten beter wordt beschut.

In S 8 bedroeg de verlenging 150 m. Het lag voor de hand, het grootste gevaar thans te zoeken bij wind uit ongeveer noordelijke richting. Er werd daarom begonnen met een meting met de richting -11° .

Zooals uit figuur 25 blijkt, bracht de verlenging van den Zuiderhavendam een groot succes. De gemeten golven hadden ongeveer dezelfde hoogte als in de bestaande situatie (S 0). Dit was meer dan werd verlangd en het leek dus mogelijk om met de verlenging minder ver te gaan, waardoor niet alleen op de aanlegkosten zou worden bespaard, maar ook de toegang tot de haven vergemakkelijkt zou worden. In S 9 is daarom de verlenging teruggebracht tot de helft (75 m).

Het ongunstigste geval blijkt in deze situatie op te treden bij golven uit NWtW (-56°). Weliswaar kunnen golven uit noord-oostelijke richting gemakkelijker binnendringen, maar in dat geval zijn de golven buiten belangrijk kleiner dan bij wind uit NW, zoodat de grootste deining toch bij de laatste richting is te verwachten. Alleen in de Nieuwe Willemshaven is bij golven uit NEtN ($+34^{\circ}$) een iets grootere hoogte gemeten dan bij -56° .

De golfhoogten in den vaarweg en de Nieuwe Willemshaven bleven ruim binnen de gestelde grenzen. Alleen die in het Dok kwamen er in enkele gevallen boven uit.

De metingen in S 9 zijn niet geheel afgemaakt: de waarnemingen bij wind -56° zonder stroom en met noordgaand tij ontbreken. Tijdens de proeven kwam men namelijk tot het inzicht, dat een wijdte van 100 m van den mond voor de zeeschepen eigenlijk te weinig is. Daarom is in S 10 de havenmond weer verwijd tot 125 m. Zooals was te verwachten, was het resultaat dat de deining in sterkere mate kon binnendringen. Wat den vaarweg en het Dok betreft, was de toestand weer het ongunstigst bij golven uit NWtW (-56°), ditmaal zonder stroom (fig. 27). De gemeten hoogten waren resp. 0,5 m en ruim 0,4 m. De deining in de Nieuwe Willemshaven was het sterkst bij golven uit dezelfde richting, maar met noordgaanden stroom (bijna 0,5 m). De golfbeweging was dus, vooral in de havenbekkens, vrij veel boven de aangenomen grens.

De invloed van het verwijden van den mond, is echter waarschijnlijk niet zoo groot als zou volgen uit een vergelijking van figuur 27 met figuur 26. Onder de omstandigheden die in S 10 het ongunstigst bleken te zijn, is in S 9 juist niet gemeten.

Daar in S 10 de grens van het toelaatbare in de Nieuwe Willemshaven het verst wordt overschreden, is in de volgende situaties getracht, door wijzigingen aan het Oude Zuiderhavenhoofd, het doordringen van de golven in die richting te belemmeren.

Allereerst is daartoe in S 11 de laatste 25 m omgeknipt. Deze verandering bleek een goede uitwerking te hebben. Het ongunstigste geval trad weer op bij golven uit NwtW, maar thans met noordgaanden stroom (fig. 28). De grootste golfhoogte in den vaarweg was weer 0,5 m, die in de Nieuwe Willemshaven was echter afgenomen tot bijna 0,3 m, terwijl de hoogste deining in het Dok optrad bij zuidgaanden stroom en ruim 0,3 m bleek te zijn.

In S 12 was het Oude Zuiderhavenhoofd vervangen door een ruim 200 m verder naar het Westen gelegen hoofd. Het resultaat hiervan was niet onbevredigend: in de ongunstigste omstandigheden (fig. 29) was de deining met 0,5 m, 0,25 m en bijna 0,3 m nog iets minder dan in S 11.

Inmiddels was, in overleg met de opdrachtgevers en met gebruikers van de haven, de minimale breedte van den mond vastgesteld op 110 m, gemeten over de perkoenen. Deze maat is gedurende het geheele verdere onderzoek aangehouden, het eerst dus in S 13. De weinige metingen in deze situatie toonen inderdaad eenige verlaging van de golven ten opzichte van S 12. Hier waren de verschillen in de golfbeweging in de haven bij verschillende windrichtingen niet groot meer. Figuur 30 geeft de uitkomst bij de richting NEtN (+ 34°) zonder stroom, in welk geval de grootste golfhoogte in den vaarweg is gemeten (wederom bijna 0,5 m). De metingen in de havenbekkens gaven een iets sterkere deining (ruim 0,2 m) bij -56° met noordgaanden en bij +34° met zuidgaanden stroom.

In S 14 bevindt het oude Zuiderhavenhoofd zich weer op de oude plaats. De situaties 9, 14 en 10 verschillen onderling dus alleen ten aanzien van de mondbreedte (resp. 100, 110 en 125 m). In overeenstemming met de breedten liggen de in S 14 gemeten golfhoogten over het algemeen tusschen die van S 9 en S 10 in. Er zijn echter ook vrij sterke afwijkingen op dezen regel die moeten worden toegeschreven aan toevallige omstandigheden en aan onnauwkeurigheid in instelling en meting. In het bijzonder bij een in den havenmond staanden wind (+ 34°), heeft het nauwer maken van den mond niet steeds verlagen van de golven tengevolge.

In S 14 was de deining in de haven weer het sterkst bij golven uit NwtW met noordgaanden stroom. Dit geval is weergegeven in figuur 31. De grootste gemeten golfhoogte in den vaarweg was, met 0,35 m, hier ruim binnen de gestelde grens van 0,45 m. De golfbeweging in het Dok was wat sterker dan de grens van 0,2 m. Dit was ook het geval bij enkele metingen met golven uit NEtN (+34°).

De sterkere bocht van den Noorderhavendam in S 15 gaf geen vooruitgang. De grootste deining, zoowel in den vaarweg als in het Dok, nam bij golven uit NwtN nog iets toe, de eerste met zuidgaanden stroom tot ruim 0,4 m

(fig. 32), de tweede met noordgaanden stroom tot 0,3 m.

In S 16 is nogmaals een poging gedaan den hinder dien het oude Zuiderhavenhoofd voor de scheepvaart oplevert te verminderen, ditmaal door het 35 m te verkorten.

In deze situatie trad het ongunstigste geval op bij golven uit NEtN (+ 34°) zonder stroom. Het is weergegeven in figuur 33. De golven zijn overal belangrijk groter dan in dezelfde situatie met onverkort hoofd (S 14, fig. 31) in het overeenkomstige geval.

Alleen in het Dok was de golfbeweging sterker dan de grens van 0,2 m, het meest bij zeer ver geruimden wind (+34°). Het was duidelijk te zien dat dit het gevolg was van het terugkaatsen der schuin den havenmond inlopende golven tegen de binnenzijde van den Zuiderhavendam. Om te trachten deze terugkaatsing te verhinderen is allereerst het paalwerk langs dien dam weer aangebracht. Dit bracht eenige verbetering. De hoogste golven in het Dok werden gemeten bij zuidgaanden stroom en waren wat kleiner dan in het geval van figuur 33, echter nog ruim boven 0,2 m. Een geringe verdere verbetering was nog mogelijk door het plaatsen van eenige paaljukken dwars op het binnenbeloop van den Zuiderhavendam. Het resultaat van een aantal globale metingen was dat de golfhoogte in den vaarweg tot 0,3 m kon worden verminderd. Metingen in de havenbekkens zijn hierbij niet gedaan.

Het lijkt mogelijk, dat door het aanbrengen van nog eenige kleine verbeteringen aan S 16 nagenoeg aan de eischen betreffende de deining kan worden voldaan. De proeven zijn echter niet in die richting gegaan, omdat verlenging van den Zuiderhavendam met 75 m door den diepen kuil een kostbare onderneming is. Daarom is bij de volgende proef (S 17) nagegaan of de verlenging van den Zuiderhavendam kon worden gereduceerd tot de helft (37 m), zonder tot een groote versterking van de golfbeweging te leiden.

Het resultaat was, dat de golven uit NWtW weer de sterkste deining in de haven veroorzaakten. Voor den vaarweg en de Nieuwe Willemshaven was het geval zonder stroom (fig. 34) het gevaarlijkst, voor het Dok dat met noordgaanden stroom. De golven waren over de geheelelinie belangrijk hooger dan in S 16.

19. De golfmetingen in plan A (S 18 tot en met S 23).

In dit stadium zijn door de opdrachtgevers de plannen A, B, C en D opgemaakt, die verder tot grondslaggevend ^{van het onderzoek hebben} (par. 11). Het eerste van deze plannen, A, vertoont veel overeenkomst met de situaties 16 en 17; de verlenging van den Zuiderhavendam (met 55 m) ligt tusschen beide in.

De richting NWtN had weer de grootste golfbeweging tengevolge. De golven waren in den vaarweg aanzienlijk lager dan in S 17 en bereikten juist de aangenomen grens (0,45 m). In de havenbekkens waren zij omstreeks 0,3 m, dus te hoog.

Door het aanbrengen van het paalwerk langs de binnenzijde van den Zuiderhavendam (S 19) was het mogelijk het binnendringen der golven uit noordelijke en noordoostelijke richting (-11° en +34°) eenigszins te verminderen. Daar de gevaarlijkste toestand bij storm uit NW aanwezig is, geeft dit echter weinig voordeel.

Toch zijn de resultaten van S 19 van belang, omdat in deze situatie en in S 18 de meest uitgebreide meetseries voorkomen

die alleen verschillen in het feit, dat het paalwerk al dan niet aanwezig is. In paragraaf 16 is dit reeds vermeld; bij de beoordeeling van plan B, waarin uitsluitend is gemeten zonder paalwerk, zal er rekening mee kunnen worden gehouden, dat bij zeer ver geruimden wind het paalwerk de deining verzwakt. Bij een windrichting van $+34^{\circ}$ schijnt de verzwakking omstreeks twintig procent, bij -11° minder dan tien procent te zijn.

In S 19 is niet gemeten met de windrichting -56° , waarbij de hoogste golven in het Dok moeten worden verwacht. De golven kunnen dan in dit havenbassin doordringen, zonder dan zij al te veel van richting behoeven te veranderen. Sinds de landtong tusschen de beide Willems-havens (in S 4) sterk is verkort, komt de sterkste overschrijding van de grenshoogte in het Dok voor en steeds met de windrichting van -56° . Blijkbaar kan de landtong niet worden gemist en daarom is in S 20 de kade tusschen de Nieuwe Willems-haven en het Dok weer in den bestaanden vorm gebracht. De deining was weer het sterkst bij golven uit NwtW. Het ergste geval voor den vaarweg en het Dok (noordgaande stroom) is in figuur 36 in beeld gebracht. Bij vergelijking met S 18 (het feit, dat deze situatie behalve wat de kade betreft verschillend is door afwezigheid van het paalwerk is bij deze golf-richting niet van belang) blijkt alleen vlak voor de kade een eenigszins belangrijk verschil. De verlenging schijnt een plaatselijke versterking van de golfbeweging tengevolge te hebben.

In verband met plannen voor de exploitatie van de haven is in S 21 de kade uitgebreid. De grootste golven zijn in deze situatie weer gemeten bij golven uit NwtW, ditmaal zonder stroom (fig. 37). De meting levert in vaarweg en Nieuwe Willems-haven nagenoeg gelijke waarden als S 18 (fig. 35). De golfbeweging in het Dok was wat zwakker.

In S 22 en S 23 is een wijze van verlengen van den Zuiderhavendam geprobeerd, waarbij de diepe kuil vóór den bestaanden kop wordt vermeden. Zij zijn in dit opzigt voorloopers van plan C (par. 21). In de eerste der beide situaties heeft de kade tusschen de Nieuwe Willems-haven en het Dok den bestaanden vorm; in de tweede is die kade uitgebreid op dezelfde wijze als in S 21.

In beide gevallen zijn de grootste golven gemeten bij golven uit NwtW met noordgaanden stroom (fig. 38 en 39). Opvallend is de sterke invloed van de stroom-richting. De golven zijn, vooral in den vaarweg, belangrijk grooter dan in de voorafgaande situaties.

Tusschen S 22 en S 23 onderling is ten aanzien van den vaarweg hoegenaamd geen verschil. Voor de Nieuwe Willems-haven is er, vooral bij de windrichting van -56° verschil ten gunste van S 23, voor het Dok is het juist andersom. Groot is de invloed van het veranderen van de landtong niet.

Het voornaamste resultaat van de in deze paragraaf beschreven proeven is, dat met een situatie volgens plan A (Par. 11, S 18 tot en met S 21) niet geheel aan de gestelde eischen wordt voldaan. Weliswaar worden zij niet ver overschreden, doch men moet namelijk bedenken, dat er nog geen rekening mee is gehouden, dat bij het aandoen van de haven de schepen noordelijk van den mond de kust dichter moeten naderen dan thans het geval is. Vooral om deze reden zal een tamelijk uitgebreid baggerwerk noodig zijn. De grootere waterdiepte juist buiten de haven zal stellig een sterkere deining veroorzaken, zoodat plan A ten opzichte van de golfbeweging minder gunstig is dan uit de meetcijfers van tabel III blijkt.

20. De golfmetingen in plan B (S 24 tot en met S 32).

Tegen plan A en zijn varianten bestaat uit nautisch oogpunt het bezwaar, dat de voorhaven betrekkelijk kort is, zoodat het noodig is het Oude Zuiderhavenhoofd te verkorten, om een behoorlijken vaarweg voor zeeschepen te verkrijgen. Dit komt aan de rust in de Nieuwe Willemshaven niet ten goede. Bovendien moeten van buiten komende schepen (sleeperen) die naar de nieuwe sluis gaan, een scherpe bocht (straal 100 m) maken, om de nieuwe buitenhaven in te varen.

Bij plan B is aan deze bezwaren tegemoetgekomen, door den Zuiderhavendam veel verder te verlengen. Dit maakt het mogelijk de kop van den nieuwen Noorderhavendam in noordnoordwestelijke richting te verplaatsen. Zodoende wordt een lange voorhaven gevormd, waarin varen met grooten straal mogelijk is, zonder dat het noodig is het Oude Zuiderhavenhoofd in te korten. De kleinste stralen zijn nu 200 m voor de route naar de nieuwe sluis, 250 m voor die naar de thans bestaande havens (par. 3).

De eerste situatie volgens dit plan, S 24, brengt reeds een aanzienlijke vermindering van de deining. Het ongunstigste geval voor den vaarweg en het Dok is in figuur 40 weergegeven; het trad ditmaal op bij golven uit NE richting.

Om dezelfde reden, die aan het slot van paragraaf 18 voor plan A is vermeld, is dit resultaat echter geflatteerd. De zeebodem was niet uitgebaggerd in overeenstemming met de veranderde situatie van den havenmond.

Dit is wel het geval in de uitvoerig onderzochte situatie S 25. Uit de metingen in deze situatie blijkt, dat het op diepte brengen van de toegangseu vergrooing van den golfslag in de haven tengevolge heeft, althans bij golven uit het noordwestelijke kwadrant.

S 25 verschilt van S 24 bovendien door de verbouwing van de kade tusschen Nieuwe Willemshaven en Dok en door het wegemen van de palen langs den Zuiderhavendam, zoodat het niet vaststaat, welk aandeel elke verandering heeft in het versterken van de deining. Het lijkt niet aan twijfel onderhevig, dat de invloed van het baggerwerk buiten de haven het grootst is.

De hoogste deining in den vaarweg en de Nieuwe Willemshaven werd in S 25 gemeten bij golven uit NwtN (-34°) zonder stroom, die in het Dok bij NtE ($+11^{\circ}$) met zuidgaanden stroom. Het eerste geval is weergegeven in figuur 41. De grootste golven in deze situatie zijn boven de aangenomen grenzen.

Bij het vergelijken van de uitkomsten in deze en volgende situaties, moet er rekening mede worden gehouden, dat in S 25

voor het eerst bij elke windrichting de waterstand is ingesteld volgens paragraaf 9. (De metingen in S-1 en S 0 waarbij dit ook is gedaan, zijn in een later stadium van het onderzoek verricht).

Dat de deining vóór en in de Nieuwe Willems haven nog vrij sterk was, moet hieraan worden toegeschreven dat in deze situatie juist voor golven uit ongeveer noordnoordwestelijke richting de Nieuwe Willems haven niet gedekt ligt: men kan een rechte lijn trekken welke van buiten de haven tot in dat bekken reikt en die vrij blijft van de beide havendammen. Bescherming hier tegen kan worden verkregeu door verlengen hetzij van den noordelijken, hetzij van den zuidelijken havendam.

In S 26 is het eerste gedaan, waarbij om de gewenschte mondwijde van 110 m te behouden het uiteinde van den noorderhavendam tevens licht moest worden gebogen.

In deze situatie is slechts een enkele meting gedaan en wel met golven uit NWtN (-34°), de richting welke in S 25 het gevaarlijkst was gebleken. Hoewel het resultaat zeer gunstig was, oordeelden de opdrachtgevers het niet wenschelijk in deze richting verder te gaan, omdat het verlengen van den Noorderhavendam de invaart meer bemoeilijkt dan het verlengen van den Zuiderhavendam.

In S 27 is de laatste in vergelijking met S 25 met 60 m verlengd. Reeds een eerste meting deed zien, dat de deining hierbij ruim binnen de vastgestelde grenzen zou blijven. In de volgende situaties (S 28 tot en met S 31) is daarom de verlenging van den Zuiderhavendam trapsgewijs verminderd. Voor het bepalen van den lengte welke tenminste moet worden toegepast, is maatgevend de hoogte der golven in de Nieuwe Willems haven bij richtingen tusschen NWtN en NNW. Voor verder geruimden wind heeft de lengte van den dam geen invloed op de golfhoogte in de Nieuwe Willems haven: die is steeds ongeveer een decimeter, dus klein genoeg.

In figuur 42 is de golfhoogte bij NNW wind in de Nieuwe Willems haven uitgezet als functie van de lengte van den Zuiderhavendam. Het blijkt dat de grens - een deining van 0,2 m - juist was bereikt in S 31, met een verlenging van 243 m.

Om een eenigszins grootere veiligheid te verkrijgen is als definitieve vorm van plan B door de opdrachtgevers gekozen de situatie 32, met een verlenging van 250 m. Deze situatie is nogmaals uitvoerig doorgemeten, waarbij de grootste golfhoogten zijn gevonden: in den vaarweg bij de golfrichting NtE ($+11^{\circ}$) zonder stroom (fig. 43), in het Dok bij dezelfde richting met zuidgaanden stroom (fig. 44) en in de Nieuwe Willems haven bij de richting NWtN (-34°), eveneens met zuidgaanden stroom (fig. 45). Zoowel in den vaarweg met 0,38 m als in de Nieuwe Willems haven met

0,18m olijft de grootste deining beneden de aangenomen grens. Alleen in het Dok wordt de grens van 0,2 m door de in figuur 44 aangegeven golfhoogte van 0,24 m overschreden.

Waarschijnlijk kan deze overschrijding worden voorkomen door het paalwerk aan de binnenzijde van de Zuiderhavendam te laten staan, of het uit te breiden in de richting van den nieuwen kop. De overschrijding komt namelijk alleen voor bij golven uit NtE (+11°); het is vrij zeker dat deze golven van den dam worden teruggekaatst naar het Dok, waar zij de betrekkelijk groote onrust veroorzaken. Op grond van de beschikbare metingen, vooral die in S 18 en S 19 (par. 18), kan men concluderen, dat een uitgebreid paalwerk een reductie zal geven aan de golfhoogte in het Dok.

Brengt men ook de in paragraaf 9 besproken correctie voor de golfperiode in rekening, dan komt men tot de uitspraak, dat plan B volgens S 32 volledig voldoet aan de in paragraaf 3 genoemde eischen.

21. De golfmetingen in plan C (S 33, S 34 en S 35).

De uitvoering van plan B zal kostbaar zijn, vooral omdat de verlenging van den Zuiderhavendam moet worden getraceerd door de diepe kuil die de getijstroomen sinds 1911 in den zeebodem hebben uitgeschuurd. Deze kuil wordt, zooals in paragraaf 11 reeds is gezegd, vermeden in plan C, waar het nieuwe damgedeelte een hoek maakt van 45° met den bestaanden dam en niet ^{aan} den kop hiervan, maar 40 m verder binnenwaarts, begint.

De eerste onderzochte situatie in dezen zin was S 33. Er zijn alleen metingen gedaan met golven uit de richting NtN (+34°), naar welke de havenmond in die situatie is gekeerd. De deining was overal het sterkst bij zuidgaanden stroom.

Het resultaat van deze meting is gegeven in figuur 46; de golven ^{blijven} overal ruim binnen de aangenomen grenzen.

Dit resultaat mag niet rechtstreeks worden vergeleken met dat van plan B. Evenals in plan A het geval was, is in plan C het paalwerk aanwezig; ook is de zeebodem buiten den havenmond niet verdiept.

Het bezwaar van de korte voorhaven dat plan A aankleeft, geldt ook voor plan C. Daarom is ook hier het Oude Zuiderhavenhoofd met 35 m verkort: zoo ontstaat S 34, waarin uitgebreider waarnemingen zijn gedaan dan in S 33. Het gevolg van het verbeteren van den invaart is, dat ook de deining gemakkelijker binnendringt, zooals blijkt bij vergelijking in tabel III van de overeenkomstige metingen in S 33 en S 34. De grootste overschrijding van de vastgestelde grenzen is gemeten in de Nieuwe Willems-haven bij golven uit NtW (-11°) met noordgaanden stroom. Dit geval is weergegeven in figuur 47.

In S 35 is de landtong tusschen de beide Willems-havens weer gebracht in den voor de toekomst gedachten vorm. Veel invloed op de golfhoogten kan dit niet hebben (par. 19, S 22 en S 23). Het verschil tusschen de uitkomsten in S 34 en S 35 moet dus in hoofdzaak worden veroorzaakt door het feit, dat in S 35 aan de binnenzijde van den Zuiderhavendam paaljukken zijn aangebracht. Deze hebben ten doel het terugkaatsen van uit het noordoostelijke kwadrant komende golven te verhinderen op over-

eenkomstige wijze als in S 16. Uit de vergelijking van de metingen met golven uit NETN (+34°) blijkt dat de jukken inderdaad een gunstige uitwerking hebben, zoodat bij die golfrichting de deining binnen de gestelde grenzen blijft.

De golven uit het noordwestelijke kwadrant dringen echter in belangrijk sterkere mate in de haven door dan die uit het noordoostelijke. Voor de eerstgenoemde zijn de paaljukken niet van nut; zij kunnen echter ook geen ongunstigen invloed uitoefenen. Dat bij de golven uit NWTW (-56°) een sterkere deining in de haven is gemeten dan in S 34, zal dan ook moeten worden toegeschreven aan de omstandigheid dat in S 35 bij die richting een hooger waterstand is toegepast. De verbouwing van de kade tusschen Nieuwe Willems haven en Dok heeft wellicht toch ook nog een geringen invloed.

De grootste deining is gemeten met golven uit NWTN (-34°). Het ongunstigste geval voor den vaarweg trad op zonder stroom, dat voor het Dok bij noordgaanden stroom. De grootste golfbeweging in de Nieuwe Willems haven bereikte in beide gevallen hetzelfde bedrag.

In den vaarweg en de Nieuwe Willems haven gingen de gemeten golven ver boven de aangenomen grenzen uit. Dit valt niet te verwonderen, daar in deze situatie in nog mindere mate dan in S 25 de Nieuwe Willems haven tegen golven uit noord-noordwestelijke richting gedekt ligt.

Evenals bij plan B, zou dit euvel kunnen worden verholpen door verlengen hetzij van den Noorder-, hetzij van den Zuiderhavendam. Het eerste zou de invaart in vrij sterke mate bemoeilijken. Met het verder verlengen van den Zuiderhavendam zou om een voldoende verlagening van de deining te verkrijgen, vrij ver moeten worden gegaan. De uitvoering zou dan belangrijk duurder worden, waardoor het voordeel van plan C tegenover plan B geheel of grootendeels verloren zou gaan, terwijl anderzijds uit scheepvaartpunt aan plan B de voorkeur moet worden gegeven. In overleg met de opdrachtgevers zijn derhalve geen verdere proeven volgens plan C uitgevoerd.

Wel zijn in S 35 eenige proeven gedaan met afwijkende golfperioden, om een indruk te krijgen van den invloed daarvan op het doordringen der golven. Deze metingen hadden plaats met golven uit NETN (+34°) bij de drie verschillende stroomtoestanden. Hun resultaten wijzen uit, dat golven van langere periode in sterkere mate de haven binnendringen dan kortere. Wanneer de grootste gemeten golfhoogte met de periode 4 sec als eenheid wordt genomen, dan zijn de gemiddelden der hoogste waarden in den vaarweg, Nieuwe Willems haven en Dok met de periode 5,4 sec respectievelijk, 1,18 - 1,45 en 1,82, die bij de periode 6,7 sec resp. 1,87 - 1,7 en 1,97. Het algemeen gemiddelde der verhoudingsgetallen is, wanneer in rekening wordt gebracht dat grootere golven relatief nauwkeuriger worden gemeten dan kleinere en dus meer gewicht moeten krijgen, voor de periode 5,4 sec 1,35, voor

6,7 sec 1,8.

In paragraaf 9 is vermeld, welke correcties op grond van deze waarnemingen eigenlijk aan alle in de haven gemeten golfhoogten moeten worden aangebracht.

22. De golfmetingen in plan D (S 36, S 37 en S 38).

In plan D wordt in den nieuwen Noorderhavendam een deel van den bestaanden opgenomen. De havenmond blijft daardoor op de oude plaats, doch wordt verwijd tot 100 m. Daar het nieuwe deel van den Noorderhavendam op het binnendringen der golven slechts een zeer geringen invloed kan hebben, is dit in de drie op plan D betrekking hebbende situaties niet nagemaakt.

In S 36 zijn alleen metingen gedaan met golven uit de richtingen NWTW (-56°) en NETN ($+34^{\circ}$). Van de gemeten gevallen was dat met de eerstgenoemde richting zonder stroom het ongunstigst, zonder dat de golven echter de vastgestelde grenzen bereikten. Het is weergegeven in figuur 50.

In S 37, waarin het Oude Zuiderhavenhoofd is verkort, zijn eveneens slechts enkele metingen gedaan. De sterkste deining in den vaarweg is gemeten met golven uit NETN ($+34^{\circ}$), die in de havenbekkens met golven uit NWTN (-56°). De getallen zijn allen wat hooger dan in S 36, maar blijven aanvaardbaar.

In S 38 zijn de steigers aan de zuidwestzijde van de Nieuwe Willemshaven dichtgemaakt. Dit blijkt bij de enkele meting die gedaan is, weinig verschil te maken. Het resultaat is weergegeven in figuur 50.

De conclusie is, dat plan D uit het oogpunt van de deining een alleszins aanvaardbare situatie oplevert.

23. Uit de golfmetingen te trekken conclusies.

Overziet men de uitkomsten van de in de paragrafen 13 tot en met 22 besproken metingen, dan komt men tot het inzicht, dat de tegenwoordige, ten aanzien van de golfbeweging zoo gunstige toestand vooral te danken is aan drie omstandigheden. In de eerste plaats is dit de richting van den havenmond, die alleen open ligt op het Noorden en het Oosten. Van die zijde kunnen geen hoge en lange golven komen, vooral omdat stormwind uit die richting minder sterk is dan een even vaak voorkomende westelijke storm.

De tweede factor is de geringe wijidte van den havenmond. Voor de scheepvaart is dat een bezwaar, doch voor de golven is de nauwe opening bij den kop van den Middenhavendam (thans nog Noorderhavendam) een hindernis van beteekenis.

Dat is ook het Oude Zuiderhavenhoofd, het restant van den havenmond van vóór 1911. Dit belet hoofdzakelijk het doordringen van de golven in de richting van de Nieuwe Willemshaven en wel in zoo sterke mate, dat de in verschillende stadia van het onderzoek ondernomen pogingen om dezen sta-in-den-weg voor de scheepvaart te verwijderen, althans te verkorten, telkens zijn opgegeven. Bij het plan B, dat als het beste wordt beschouwd, is het hoofd dan ook in zijn geheel aanwezig.

De steiger van de Terschellinger postboot heeft eenzelfde invloed. Hij kaatst de golven terug, zoodat aan de noordwestzijde hogere, aan den zuidoostkant lagere golven voorkomen dan bij afwezigheid van den steiger het geval is. De invloed is echter niet zoo groot, dat de steiger, die het verkeer aan de kade

bemoeilijkt, moest worden gehandhaafd.

Er is getracht een dergelijke werking te bereiken, door de drie open steigers die in de Nieuwe Willemshaven loodrecht op den Zuiderhavendam staan, dicht te maken. Dit heeft echter geen duidelijk resultaat gehad. Vermoedelijk is de deining aan deze zijde van het havenbekken minder groot dan aan de zijde van de kademuur, zoodat hindernissen er minder uitwerking kunnen hebben. Op de golven die bij noordwestenwind in de haven zelf ontstaan zullen dergelijke dichte schermen waarschijnlijk wel een dempende werking hebben.

Eenigszins onverwacht is de duidelijke invloed van de palen van de steigers langs de binnenzijde van den Zuiderhavendam. Op dezen invloed is al eerder gewezen. Blijkbaar wordt van een schuin op een dam aanlopende golf een kleiner gedeelte teruggekaatst, wanneer het beloop met palen is bezet, dan wanneer dat niet het geval is (par. 15). Het zou de moeite waard zijn, systematische metingen te doen omtrent de mate waarin de, op een talud aanlopende, golven worden teruggekaatst. Dat die terugkaatsing belangrijk kan zijn, volgt ook uit de hooge golven die buiten de haven worden aangetroffen. Zij moeten ontstaan door interferentie van de aankomende golven met de teruggekaatste (par. 13).

In verband hiermede staat ook de werking van zeer flauw hellende onderwaterbeloopen, zooals die in S 4 en alle volgende situaties zijn aangebracht in den hoek tusschen den Zuiderhavendam en het Oude Zuiderhavenhoofd. Daar S 4 van de proeven zonder dit flauwe beloop ook in andere opzichten sterk verschilt, kan door de metingen niet worden uitgemaakt, hoe groot de invloed van het "strand" is. Men kan er echter vrij zeker van zijn, dat het terugkaatsen van de, betrekkelijk korte, golven uit dien hoek zonder de aanwezigheid van het flauwe beloop sterker zou zijn geweest, dan thans het geval is. Uiteraard neemt de werking van een dergelijke maatregel af, naarmate hij wordt getroffen in een gebied waar de golven lager worden.

Omtrent het traceeren van havendammen bestaat een oude regel, dat de golfbeweging in de haven sterk blijft, zoolang de koppen van de dammen elkander niet dekken, m.a.w. zoolang uit zee naar de haven een rechte lijn kan worden getrokken, die geen der havendammen snijdt. Dit is gegrond op de stilzwijgende aanname dat de golf rechtuit loopt zonder zijdelings veel energie af te geven, zoodat een deel van de golf de haven kan binnendringen, zoolang er licht tusschen de dammen is. Is dit niet meer het geval, dan zou de golf niet meer kunnen binnenkomen en de haven dus plotseling veel rustiger worden. De moderne opvatting over voortplanten van golven, met de vele verschijnselen van terugkaatsen, interfereeren, breken, afbuigen en dempen, beschouwt de oude redeneering terecht als te simplistisch. Desondanks zal zij soms in groote trekken opgaan; ook bij de haven van Harlingen blijkt dit het geval te zijn.

Men mag hieruit echter niet afleiden, dat een haven

steeds onrustig is, als de koppen van de dammen elkander niet dekken en zeker, dat in een haven nimmer hinder van de deining wordt ondervonden, wanneer dit wel het geval is. Van het laatste zijn trouwens verscheidene voorbeelden aanwezig.

Behalve de bestaande toestand, S 0, zijn er verscheidene situaties waarbij de gemeten golfhooften niet of nauwelijks groter zijn dan de grenswaarde (tabel III). Dit zijn S 8, S 9, S 14 en S 15 van het voorloopige onderzoek; S 20 volgens plan A; S 24, S 26 tot en met S 32 van plan B; S 33 volgens plan C en alle drie de situaties volgens plan D, namelijk S 36, S 37 en S 38.

Van deze situaties moeten er verscheidene worden afgevoerd, omdat het meetprogramma niet volledig is verricht, zoodat het mogelijk is, soms zelfs waarschijnlijk of zeker, dat het meest ongunstige geval niet is gemeten. Voor andere situaties zijn de meetcijfers geflatteerd, omdat daarin de zeebodem buiten den mond niet was verdiept; dit zijn S 20 en S 33, die zeker boven de grens zouden zijn gekomen, wanneer ook daar was gebaggerd tot N.A.P. - 5,4 m. De plannen A en C voldoen dus niet aan de eischen. Er blijven dan tenslotte over: S 0, S 8, waarschijnlijk S 26, voorts S 27 tot en met S 30, S 32 en de drie situaties van plan D. Hiervan heeft S 8 een te nauwen mond en wordt S 26 niet aanvaard wegens de situatie van den kop van den Noorderhavendam (par. 19). De overige situaties van plan B vormen een serie, waaruit S 32 is gekozen, omdat hierbij nog juist aan de eischen wordt voldaan, zonder dat overbodig werk wordt gemaakt. Wanneer de in paragraaf 9 bedoelde correcties worden aangebracht, verandert deze conclusie niet. Deze situatie moet dus worden aanbevolen, althans uit het oogpunt van in- en uitvaren en van deining.

De uitkomsten voor plan D toonen aan, dat ten opzichte van den tegenwoordigen toestand de zeebodem buiten den havenmond kan worden verdiept, de mond zelf verwijd tot 100 m, het oude Zuiderhavenhoofd verkort met 35 m en nog enkele wijzigingen worden aangebracht, zonder dat de deining zoo veel toeneemt, dat de toestand ontoelaatbaar wordt.

24. De in de haven zelf opgewekte golven.

Behalve met de van buiten komende deining, moet worden rekening gehouden met de in de haven zelf door den wind opgewekte golven. Op twee plaatsen kunnen deze van belang worden, nl. achter in de Nieuwe Willems haven en vóór de nieuwe sluis. In beide gevallen is de grootst mogelijk strijklengte iets meer dan één kilometer (beschouwd is S 32; de onderlinge verschillen tusschen de situaties zijn in dit opzicht echter niet groot). In de Nieuwe Willems haven wordt deze bereikt bij storm uit NWtN (-34°); de windrichting mag slechts binnen een sector van ruim 10 graden varieeren. Voor de van buiten komende golven zijn in paragraaf 9 de windsterkten met de frequentie van $5 \cdot 10^{-5}$ per sector van $22\frac{1}{2}^{\circ}$ ten grondslag gelegd. Om hiermede in overeenstemming te zijn moet thans in figuur 4 bij de richting NWtN de windsnelheid met tweemaal zoo groote frequentie, dus 10^{-4} , worden opgezocht. Deze snelheid, 19 m/sec, is, uit den nauwen in aanmerking komenden sector, even vaak te verwachten als de snelheid van $21\frac{1}{2}$ m/sec (met frequentie $5 \cdot 10^{-5}$) uit den sector van $22\frac{1}{2}^{\circ}$ en is dus gelijkwaardig met het aangenomen geval van enkele

uren per jaar.

Om groote golven te verkrijgen vóór de nieuwe sluis, moet de windrichting ongeveer WSW (-112°) zijn; de richting kan hier over een sector van ruim 20 graden varieeren. Voor deze golven moet dus, om in overeenstemming te blijven met de golven van buiten, de windsnelheid met de frequentie $5 \cdot 10^{-5}$ per sector van $22\frac{1}{2}^{\circ}$ als grondslag worden genomen. Dit is volgens figuur 4 eveneens een snelheid van 19 m/sec op 6 m hoogte.

De golven die op grond van de aanwezige gegevens bij die windsnelheid na een strijklengte van ruim een kilometer kunnen worden verwacht, zijn ongeveer 8 m lang en 0,5 m hoog; zij hebben een periode van $2\frac{1}{4}$ sec. Deze hoogte betekent een belangrijke overschrijding van de voor de havenbekkens aangenomen grens van 0,2 m.

In de bestaande situatie is de strijklengte wat kleiner, namelijk ongeveer 800 m. Op de grootte van de golven volgens de berekening maakt dit echter slechts weinig verschil. Toch is, zooals in paragraaf 3 is medegedeeld, in den huidige toestand nimmer hinder van den golfslag ondervonden. De verklaring hiervan is waarschijnlijk tweeledig.

In de eerste plaats is bij het berekenen van de ontwikkeling der golven een wijde watervlakte verondersteld. In de bedoelde havenbekkens is deze veronderstelling niet vervuld. Door de aanwezigheid der oevers, steigers en schepen worden zoowel de wind als de golven geremd. Het is dus zeer waarschijnlijk, dat bij de aangenomen windkracht de werkelijk opgetreden golven vrij veel kleiner zijn gebleven dan zonder die storingen is berekend.

In de tweede plaats mag men aannemen dat de plaatselijke golven, welke een aanzienlijk kleinere periode hebben dan de van buiten komende, uit dien hoofde voor de schepen veel minder hinder geven. De eigen slingertijd van de meeste in de haven verkeerende schepen is in de buurt van 4 seconden. Er is dus met golven met die periode resonantie. Dit is in veel mindere mate het geval met de kortere golven, die de schepen dus veel minder in beweging zullen brengen. De golven zijn nog niet zoo hoog, dat zij over de luikhoofden van diepgeladen binnenschepen kunnen heenspoelen, wanneer die schepen zelf nauwelijks bewegen.

In de nieuwe situatie zullen de golven in de Nieuwe Willemshaven iets grooter (zoowel in hoogte als lengte, dus ook in periode) kunnen worden dan thans, eensdeels tengevolge van het toenemen van de strijklengte, andersdeels van het wegnemen van den steiger van de Terschellingert boot.

De golven vóór de nieuwe sluis zullen eveneens grooter zijn dan thans in de Nieuwe Willemshaven. Ook hier is de strijklengte grooter en de ontwikkeling der golven wordt minder geremd door zijdelingsche belemmeringen. Vermoedelijk zullen deze golven nog weinig hinder veroorzaken, ofschoon het niet uitgesloten is dat het manoeuvreeren bij de nieuwe sluis eenigermate zal worden belemmerd. Wanneer dit het geval is, kan worden getracht, door het

uitbouwen van steigers met dichte wanden, de in de haven zelf opgewekte golven te verkleinen. De situatie van den havenmond en omgeving, die het voorwerp van onderzoek bij de proeven is, heeft op deze golven geen invloed.

25. De stroommetingen.

Het resultaat der stroommetingen in het model van de bestaande situatie (S 0) is weergegeven in figuur 51. Zij beslaan de omgeving van den havenmond.

Bij noordgaand tij zijn de snelheden vóór en in den havenmond zeer gering. Er kan dan slechts zeer weinig water in de haven binnendringen.

Bij zuidgaand tij is er eenige circulatie in den havenmond, waarbij naar binnen gaande snelheden van ruim 0,2 m/sec zijn waargenomen.

Geheel andere stroombeelden zijn waargenomen in S 3 (fig. 52). In het bijzonder bij zuidgaand tij trad in de voorhaven een vrij sterke rondgaande strooming op. Dieper in de haven was echter, evenals bij noordgaand tij, weinig stroom waar te nemen.

In S 5 is uitsluitend een meting gedaan met noordgaanden stroom. Ook in dit geval was een neer in de voorhaven aanwezig, zonder dat een sterke uitwisseling met de havenbekkens optrad.

Figuur 54 toont de resultaten der stroommetingen in S 22. Hierbij is vooral aandacht gewijd aan de stroomverdeling in zee en aan den stroom langs den nieuwen kop van den Zuiderhavendam, met het oog op de verdediging daarvan tegen uitschuring.

Zoals uit figuur 54 blijkt, wordt de kop alleen door den stroom aangevallen bij zuidgaand tij. De gemeten stroomsnelheden zijn van dezelfde orde van grootte als die welke thans langs den bestaanden kop voorkomen (fig. 51).

Ook bij metingen in S 24 en S 25 (fig. 55) is voornamelijk de stroomingstoestand vóór den havenmond en langs de dammen beschouwd. Ook in deze situaties (waarin het trace der dammen hetzelfde is) wordt de nieuwe kop van den Zuiderhavendam bij zuidgaand tij aan vrij sterke stroomen blootgesteld.

Bij de stroommetingen in S 32 (plan B) is rekening gehouden met de stroomen in en uit de haven tengevolge van het rijzen en dalen van den waterstand, doordat tijdens de metingen met zuidgaand tij water achter in de haven is toegevoerd (nabootsing van den uittrekkenden stroom bij vallenden waterstand), tijdens die met noordgaand tij water is onttrokken (nabootsing van den intrekkenden stroom bij rijzenden waterstand).

De resultaten der metingen zijn weergegeven in figuur 56. Bij zuidgaand tij met vallend water trekt uit de haven een vrij regelmatige stroom, welke in den havenmond langs den Zuiderhavendam wordt geconcentreerd. Wellicht ook tengevolge van dezen uitgaanden stroom, waren de snelheden langs de kop van den Zuiderhavendam minder groot dan in S 25 (fig. 55).

Bij noordgaand tij zijn slechts zeer zwakke intrekkende stroomen waargenomen.

De in S 35 (plan C) waargenomen stroombeelden zijn weergegeven in figuur 57. In deze situatie traden bij zuidgaand tij vrij groote stroomsnelheden op langs den nieuwen kop van den Zuiderhavendam.

Uit de stroommetingen moeten conclusies worden afgeleid ten aanzien van de navigatie van in- en uitvarende schepen, de verdieping van den zeebodem ten westen van de haven en dendaaruit voortvloeienden aanval op den Zuiderhavendam en tenslotte de in de haven te verwachten aanslibbing.

De aanbevolen situatie (S 32, fig. 56) moet daarbij worden vergeleken met den bestaanden toestand (S 0, fig. 50).

De binnenkomende schepen moeten ten noorden van de haven opdraaien. Tijdens noordgaand tij kunnen zij dit doen buiten den hoofdstroom; dit is in S 32 eveneens mogelijk. De praktijk leert, dat men meestal niet zoo ver oostwaarts gaat, dat het schip uit den hoofdstroom is: veel last veroorzaakt deze dus niet. In S 32 zullen op het overeenkomstige punt wel wat sterkere stroomen dan thans worden aangetroffen, doch het verschil zal niet zoo groot zijn, dat het merkbaar is.

Bij zuidgaand tij loopt er tot dicht onder den Noorderhavendam in beide situaties een naar het WSW gerichten stroom met een snelheid van maximaal een mijl (0,52 m/sec). Hier is S 32 lichtelijk in het voordeel.

In den havenmond zelf is de stroom noch in S 0, noch in S 32 van eenige beteekenis.

Ten aanzien van het eerste punt kan S 32 dus worden aanvaard.

Na 1911 heeft de stroom geleidelijk een kuil gevormd buiten den kop van den Zuiderhavendam (fig. 58). Vermoedelijk hebben zoowel de noordgaande als de zuidgaande stroom daaraan bijgedragen. Beide worden door den kop sterk afgeleid, waardoor de wervelgebieden ontstaan die de ontgroning in de hand werken.

Op de peilkaarten die in het bezit zijn van het Arrondissement Leeuwarden van den Rijkswaterstaat, is te zien, dat de kuil zich in den kleibodem slechts langzaam heeft uitgebreid. Het is echter waarschijnlijk, dat thans de onderkant van de kleilaag is bereikt en dit zou het gevolg kunnen hebben, dat de verdieping in de toekomst sneller zal gaan. Geheel afgezien van de uitbreidingsplannen is het dus mogelijk, dat maatregelen moeten worden genomen om de stroomen te verzwakken. Dit zou kunnen geschieden door het oostelijk gedeelte van den Pollendam in te korten, bijvoorbeeld over een lengte van 200 meter. Dit is thans mogelijk zonder gevaar voor verzanding van het vaarwater daar ter plaatse en het zou den nauwen doorgang voor de stroomen tusschen den havenmond en den Pollendam verruimen.

In plan B wordt de toestand in dit opzicht zeker niet slechter. Wel wordt de doorgang nog iets nauwer, doch daar staat tegenover, dat de noordgaande stroom veel beter wordt geleid dan thans (fig. 56b). Tijdens de periode dat de stroom deze richting heeft, zal de bodem dus niet sterk worden aangetast.

Dat is nog wel het geval tijdens zuidgaand tij: dan zijn er weer sterke wervels, die uitgaan van den kop van

den dam (fig. 56a). Toch lijkt ook hier het stroombeeld niet slechter dan in S 0 en men komt dus tot de conclusie, dat S 32 ook ten aanzien van de ontgroning geen bezwaren zal meebrengen.

Deze conclusie geldt ook voor de aanslibbing van de havenbekkens. Deze zou noodeloos groot worden, wanneer in den havenmond een zoo sterke neer optreedt, dat er meer water wordt uitgewisseld tusschen zee en haven, dan overmijdelijk is door het vullen van de haven tijdens rijzend en het ledigen bij vallend water. Een dergelijke neer ontbreekt tijdens noordgaand tij (dus grootendeels tijdens het rijzen van den waterspiegel) en is bij zuidgaand tij (fig. 56a) zoo zwak, dat de extra naar binnen komende hoeveelheid slib niet van groote beteekenis is.

Dat wil echter niet zeggen, dat het onderhoudsbaggerwerk niet zal toenemen. Door het vergrooten van het oppervlak van de haven (van $0,22 \times 10^6 \text{ m}^2$ tot $0,48 \times 10^6 \text{ m}^2$) moet tusschen laagwater en hoogwater veel meer water uit zee de haven binnenkomen dan thans het geval is. Er zal dus ook veel meer slib worden binnengebracht, dat zich voor een groot gedeelte in de voorhaven zal neerzetten.

De aanslibbing zal ook sterk worden vergroot, wanneer met de nieuwe sluis veelvuldig wordt gespuid. Het zoete binnenwater vermengt zich onvolkomen met het zoutere water in de haven. Dientengevolge ontstaat brak water met een betrekkelijk lage dichtheid, dat over het zwaardere water heen naar zee stroomt. Deze stroom is veel sterker dan de spuistroom en moet dus worden gecompenseerd door een uit zee komende strooming van zouter en dus zwaarder water, dat zich dicht over den bodem beweegt. Deze compenseerende bodemstroom (ondervloed) brengt uiteraard veel slib mede.

Het is niet mogelijk om een enigszins nauwkeurige berekening te maken van de hoeveelheden die jaarlijks moeten worden gebaggerd. De omstandigheden zijn daarvoor te slecht bekend en wisselen veel te sterk. Het volgende is een uiterst globale schatting, die nauwelijks aanspraak kan maken op het goed aangeven van de orde van grootte. Daarbij is ondersteld, dat, zoowel in S 0 als in S 32 evenveel slib wordt neergezet, als door den "theoretischen vulstroom" wordt binnengebracht. Het slib dat tijdens vallend water de haven verlaat, zou dan evenveel zijn als dat, hetwelk door de "uitwisseling" wordt binnengebracht.

S 0. Oppervlakte van de haven $0 = 0,22 \times 10^6 \text{ m}^2$
Tijverschil (na afsluiting van de
Zuiderzee) $1,75 \text{ m}$
Binnenkomende hoeveelheid water $Q = 706 \times 1,75 \times 0,22 \times 10^6 = 270 \times 10^6 \text{ m}^3$
Slibgehalte $0,05 \text{ kg/m}^3$, dus binnenkomende hoeveelheid slib
 $S = 13,5 \times 10^6 \text{ kg}$. Aannemende dat het neergeslagen slib ^{ongeveer} 600
 kg vaste stof per m^3 bevat, is dit tusschen 20000 en 25000
 m^3 per jaar.

Wordt aangenomen dat $150 \times 10^6 \text{ m}^3$ per jaar wordt gespuid (par. 2) en dat de compenseerende onderstroom tweemaal zoo sterk is als de spuistroom zelf, dan stroomt tengevolge van het spuien jaarlijks 300 miljoen m^3 water de haven binnen. Dit bodemwater bevat meer slib dan het gemiddelde, stel $0,1 \text{ kg/m}^3$, zoodat het jaarlijksche slibbezwaar $30 \times 10^6 \text{ kg}$, of 50000 m^3 slib zou zijn.

Het totale slibbezwaar is dan 20000 à $25000 + 50000 = 70000$ à 75000 m^3 , wat behoorlijk overeenkomt met de in paragraaf 2 ge-

noemde hoeveelheid van 80000 m³ per jaar.

Wanneer deze verdeling juist is, moet het spuien verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de aanslibbing. Een hoeveelheid van 1000 m³ slib zou in de haven worden gebracht telkens na het spuien van drie miljoen kubieke meter water.

Na de uitbreiding neemt de aanslibbing tengevolge van den vulstroom toe evenredig aan het oppervlak van de haven. Men komt dus op 22500 x 0,48:0,22, of rond 50000 m³. Wordt het spuien eveneens versterkt, bijvoorbeeld tot 250 x 10⁶ m³ per jaar, dan stijgt de hoeveelheid "spuislib" tot ruim 80000 m³ en het totaal dus tot omstreeks 130000 m³ per jaar.

In hoeverre de buiten de haven te baggeren hoeveelheid zal toenemen, is in het geheel niet te zeggen.

26. De haling.

In situatie 1 is de haling gemeten achter in de Nieuwe Willemshaven, zoowel bij noordgaanden als bij zuidgaanden stroom. In het eerste geval was alleen een onregelmatige beweging van den waterstand van niet meer dan 0,02 tot 0,03 m in de werkelijkheid waar te nemen. Bij zuidgaanden stroom echter ontstond een regelmatige schommeling met een vrijwel constante periode en amplitudo. In figuur 59 is het waargenomen verloop over een tijdvak van ruim 300 sec (45 minuten in werkelijkheid) weergegeven. Hieruit blijkt, dat de amplitudo (hoogteverschil tusschen hoogsten en laagsten stand) en de periode van de schommeling overeenkwamen met 0,26 m en 11 min 40 sec. Een dergelijke haling kan met een wisselenden stroom in den havenmond van de orde van grootte van 100 m³/sec, met gemiddelde snelheden tot 0,3 m/sec, gepaard gaan en zou dus een belangrijke factor zijn bij de uitwisseling tusschen het buitenwater en de haven en daardoor bij de aanslibbing. Ook al houdt men er rekening mede, dat slechts gedurende een deel van den tijd een haling van de gemeten sterkte optreedt, dan is daarvan toch het gevolg een uitwisseling van dezelfde orde van grootte als wordt veroorzaakt door de getijbeweging (product van havenoppervlak en tijverschil):

De haling is eveneens gemeten in S 32, zoowel achter in de Nieuwe Willemshaven als in de voorhaven van de nieuwe sluis. Zooals uit figuur 58 blijkt, heeft de meting in geen der beide bekkens een regelmatige schommeling opgeleverd. Zoo er al van een haling kan worden gesproken, is deze in elk geval veel kleiner dan in S 1. De uiterste waterstanden verschillen in beide bekkens minder dan een decimeter.

Door het ontbreken van metingen in S 0 is een rechtstreeksche vergelijking met de bestaande situatie niet mogelijk. De meting in S 1 doet vermoeden, dat ook in het model volgens S 0 een haling zal kunnen optreden, zij het misschien in minder sterke mate dan in S 1, waar het Oude Zuiderhavenhoofd was weggenomen.

De diagrammen van de registreerende peilschaal te Harlingen, die achter in de Nieuwe Willemshaven staat, toonen aan, dat er bij rustig weer in de haven geen meetbare haling optreedt. Op ruwe dagen komt veelvuldig een vrij regelmatige slingering voor, die eenige uren kan aanhouden en een amplitudo heeft die zelden grooter wordt dan een decimeter. Slechts een enkele maal is de haling zoo sterk, dat de rijzing van laagwater naar hoogwater, of de daling van hoog- naar laagwater, wordt onderbroken door korte tijden van daling, resp. rijzing. Extra uitwisseling van water en dus vergrooting van slibbezwaar vindt dus weinig plaats.

De periode hangt af van den waterstand: bij laagwater is de slingering langzamer dan bij hoogwater. Uit de peilschaaldiagrammen van 1942 blijkt, dat de periode ongeveer als volgt met den waterstand verloopt:

waterstand	-1 m	$-\frac{1}{2}$ m	N.A.P.	$+\frac{1}{2}$ m	+1 m	$+1\frac{1}{2}$ m	+2 m	$+2\frac{1}{2}$ m
periode	23	20	18	16	$14\frac{1}{2}$	13	12	11 min

De waarnemingen liggen uiteraard gestrooid om de lijn die dit verband aangeeft met een grootste afwijking van 4 minuten.

Bij den stand waarin de modelmetingen zijn gedaan (N.A.P. + 2m) is de periode in de haven nagenoeg gelijk aan de in model S 1 gemetene. In dat opzicht is er dus overeenstemming. Alleen is in de werkelijkheid de haling veel zwakker dan in model S 1. In hoeverre dit verschil ligt aan den overgang werkelijkheid - model, of aan die van S 0 naar S 1, is niet uit te maken; vermoedelijk aan beide, maar vooral aan de eerste. De ervaring met andere modellen leert namelijk, dat in een model eerder haling ontstaat dan in het prototype. Het omgekeerde is nimmer waargenomen.

Men mag dan ook verwachten, dat in de haven, na verbouwen volgens plan B, de haling nog zwakker zal zijn, dan overeenkomt met de modelmetingen in S 32, waar het verschijnsel reeds van weinig belang was.

De waarnemingen in de haven zelf en in het model in verband met elkander beschouwd, leiden met practisch volledige zekerheid tot de conclusie, dat na verbouwing tot plan B in de haven geen haling zal optreden in een dergelijke mate, dat de aanslibbing erdoor kan worden bevorderd.

Van theoretisch belang is een verklaring van den oorzaak van het verschijnsel. Deze moet worden gezocht in resonantie van de havenbekkens met toevallige buiten optredende storingen. De eigen slingertijd van de haven, of deelen daarvan, moet daarom in de periode van de haling tot uitdrukking komen. Uit het verloop van de te Harlingen optredende periode met den waterstand zou men kunnen opmaken dat de gemiddelde hoogteligging van de slingerende gebieden omstreeks N.A.P. - 2 meter is en dat hun lengte tusschen 1100 en 1200 meter zou liggen.

De bodemligging is hooger, de lengte grooter dan uit de situatie zou volgen, al is het verschil niet zeer groot. De verklaring is dus niet geheel en al bevredigend.