



RIJKSUNIVERSITEIT TE GENT
FAKULTEIT VAN DE TOEGEPASTE WETENSCHAPPEN

Akademiejaar 1970-1971

DE STORMVLOED VAN 1953 IN HET ZEESCHELDEBEKKEN

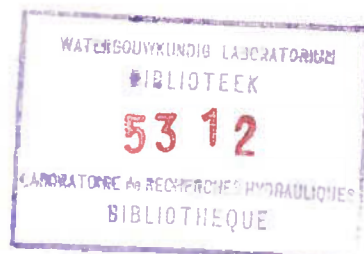
door **Luc VAN MAERCKE**

Promotor:
Sekr.-gen. ir. J. VERSCHAVE

Afstudeerwerk ingediend
tot het behalen van de wettelijke graad
van burgerlijk bouwkundig ingenieur

RIJKSUNIVERSITEIT TE GENT
FAKULTEIT VAN DE TOEGEPASTE WETENSCHAPPEN

Akademiejaar 1970-1971



0307 008 7764



DE STORMVLOED VAN 1953 IN HET ZEESCHELDEBEKKEN

door **Luc VAN MAERCKE**

*Oude Brusselse Weg, 160
9001 Gentbrugge*

Promotor:
Skr.-gen. ir. J. VERSCHAVE

Afstudeerwerk ingediend
tot het behalen van de wettelijke graad
van burgerlijk bouwkundig ingenieur

TOELATING TOT BRUIKLEEN.

Hierbij geeft de auteur van dit afstudeerwerk aan de bibliotheken van de Rijksuniversiteit te Gent de uitdrukkelijke toelating, dit afstudeerwerk ten allen tijde, in bruikleen af te staan aan gelijk welke persoon, organisatie of firma, in zoverre het bestuur van deze bibliotheken een dergelijke handeling wenselijk acht.

Hij geeft onder dezelfde voorwaarden de toestemming tot het nemen van afdrukken van het gehele of van gedeelten van het afstudeerwerk.

De auteur,

L. Van caen

Bij dit afstudeerwerk wil ik mijn oprechte dank uitdrukken voor de opleiding en de vorming, die ik aan de Gentse Rijksuniversiteit gekregen heb. Ik ben ervan overtuigd dat de bijzondere toewijding van de professoren veel heeft bijgedragen tot het verwerven van de basisbegrippen, waarop ik nu in het beroepsleven verder ga bouwen. Mijn hartelijkste dank gaat dan ook uit naar alle professoren van de Fakulteit van de Toegepaste Wetenschappen.

Een speciaal dankwoord zou ik willen richten tot Prof. emeritus ir. M. Van Cauwenberge, die steeds bereid was mij te helpen met alle mogelijke inlichtingen en raadgevingen.

Sekretaris-Generaal ir. J. Verschave ben ik ten zeerste erkentelijk omdat hij bereid werd gevonden als promotor op te treden, alsook voor de aanwijzingen, die hij mij gaf inzake de uitbouw van dit afstudeerwerk.

In mijn dank zou ik tevens willen betrekken de heer ir. A. Sterling, Directeur van het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout, die me het onderwerp van dit afstudeerwerk voorstelde en mij voor de uitvoering ervan kostbare documentatie ter beschikking stelde, alsook de heren ir. Casteleyn en ir. Poeters van de Dienst der Zeeschelde te Antwerpen om hun vriendelijke welwillendheid en hulp bij mijn bezoek aldaar.

Tenslotte houd ik eraan de heren Baute en Guns van het Waterbouwkundig Laboratorium te danken voor hun inspanningen om mij ten gepasten tijde alle nodige literatuur op te zoeken en ter hand te stellen.



Gentbrugge, 18 mei 1971

INHOUDSTAFEL.

=====

INLEIDING	1
<u>DEEL I</u>	7
<u>HOOFDSTUK I: Meteorologische Beschouwingen.</u>	7
§ 1 : Inleiding.	7
§ 2 : Algemene meteorologische beschouwin- gen.	7
§ 3 : Evolutie van de meteorologische situa- tie in 1953.	10
§ 4 : Uitwerking van de wind op de zee.	13
§ 5 : Vergelijking met enkele recente stor- men, die ook overstromingen veroor- zaakten.	20
§ 6 : Verband met de Zon-Maan-Getijden.	22
§ 7 : Statistische benadering van de grote katastrofale stormen.	23
<u>HOOFDSTUK II : Storm en stuwing: de opwaaiing van het water.</u>	27
 <u>DEEL II</u>	 36
<u>HOOFDSTUK I :</u>	
§ 1 : Algemeen overzicht van toestand en gebeurtenissen na de ramp.	36
§ 2 : De waterhoogten in de ons omringende landen.	39
§ 3 : De waterstanden langs de Schelde en haar bijrivieren.	40
§ 4 : Korte vergelijking met de hoogwater- standen van vroegere stormvloeden.	44
§ 5 : Invloed van de overstromingsgebieden op het normale tijregime.	45
§ 6 : Vergelijking met de stormvloed van 10 december 1965.	46
§ 7 : De Schade.	47

<u>HOOFDSTUK II</u> : Het Stroongat van Pijp Tabak.	52
§ 1 : Inleiding.	52
§ 2 : Geologische beschouwing.	55
§ 3 : De eerste dringende werken na de ramp.	58
§ 4. 1 : De getijden.	59
2 : De peilingen.	60
3 : De stroming.	61
4 : De drempel.	63
5 : Aanvoer en zinking van het rijs- werk.	64
§ 5 : Werken aan de Militaire Dijk.	65
1 : Inleiding.	65
2 : Begin van de uitvoering.	66
3 : Situatie op 1 april.	69
4 : Omstandigheden bij het zinken van het rijswerk.	69
5 : De zinking van de rijswerktapij- ten.	73
6 : De eigenlijke plaatsing van de zinkstukken en het pakwerk.	74
7 : De plaatsing van de zakken ge- vuld met klei.	75
8 : Het probleem van de waterdicht- heid.	77
9 : De afwerking.	78
10 : De toestand aan bres A op het ogenblik van de dichting van bres I.	79
& 6 : De werken aan Pijp Tabak.	79
1 : De nieuwe werkvoorwaarden.	79
2 : De mogelijke oplossingen.	80
3 : De bouw van de sluitdijk.	84
4 : De versleping en het neerlaten der zinkstukken.	86
5 : De bovenbouw uit kleizakken.	88
6 : Het herstel van de eigenlijke dijk.	90

<u>HOOFDSTUK III</u> : De Overstromingen in de Antwerpse Noorderpolders.	92
§ 1 : De Gebeurtenissen.	92
§ 2 : De schade aan de wakerdijken.	93
§ 3 : Onvang van de stroningen.	95
1 : Op het grondgebied van Antwerpen.	95
2 : Op de gronden benoorden 's Hertogenbosch.	95
§ 4 : De toegebrachte schade.	96
§ 5 : De eerste maatregelen.	97
§ 6 : De definitieve herstellingswerken.	99
§ 7 : De vastgestelde schade in de polders van Zandvliet en Berendrecht na hun drooglegging.	102
§ 8 : Slotbeschouwing.	104
<u>HOOFDSTUK IV</u> : Het Stroombgat van Wintham (Hingene).	107
<u>DEEL III.</u>	108
<u>HOOFDSTUK I</u> : Inleiding.	108
<u>HOOFDSTUK II</u> : Het Alarm- en Mobilisatiesysteem.	110
§ 1 : Inleiding.	110
§ 2 : De inrichting van het mobilisatieplan in het Zeescheldebekken.	110
1 : Het alarmstelsel.	110
2 : Het verweerstelsel.	111
3 : De werking van het systeem.	112
<u>HOOFDSTUK III</u> : Algemene dijksverhoging.	114
<u>HOOFDSTUK IV</u> : Een eventuele stormvloedkering afwaarts Antwerpen.	115
<u>HOOFDSTUK V</u> : Het aanleggen van Potpolders.	117
<u>HOOFDSTUK VI</u> : Versterking der dijken.	122
<u>BIBLIOGRAFIE</u> :	125



De doorbraak te Vlassenbroek
(Foto Min. Openb. Werken)

I N L E I D I N G.

=====

De stormvloed, die onze streken in de nacht van 31 januari op 1 februari 1953 teisterde, is veruit de meest markante manifestatie van de natuurkrachten in de laatste eeuw alhier. Weliswaar zijn er enkele lichte aardbevingen te noteren geweest (o.a. in 1937 en 1971), maar hun uitwerking was relatief beperkt in vergelijking met de gevolgen van de overstroming van 1953 of met de katastrofen, die zich in de voor aardschokken "gevaarlijke" zones in de wereld voordoen. Hierbij dient slechts herinnerd te worden aan de rampen van Agadir in 1960 en van Peru in 1970; bij deze laatste kwamen verscheidene tienduizenden personen om. Ook laten de natuurkrachten zich voelen bij erge onweders, die dan soms gepaard gaan met wolkbreuken en windhozen, die op hun doorgang eveneens veel schade kunnen aanrichten. Zo kenden we de wervelstorm die in 1967 de Westhoek en de dorpskom van Oostmalle teisterde.

Ook al beschikt men maar over weinig gegevens, betreffende de natuurrampen, die zich in de laatste twintig eeuwen - op de laatste 250 jaar na - in onze gewesten hebben voorgedaan, toch kan men stellen dat de natuur ons eerder gunstig gezind is geweest. Het is wellicht om deze reden dat de stormvloed van 1953 en zijn gevolgen, die op bepaalde plaatsen ter wereld slechts als een normaal jaarlijks voorkomend verschijnsel worden beschouwd, hier zo hard zijn aangekomen voor de bevolking. Hierbij wordt niet getracht de schade en vooral het persoonlijke leed van de getroffen personen te minimaliseren, maar wel de aandacht te vestigen op de relatief gunstige ligging van West-Europa in dit opzicht. Vermelden we bv. de jaarlijkse stormvloeden die in de Golf van Bengalen voorkomen. De gigantische uitwerking van dergelijke stormvloed heeft korte tijd geleden nog de hele wereld beroerd, gezien de onmetelijke schade en het onnoemelijke leed, dat de bevolking van Oost-Pakistan heeft getroffen.

Is het op dit ogenblik niet zo, dat de mens zelf zijn omgeving meer en meer onleefbaar maakt door de natuur op allerlei wijzen (lucht-, water- en bodemverontreiniging, verbreken van het ekologisch evenwicht door uitsterven of sterk afnemen van

bepaalde soorten in fauna en flora) geweld aan te doen, veel meer dan dat de rechtstreekse werking van de natuur ons in ons bestaan bedreigt.

Dit neemt echter niet weg, dat een overstromingsramp als deze van 1953 zich wel degelijk heeft kunnen voordoen en ook nog in de toekomst mogelijk is. Zou iemand zich voor deze feiten hebben kunnen voorstellen dat de Schelde in de omgeving van Fort Liefkenshoek het peil (+ 8,00) kon bereiken? Deze vaststelling kan de bevestiging inhouden van het feit, dat ons veiligheidsgevoel ten aanzien van zekere situaties wellicht onvoldoende is aangescherpt. Anderzijds is het zo, dat veiligheid "kost", met andere woorden dat economie en veiligheid veelal tegenstrijdige oplossingen vergen. Wil men een dijk bv. onoverstroombaar en onverwoestbaar maken, dan zal deze oplossing theoretisch oneindige afmetingen vragen en dus ook ontzaglijke bedragen. Geen enkele eindige (en dus reële) konstruktie is volkomen veilig. Het is bijgevolg de plicht van Overheid en Verantwoordelijken een dergelijk kompromis te ontwerpen, dat enerzijds de veiligheid "voldoende" is en anderzijds dat de kosten van de dijk economisch verantwoord zijn.

Het "voldoende" zijn van de veiligheid is echter een vrij subjektief begrip. Tegenwoordig worden de nieuwe dijken, op basis van statistische berekeningen, dusdanig gedimensioneerd, dat de kans op doorbreken 1 keer bedraagt op een veelvoud van honderd jaar, naargelang het belang van de eventueel getroffen streken. Vele bestaande dijken zijn echter niet konform met de huidige normen. Een op het eerste gezicht voor de hand liggende oplossing zou erin bestaan deze dijken te verhogen en te verzwaren. In de praktijk is dit echter in veel gevallen niet mogelijk om uiteenlopende redenen, zoals de aanwezigheid van industrie of bewoonde wijken langsheen de dijk, ofwel doordat de ondergrond dergelijke bijkomende belasting niet kan dragen zonder gevaar voor afschuivingen en afkalvingen.

Merken we nu reeds op dat de hoogte van de waterkerende konstruktie niet zozeer bepaald wordt door de hoogte van de te verwachten waterstand, dan wel door het hoogste peil, dat de tegen de dijk oplopende golven kunnen bereiken. Een dijk kan immers aan aanzienlijke krachtswerkingen aan zijn waterzijde weerstaan,- deze is er speciaal voor versterkt - maar verdraagt

slecht erosie aan het binnentalud wegens de steilere helling en de veelal onbeduidende versterking van dit talud : het is om deze reden dat overstortwater, dat dan het binnentalud aantast, met alle mogelijke middelen moet vermeden worden.

De schade, die de stormvloed van 1953 in België aanrichtte, is klein in vergelijking met deze bij onze Noorderburen : aldaar werden grote delen van de Zeeuwse eilandengroep onder water gezet en waren er bijna 1800 mensenlevens te betreuren. De ramp was in Nederland tevens de aanleiding om het reeds lang gerezen probleem van de honderden kilometers te onderhouden en te verzwaren dijken een radikale oplossing te geven : het afsluiten van de zeearmen, beter gekend als het Delta-plan.

Hoe zag de toestand er in België uit op 1 februari 1953 ?

In grote lijnen kan men twee zones onderscheiden : voor- eerst is er de kustzone, waar veel materiële schade werd aangericht, doch waar de overstromingen onbeduidend waren; vervolgens heeft men het Zeescheldebekken (Schelde + aan tij onderhevige bijrivieren), waar daarentegen de bressen en overstromingen talrijk waren.

Hoewel de schade in het kustgebied het onderwerp niet uitmaakt van dit werk, is het toch nuttig in deze inleiding even de voornaamste feiten aldaar aan te stippen :

1) Van de 66 km kustlijn zijn er globaal 4,6 km ernstig beschadigd geweest, waaronder 3,8 km frontale dijken.

De zone van de ingestorte zeedijken strekt zich uit van Koksijde tot de Nederlandse grens. Ook de straten van een groot deel van de stad Oostende liepen onder water.

Reeds van 1 februari af hebben de diensten van het Bestuur van Bruggen en Wegen, geholpen door aannemers, vrijwilligers en het leger, onmiddellijk de gevaarlijkste bressen in de polder- en havendijken gedicht en wel te Lombardzijde, Nieuwpoort, Bredene, Blankenberge en een stukje polder aan het Zwin.

Anderzijds moesten de gaten, die in de frontale zeedijken werden geslagen, beveiligd worden tegen de komende hoogwaters.

Hiervoor werd een beroep gedaan op aannemers en op het leger.

Een niet uit het oog te verliezen aspekt is tevens, dat 1 februari op een zondag viel en dat het dus moeilijker was onmiddellijk de nodige werkkrachten bijeen te krijgen.

Met de beveiligingswerken werden ongeveer 25 aannemers met personeel en materieel belast. Nagenoeg 2.000 arbeiders en 400 werklozen, alsook een 2.000 tal soldaten en mariniers werkten aan deze beveiligingswerken. In deze werkfase werden 1.200.000 zandzakken, 10.000 m³ rijshout, 25.000 ton puin en steen, 10.000 m² stalen vlechtwerk, 4.000 ton zware breukstenen van 40 tot 200 kg aangewend; 60.000 m³ grond werd verplaatst; 200 burgerlijke en militaire vrachtwagens, 4 militaire en 2 private bulldozers waren bestendig in werking.

Al deze werken schoten dermate goed op, dat alle plaatsen voor het springtij van 14 tot 17 februari beveiligd waren.

2) Na het springtij moesten de eigenlijke herstellingswerken aangevat worden. Het grote probleem, waarvoor men hier stond, was de timing: men moest er immers voor zorgen dat alle werken tegen het begin van het toeristisch seizoen (ongeveer 15 juni) beëindigd waren.

Er moesten dus heel wat aannemers te werk gesteld worden volgens een typekontraakt. Om alle diskussies te vermijden, vatte het Bestuur van Bruggen en Wegen het plan op een aanbesteding uit te schrijven, verdeeld over 23 loten.

Aan deze definitieve reparatiewerken werd ongeveer 300 miljoen frank uitgegeven.

In grote lijnen ging men op de meeste plaatsen als volgt te werk : op het strand, aan de voet van de dijk wordt een stalen damwand van 3 tot 4 m geslagen (het Bestuur van Bruggen en Wegen had hiervoor bij de gespecialiseerde firma's niet minder dan 4000 strekkende meter stalen damplanken besteld).

Op het vlak van de zeewerking wordt eerst een laag zuivere vette klei van 0,50 m dikte gestort of een laag gebitumeerd zand van 0,15 m. Op het peil (+ 6,50) vormt deze laag een hoek en loopt in hellende richting 5 tot 8 m verder tot onder de stormmuur.

Op deze ondoordringbare laag komt een laag gewapend beton, die aan de voet ruim 1,00 m hoog en 0,60 m dik is en geleidelijk dunner wordt naar boven toe, waar ze onder de kruin nog 0,40 m dik is.

Bovenop deze laag gewapend beton komt dan tenslotte nog de bekleding in metselwerk met Doornikse kalksteen, harde baksteen of geprefabriceerde betonblokken.

Gelijklopend met deze herstellingswerken aan de zeedijken werden nog andere aanbestedingen uitgeschreven, zoals de herstelling van de schade tussen Heist-sluizen en de eerste villa's te Heist, de herstellingen van beschadigde strandhoofden, de schade aan de havens van Oostende, Zeebrugge en Nieuwpoort.

Het geheel der werken aan de kust vergde de som van nagenoeg 450 miljoen frank.

Voor wat de gebeurtenissen in het Zeescheldebekken betreft, kunnen we hier alvast een bondig algemeen overzicht van de toestand op 1 februari en de daaropvolgende weken geven.

Het stormtij van 1 februari heeft ongeveer 240 bressen in de dijken van de Schelde en haar bijrivieren geslagen, alsook meer dan 100 inzakkingen veroorzaakt, terwijl grote oppervlakken land onder water kwamen: ongeveer 6.000 ha vruchtbare grond en honderden huizen werden overstroomd.

Het waterpeil van de Schelde te Antwerpen had de nooit eerder gekende waarde van (+ 7,85) bereikt; dit betekent dat het water 80 cm hoger kwam dan de dekstenen van de kaaien. Daardoor werd aanzienlijke schade toegebracht aan de in de havens gestapelde goederen; bovendien liepen enkele kelders en straten onder water.

Nog tijdens de nacht van de ramp zelf, werd overal ingegrepen. Daarna werd dag en nacht gewerkt om uitbreiding van de ramp te voorkomen.

Veertien dagen na de storm werden reeds 59 bressen gedicht in de dijken van de Schelde, 18 in deze van de Rupel, 22 in deze van de Nete, 10 in deze van de Durme, 14 in deze van de Vliet, 7 in deze van de Zenne en 2 in deze van de Dijle.

De stroomgaten van Steendorp, Niel, Walem en Vlassenbroek werden respektievelijk bemeesterd op 16 februari, 26 februari, 27 februari en 15 maart.

Dit van Vlassenbroek bijvoorbeeld was zeer belangrijk en had ongeveer 65 m breedte en 16 m diepte onder de dijkskruin.

In de dagen en weken volgend op de ramp dienden grote inspanningen te worden geleverd door alle betrokken personen en diensten: het Bestuur van Bruggen en Wegen, de aannemers en het leger.

Bovendien werden de werken uitgevoerd in zeer moeilijke omstandigheden doordat het weder in de periode van 1 februari tot 15 februari ongewoon slecht was. In deze periode werd op sommige plaatsen dag en nacht gewerkt.

Uiteindelijk bleken drie stroomgaten bijna onhandelbaar. Het waren deze van Pijp Tabak, Berendrecht en Wintham. De gebeurtenissen in en rond deze bressen worden in dit werk verderop in extenso besproken. Vooral aan het stroomgat van Pijp Tabak (Zwijndrecht) zal veel aandacht worden besteed, omdat dit stroomgat het grootste is dat in de laatste paar eeuwen in onze streek werd vastgesteld.

Evenals in Nederland, stelde men zich in België na de ramp de vraag, wat gedaan kan worden om in de toekomst dergelijke katastrofen te vermijden, m.a.w. hoe de uitzonderlijke waterstanden kunnen opgevangen worden.

De vier voornaamste vooropgestelde oplossingen zijn : het verhogen van de dijken, het inrichten van potpolders, het bouwen van een enorme stormvloedkering afwaarts Antwerpen, en het versterken (overstroombaar maken) van de dijken.

De voor- en nadelen van genoemde voorstellen worden in het derde en laatste deel van onderhavige studie besproken.

De twee eerste delen handelen respektievelijk over de theoretische benadering van de stormvloeden enerzijds en de gebeurtenissen en herstelwerken anderzijds.

D E E L I

=====

HOOFDSTUK I : METEOROLOGISCHE BESCHOUWINGEN.

§ 1. Inleiding.

Bij het overzien van de katastrofale gevolgen van de stormvloed in de nacht van 31 januari op 1 februari 1953, rijst spontaan de vraag welke fantastische natuurkrachten hier aan het werk geweest zijn.

De belangstelling van de ingenieur gaat vooral uit naar de nuchtere cijfergegevens aangaande waterhoogte, opwaaiing, golfslag, deining ... maar ook dient hij zich af te vragen hoe groot de kans is dat de natuur met nog grotere kracht op onze kusten kan gaan beuken; het is immers niet juist te menen dat de bereikte waterstanden de hoogste zijn, die kunnen optreden: een nog meer nadelige samenloop van ongunstige omstandigheden zou wellicht nog ergere overstromingen hebben veroorzaakt langs de kusten in het zuidelijk deel van de Noordzee.

Een statistische behandeling kan dan de basis zijn voor het vastleggen van een methode die toelaat de voorwaarden te bepalen, waaronder, bij een zware storm, alarm dient te worden geslagen.

§ 2. Algemene Meteorologische Beschouwingen.

Het is algemeen bekend dat in onze streken het weer voornamelijk bepaald wordt door uitwisselingsverschijnselen op grote schaal tussen warmeluchtmassa's uit de tropen en koude luchtmassa's uit de poolgebieden. Deze uitwisselingen zorgen ervoor dat een zeker evenwicht tussen het overschot aan zonnewarmte in de warme streken en het tekort in de koude streken gehandhaafd blijft. Het zijn de in omvang en intensiteit wisselende storingen die genoemde circulatie tot stand brengen:

men noemt ze "lagedrukgebieden" of "cyklonen".

Men mag deze cyklonen van de gematigde streken echter niet vergelijken met deze uit tropische streken; de afmetingen van de cyklonen zijn bij ons in het algemeen veel groter en de ermee gepaard gaande fenomenen minder hevig, doordat het slechts zelden voorkomt dat een dusdanige energieopstapeling plaats heeft, die aanleiding kan geven tot de orkanen uit de tropen. Deze laatste zijn dikwijls het gevolg van het plots verbreken van een labiele evenwichtstoestand, hetgeen een verklaring kan zijn voor hun enorme kracht.

In sommige omstandigheden, die nog niet helemaal duidelijk zijn, gebeurt het echter dat storingen uit de gematigde streken soms over een beperkte oppervlakte een buitengewone hevigheid vertonen. In dit opzicht zijn sommige plaatsen werkelijk voorbestemd ofwel door hun orografische situatie, ofwel door de aanwezigheid van warme maritieme luchtstromingen in de nabijheid van zeer koude streken. In het algemeen is de energie van cyklonen evenredig met het temperatuurverschil tussen de warme en de koude luchtmassa's, die zich in elkaars nabijheid bevinden.

Om het opkomen en het verloop van de storm van 1953 op weerkundig gebied te begrijpen, is het nodig het algemeen vormingsproces van een storing even aan te stippen :

1^e FASE (fig 1a en 1b):

De warme lucht A en de koude lucht B worden gescheiden door een overgangslaag, die er in planzicht uitziet als de lijn M O N; deze lijn noemt men het "polair front".

In onze streken is warm weder in 't algemeen afkomstig van de lucht die cirkuleert rond het hoge drukgebied der Azoren, terwijl de koude lucht uit Groenland komt.

Een zeer lichte welving van een "polair front" duidt voelal aan dat de storing zich nog maar in het beginstadium bevindt (fig. 1a). Zolang deze welving niet meer uitgesproken is dan aangegeven op fig. 1b, zal het centrum van de depressie zich nagenoeg evenwijdig met de isobaren van de "warme" zone onder de lijn M O N verplaatsen.

2^e FASE (fig 1 c):

De depressie diept zich uit : de luchtdruk daalt en de twee armen M O en O N van het polair front zullen een steeds kleiner wordende hoek gaan vormen. Geleidelijk aan haalt het linkerdeel M O het rechterdeel O N in, over een afstand P O, die groter wordt naarmate de depressie zich uitdiept; er vormt zich dan een zogenaamde okklusie O P. Bijgevolg begint het centrum van de depressie achterop te liggen en uiteindelijk streeft het punt O naar de lijn M N; daarbij vormt de okklusielengte O P een aanwijzing voor de groeiende ontaarding van de storing: de warme lucht die zich oorspronkelijk in het gebied M O N bevond, is nu omhoog gestuwd en aan de grond vervangen door polaire lucht. Dit is in 't kort, de evolutie van een storing.

- N.B. 1) De barometer daalt naarmate men zich dichterbij het centrum van de depressie bevindt.
- 2) Het is op basis van genoemde eigenschappen van de drukgebieden en van andere karakteristieken, zoals het type van de luchtmassa, de bewolking, de neerslag e.a. dat de weersvoorspelling gebeurt: door extrapolatie van de beweging van de onderscheiden drukgebieden bepaalt men hun toekomstige plaats. Deze extrapolatie berust op de praktische toepassing van enkele half-empirische regels, die veelal na lange berekeningen wiskundig te bewijzen zijn.
- 3) Aan de hand van de onderlinge ligging der isobaren is het mogelijk de windsnelheden te schatten : immers, hoe dichterbij de isobaren bij elkaar liggen, hoe groter de drukgradiënt is en hoe heviger dus de wind waait. Aldus kan men met goede benadering de windsnelheid, die heerst tussen 500 en 1000 m hoogte schatten. Wil men een juistere waarde van de snelheid bepalen, dan moet men ook rekening houden met de kromming der isobaren. Zo bekomt men de zogenaamde "gradiëntwind" die des te kleiner is ten opzichte van de wind tussen 500 en 1000 m (geostrofische wind), naarmate de kromming der isobaren meer uitgesproken is.

Beschouwen we nu de weersituaties voor en gedurende de stormvloed die woedde in de nacht van 31 januari op 1 februari 1953.

§ 3. Evolutie van de Meteorologische situatie in 1953.

Op 30 januari 1953 om 6 u 's morgens, bevond zich een depressie met een barometerdruk van 995 mb in het centrum, ten zuiden van IJsland. Ze vertoonde alle kenmerken van een "jonge" depressie: een zeer open warm gebied en een isobarisch beeld, dat analoog is aan dat van fig. 1a. De isobaren van de warme zone waren gericht volgens ZW - NO-richting en alles liet voorzien dat de storing zich in NO- of hoogstens O-richting zou verplaatsen.

Op de weerkaart van 18 u (fig 3) van dezelfde dag merkt men dat de depressie zich sterk uitgediept heeft en dat het centrum met een druk van minder dan 985 mb zich ten noorden van Schotland bevindt na ongeveer 500 km in de richting ONO 1/4 O te zijn getrokken. De isobaren rond het koufront vertonen nu ook een karakteristieke V-vorm, waaruit men kan besluiten dat het koufront neiging vertoont te vertragen, doordat de komponent van de wind, loodrecht op het front, tamelijk gering is. Dit betekent tevens dat het okklusie-verschijnsel zich slechts langzaam zal voltrekken: het koufront heeft nauwelijks neiging het warmtefront in te lopen (fig 3). De isobaren van de warme sektor zijn ongeveer evenwijdig gebleven met hun vroegere richting.

Uit dit alles blijkt dat men op 30 januari mag verwachten dat de storing zich naar de Noorse kust zal bewegen, zonder rechtstreeks onze streken te beïnvloeden.

Op 31 januari om 6 u (fig 4) heeft het centrum van de depressie zich nog verder uitgediept en dit met een snelheid van 10 mb in 12 uren tijds. De kern bevindt zich nu tussen Schotland en Noorwegen en het okklusie-verschijnsel begint; onze streken echter bevinden zich nog altijd in de warme zone met vrij sterke ZW wind. Iets wat opvalt is, dat het koufront zijn opdringen versneld heeft ondanks het feit dat men de vorige avond om 18 u nog het tegenovergestelde verwacht had :

het nadert onze kusten na een afstand van ongeveer 700 km afgelegd te hebben sinds de vorige avond te 18 u.

Aan de achterzijde van de depressie volgt er een krachtige aanvoer van koude poollucht, die met de NW stroming meestroomt. Een merkwaardig en voor ons belangrijk feit is, dat de baan van het centrum van het lagedrukgebied ombuigt naar het ZO, na eerst een normale baan naar het NO of het O te hebben gevolgd.

Merken we echter op dat de weerkaart van het Noordelijk deel van de Noordzee tussen Schotland en Noorwegen, enigszins onzeker is, wegens het feit dat er slechts één weerschip in die omgeving lag. Het is dus alleen mogelijk er de grote lijnen van te schatten en ook is het niet uitgesloten dat het minimum van de luchtdruk in het centrum van de depressie nog lager was dan opgegeven en dat dit centrum een weinig van het getekende centrum verwijderd lag.

Ondanks deze onzekerheidsfactoren is het toch niet anders mogelijk, dan dat er boven Schotland een zware storm woedde, die nogal wat schade zou aanrichten.

Als men de verplaatsing van het centrum van de depressie extrapoleert, stelt men vast dat dit centrum zich in ZO richting zal bewegen en dat de krachtige NW winden zich naar het zuiden van de Noordzee zullen uitbreiden. Het is om deze reden dat op 31 januari om 9.50 na het tekenen van de weerkaart, een stormwaarschuwing naar de Belgische kustplaatsen en bijzonder naar de havens langs de kust werd gestuurd. Doordat er zich aan de achterzijde van de depressie een hogedrukgebied op de Atlantische Oceaan bevond, ontstond er tussen IJsland en de Far-Oer-eilanden een zeer krachtige noordelijke stroming, die de aanvoer van koude polaire lucht nog versterkt.

Om 18 u (fig 5) van dezelfde dag heeft de storing opgehouden zich verder uit te diepen en begint ze zelfs geleidelijk op te vullen: ze heeft haar centrum aan het uiterste NO van Denemarken en heeft het aspect aangenomen van een uitgestrekte tourbillon, waarvan het snelste deel zich boven de Noordzee bevindt, ten oosten van de kusten van Groot-Brittannië.

Voor zover het klein aantal weerstations in de Noordzee toelaat de juistheid van het isobarisch tracé in die omgeving

te garanderen, moeten de windsnelheden aldaar van de orde van 100 à 120 km/u geweest zijn.

En inderdaad, aerologisch onderzoek in Groot-Brittannië op een hoogte van ongeveer 3000 m leverde windsnelheden op van 108 km/u uit NW tot N; deze snelheden werden bepaald door direkte meting op de radar of op de radiotheodoliet.

Merken we echter op voor een "gradiëntwind" van 110 km/u men zich op zeepeil mag verwachten aan een windsnelheid van 82 km/u, daar de wrijving de windsnelheid met $1/4$ vermindert bij het kontakt met het wateroppervlak; op het vasteland bedraagt de reductie gemiddeld 40% en soms meer.

Bij het vaststellen van de verzwaring van de storm die over de Noordzee woedt, werd een tweede stormwaarschuwing uitgezonden op 31 januari om 21 u 10; deze waarschuwing vermeldde zeer zware storm. Deze procedure is uitzonderlijk daar een stormbericht, 's morgens uitgeroepen, zich automatisch uitstrekt over een periode van 48 u.

Zoals reeds gezegd verplaatste zich op 31 januari een hogedrukgebied (1030 mb) in ONO-richting over de Atlantische Oceaan terzelfdertijd als de depressie naar het ZO koerste. Het in NZ-richting uitgerokken hogedrukgebied en de snelle verplaatsing ervan naar het Oosten (400 km in 12 u) droegen ertoe bij dat een grote drukgradiënt gehandhaafd bleef over geheel het deel van de oceaan, begrepen tussen IJsland en Noorwegen; als gevolg hiervan kon de hevige noordelijke stroming gedurende meer dan 36 u stand houden.

Fig 7 vat de geschiedenis samen van de storing vanaf 30 januari om 6 u tot 1 februari om 18 u, ogenblik waarop ze opvullend naar het oosten wegtrekt. Men kan goed zien hoe snel de door de storm getroffen zone zich uitbreidt en hoe vlug de storing zich uitdiept; ook valt het op dat het koufront een opzienbarende versnelling vertoont tussen 6 u op 30 januari en 18 u op 31 januari. Daarna is dit koufront nog maar moeilijk te onderscheiden, doordat de storing in een ware maalstroom ontaard is. Bovendien merkt men op dat het warmtefront, in plaats van zich te verplaatsen in de richting der isobaren van de warme zone, veeleer naar het zuiden of het ZO

is afgezwinkt, alsof het Skandinavische bergnassief een hinder-
nis vormde voor zijn normale beweging.

Op de weerkaart van 1 februari om 0 u (fig 6) zien we het
toppunt van de storm op de Noordzee alsmede de situatie op het
ogenblik dat de hoge en woelige zee onze dijken op tal van
plaatsen aantast.

De rechtstreekse polaire luchtstromingen, die de Pool-
streken enkele uren tevoren verlaten hebben, bereiken ons met
een snelheid van 100 km/u. Zij voeren sneeuwbuizen met zich
mee, die zowel de Noord-Duitse laagvlakte als onze streken
aandoen en aan de gruwel van de overstromingen nog deze van
de koude toevoegen.

Op dat ogenblik bereikt de gradiëntwind ter hoogte van
Engeland snelheden van 100 km/u. Aan onze kust brengt een ze-
kere divergentie van de storing deze snelheid terug op 90 km/u.
In feite is de wind, zelfs aan de kust, zeer krachtig maar
bereikt toch geen uitzonderlijk hoge waarde. Op 14 november
1940 werden in België bij zware windstoten op vele plaatsen
windsnelheden bereikt van meer dan 145 km/u, terwijl in de
nacht van 31 januari op 1 februari 1953 de hoogste snelheids-
pieken in Laag- en Midden-België slechts ongeveer 115 km/u
bereikten.

In werkelijkheid is het waarschijnlijk op ongeveer 400 km
ten noorden van onze kust dat de geweldige opstuwing door de
stormvloed tot ontwikkeling is gekomen, die in de beruchte
nacht van 31 januari op 1 februari 1953 de zuidelijke kusten
langsheen de Noordzee zou teisteren.

§ 4. Uitwerking van de wind op de zee.

Hoewel het effect van de wind op het zeeoppervlak meer
tot het domein van de oceanografie behoort dan tot dat van
de meteorologie, toch is het zo, dat de studie van deze ver-
schijnselen in de eerste plaats werd gedaan door meteorolo-
gen en dit gedurende de laatste wereldoorlog, waar o.a. het
probleem van het voorspellen van een grote oppervlakte-
deining in sommige gevallen van aanzienlijk belang was.

Het effect van de wind op de zee is tweevoudig: enerzijds de opwaaiing van het water door de wrijving, wanneer de wind naar de kust toe waait; anderzijds de vorming van golven en van de deining. Beide factoren van de uitwerking van de wind op het zeeoppervlak hebben hun invloed gehad op de katastrophe van 1953; we zullen ze dan beide kort behandelen.

Het effect van de "zwellings" van de zee door de wind werd uitvoerig bestudeerd door W.F. Schalkwijk uit Nederland.

Schrijver bestudeerde, zowel theoretisch als empirisch door vergelijking met de waarnemingen, de amplitude van de opwaaiing van het zeeniveau in functie van de richting en de snelheid van de wind, met het oog op het opmaken van tabellen en grafieken die dit effect van de wind veroorzaken. Hierbij maakt hij gebruik, enerzijds van de windrichting, bepaald door de ligging der isobaren en anderzijds van de gradiëntwind, echter verminderd met 25%.

De theoretische formules, die bevestigd werden door de waarnemingen, hebben de auteur toegelaten aan te tonen dat de opwaaiing van het zeeoppervlak door de wind evenredig is met het vierkant van de windsnelheid. De figuren 8 en 9 geven de waarden van de opwaaiing voor verschillende windsnelheden uit de meest "gevaarlijke" windrichtingen.

Figuur 8 heeft betrekking op het zuidelijk deel van de Noordzee, terwijl fig 9 de opwaaiing geeft in de Oosterschelde. Hoewel de berekeningen gemaakt werden voor het Nederlandse grondgebied, toch blijken de grafieken ook bruikbaar voor de Belgische kust en voor de Westerschelde tot Antwerpen (op een correctie van enkele cm na). Ze laten dan ook toe het effect van een storm op het niveau van de zee te voorspellen. Het is echter nuttig op te merken dat de vooruitzichten slechts binnen een marge van een tiental cm juist zijn, want er kan interferentie zijn met de toestanden, die de storm voorafgingen, zodat de aangeduide hoogte slechts de betekenis van een orde van grootte toegewezen kan krijgen. Het gaat dus om een golving, die gesuperponeerd wordt op de niveauwisseling, te wijten aan de getijden.

Wil men het effect nagaan van een storm met een gemiddelde snelheid van 80 à 90 km/u dus 22 à 25 m/s, en een NNW-richting van de wind (die de gemiddelde windrichting was bij het hevigste van de storm) dan bekomt men in grafiek een opwaaiing van 1,60 m à 2,10 m. Bij windsnelheden van 30 m/s (108 km/u) zou deze 3 m bedragen; dit lijkt echter overdreven.

Schalkwijk becijferde ook het effect van een homogeen windveld over de gehele Noordzee: de opwaaiing zou 1,75 m tot 2,30 m bedragen bij windsnelheden van 22 tot 25 m/s en 3,40 m bij snelheden van 30 m/s.

Men kan niet beweren dat de snelheid van de wind homogeen was over de hele oppervlakte van de Noordzee, maar toch mag men aannemen dat ze dergelijke toestand benaderde.

Het blijkt dat de waarden die men uit de grafieken van Schalkwijk haalt ook toepasselijk zijn op de Schelde in de omgeving van Antwerpen, op voorwaarde dat men aan de afgelezen waarden een korrektie van 40 tot 55 cm toevoegt; dit leidt tot verhoging van de normale waterstand van het minimum 2 m en maximum 2,65 m (bij snelheden van 30 m/s zou men aan 3,80 m komen, hetgeen zeker overdreven is). Het is belangrijk op te merken, dat dergelijke opwaaiingshoogten dienen te worden gevoegd bij de berekende tijhoogten; aldus is het mogelijk de werkelijke hoogte van het te verwachten zeeniveau te bepalen.

Te Oostende moest het hoogwater in de nacht van 31 januari op 1 februari 1953 de cota van 4,80 m bereiken en te Antwerpen 5,25 m. De waargenomen hoogten waren echter respectievelijk 7,20 m en 7,85 m. Dit leidt tot opstuwingshoogten van respectievelijk 2,40 m te Oostende en 2,60 m te Antwerpen. Het is dus waarschijnlijk dat de gemiddelde windsnelheid over de Noordzee hoger lag dan 25 m/s.

Rekening houdend met de onzekerheidsgraad van het geheel der metingen, mag men zeggen dat de overeenkomst tussen theorie en realiteit over het algemeen bevredigend is.

Daar de maregraaf te Oostende door de hevige storm buiten dienst gesteld was, beschikt men niet over de kurven die genoemd toestel normaal oplevert. Het is bijgevolg niet mogelijk de maximale golfhoogte te bepalen, daar deze plaats

kan gehad hebben voor het normale maximum van het getijde. Dit was o.a. het geval voor de Nederlandse kust.

Ook het tweede effect van de wind, namelijk de vorming van de golven en van de deining, heeft zijn aandeel gehad in de toegebrachte schade; de als een stormram aankomende en beukende golven hebben alleszins bijgedragen tot het ontstaan van sommige bressen, vooral daar waar het niveau van de kruin der dijken wel de gemiddelde hoogwaterstand overtrof, maar waar de golven af en toe de kruin overstroomden en het binnentalud van de dijken geleidelijk wegspoelden. Het is inderdaad op deze wijze dat dijken meestal doorbreken.

Ook hier moet men zich beperken tot zeer benaderende schattingen.

De voortdurende werking van de wind op het zeeoppervlak heeft de vorming van golven met sterk wisselende hoogte tot gevolg. Deze golven planten zich vervolgens over grote afstand voort onder vorm van de deining, die de kusten van het vasteland veel eerder kan bereiken, dan de eigenlijke stormwinden. Eenmaal wanneer de deining ontstaan is, gebeurt de demping ervan slechts langzaam; wanneer de storm zich verplaatst, zet de uitwerking van de wind op de deining, deze laatste om in eigenlijke golven.

In werkelijkheid zijn al deze problemen zeer complex en betrekkelijk weinig bekend.

De zeediepte speelt een belangrijke rol bij de gedragingen van de golven van zodra deze diepte kleiner is dan de helft van de lengte van de grootste golven (gemeten van kruin tot kruin). Wanneer bovendien de diepte regelmatig vermindert naar de kusten toe (wat het geval is voor de Belgische kust), kunnen de golven reeds op een zekere afstand ervan breken; hetgeen de kust bereikt is dan niets meer dan een soort watercilindertjes, dat snel over het min of meer woelige zeeoppervlak loopt.

Men begrijpt dat deze fenomenen niet eenvoudig zijn, en dat het zeer moeilijk is, precies uit te maken, wat zich aan onze kust heeft voorgedaan.

Ook de aanwezigheid van ondiepten kan ertoe bijgedragen hebben dat de golven op een zekere afstand van de kust gebroken werden, wat meteen de waarnemingen verklaart, volgens de welke de zee ter hoogte van Oostende zich voordeed als een ziedende witte massa.

Wat er ook van zij, men kan de studie over de vorming en de voortplanting van de golven altijd gebruiken om zekere grootteorden te voorspellen.

Wanneer men dat deel van de Noordzee beschouwt, waar de diepte minstens 60 m bedraagt (bijvoorbeeld langs de Schotse oostkust), dan kan men uitgaande van de windsnelheid en de duur van de storm, de waarschijnlijke amplitude, golflengte, periode en voortplantingssnelheid van de deining bepalen.

Het verband tussen de verschillende stormverschijnselen werd tijdens de tweede wereldoorlog om strategische redenen uitvoerig onderzocht en de resultaten van die studies werden geleidelijk aan openbaar gemaakt.

Wanneer men in de diagramma's van Sverdrup en Munk na-gaat, welke de waterhoogten zijn die overeenstemmen met windsnelheden van 80 en 100 km/u en dit gedurende 12 u over een stormveld van 500 km lengte, dan bekomt men waterhoogten van respektievelijk 8,20 m en 11,75 m. Had men een duur van 24 u aangenomen, dan zou men amplituden van respektievelijk 9,70 m en 14,10 m hebben. De afstanden van kruin tot kruin zouden respektievelijk 102, 133, 149 en 177 m bedragen met perioden van 7,6 s, 9 s, 9,7 s en 10,5 s. Het betreft hier echter gegevens, die gelden voor diep water en die bijgevolg weinig bruikbaar zijn in de nabijheid van onze kusten, waar de diepte slechts 20 tot 30 m bedraagt en dus veel minder dan de helft van de golflengte van de deining.

Het is duidelijk dat de deining, die ontstaan is op 100 tot 200 mijlen noordelijk van onze kust, een zekere damping ondergaat en dat de periode ervan groter wordt. Met de diagramma's van Munk en Arthur kan men de reductiecoëfficiënten schatten, die op de waterhoogte en de periode moeten worden toegepast; aldus bekomt men waterhoogten tussen 5,30 m en 9,90 m voor een windsnelheid van 80 km/u en van 7,35 m tot 12,50 m

van 100 km/u naargelang de "bron" van de deining nadert. De perioden van hun kant gaan van 8,9 s tot 9,6 s en van 10,7 s tot 11,0 s.

Volgens dezelfde auteurs zouden de waterhoogten begrepen zijn tussen 7,50 m en 10,80 m na 12 uur en tussen 11,20 m en 15,30 m na 24 u, terwijl de perioden respektievelijk 7,4 s, 8,6 s, 10,5 s en 12 s zouden bedragen; deze laatste schattingen blijken vrij goed overeen te komen met de hoger vermelde. Niettemin komen deze hoogten toch als aanzienlijk voor, vooral wanneer men ze vergelijkt met de waarden die Thorade opgeeft : hij meent dat de golven in de Noordzee de hoogte van 6 m niet overschrijden (4 m in het zuidelijk deel).

Wanneer men een andere grafiek van Munk gebruikt, komt men tot aanzienlijk kleinere hoogten, namelijk van 4,50 m tot 6,90 m en van 7,50 m tot 11,40 m, terwijl de perioden nagenoeg gelijk zijn.

Merken we tenslotte op dat volgens Sverdrup en Munk de golven breken, wanneer de waterdiepte gelijk is aan $1,28 H$ (H = amplitude van de golf); volgens de laatste reeks cijfers dus bij 5,70 m tot 8,80 m en 9,60 m tot 14,60 m.

Uit deze reeks schattingen blijkt dat de bevindingen omtrent de hoogten nogal wisselvallig zijn. De perioden vertonen meer overeenkomst.

Volgens Sverdrup en Munk zouden de perioden 8,5 tot 8,9 s bedragen voor windsnelheden van 80 tot 100 km/u heersend op een afstand van 200 mijl van onze kust gedurende 12 u en van 7,9 tot 8,2 s als de oorsprong van de deining op 100 mijl afstand ligt. Zou de wind gedurende 24 u waaien, dan zouden de overeenkomstige perioden 10,7 tot 11,7 s en 10,1 tot 10,8 s bedragen.

De enige aanduiding die we hebben omtrent de periode van de golven te Oostende is het diagram van het registreertoestel van de windsnelheden (fig 10); daar het apparaat onderhevig was aan de schok van de golven, zal het diagram bijgevolg kleine onregelmatigheden vertonen. Aldus kon men ongeveer 26 stoten binnen een tijdspanne van 5 minuten tellen, wat overeenkomt met een periode van nagenoeg 11 s. Rekening houdend met de onnauwkeurigheid van deze schatting, mag men toch zeggen

dat de overeenstemming met de theoretische perioden goed is voor een stormwind, die gedurende zowat 24 u op ongeveer 200 mijl ten Noorden van onze kust woedde; ook kan men uit deze overeenkomst afleiden dat de deining voortkomend van het windveld aan de westzijde van de Noordzee, hoogstwaarschijnlijk de hoofdoorzaak is van de waterbeweging aan de Belgische kust.

Wat de golfhoogte betreft, weten we enkel dat sommige golven te Oostende over het loodsgebouw sloegen. Aangezien het dak van dit gebouw zich op cota (+ 13,00) bevindt en aangezien de maximale cota van het getijde naar schatting 7,20 m bedroeg, moeten de hoogste golven op die plaats een hoogte van 6 m bereikt hebben.

In feite heeft er zich langs onze kust een kompleks fenomeen voorgedaan, in die zin, dat er waarschijnlijk interferentieverschijnselen zijn voorgekomen, doordat de deining komend uit het noorden, gesuperponeerd werd op de ter plaatse gevormde golven. Deze interferentieverschijnselen kunnen nu en dan aanleiding gegeven hebben tot meer omvangrijke golven.

Merken we op dat, van hydraulisch standpunt uit gezien, de voortplantingssnelheid van deze plaatselijke golven, gegeven door de formule $V = \sqrt{gh}$ in ondiep water, voor diepten van 30, 20 en 10 respektievelijk 17,20 m/s, 14,10 m/s en 10 m/s zou bedragen.

Men mag aannemen dat "waterrollen" van vele meters hoogte en enkele tientallen meters breedte tegen de dijken aanbeukten met snelheden van minimum 10 m/s en maximum 15 m/s en dit om de 11 sekonden ongeveer. Hiermede krijgt men een idee van de grote kracht die aldus op sommige plaatsen van de dijk inwerkte.

Dergelijke "rollen" die nagenoeg frontaal tegen het hellend vlak van de dijk stoten, spatten tot aanzienlijke hoogte op; hoewel een deel van het omhooggejaagde water in zeer fijne toestand verkeert en door de wind wordt meegevoerd, toch stort het voornaamste deel van de watermassa op het talud neer als een stormram.

Herinneren we er nog aan dat in bepaalde lokale omstandigheden, te wijten aan de vorm van de kustlijn en van uitgevoerde kunstwerken, er zich reflexie en interferentie heeft kunnen

voordoen, die aanleiding geven tot nagenoeg stationaire fenomenen met een nog grotere amplitude (clapotis), waardoor het vernielend effect van de deining of de golven plaatselijk nog verhoogd wordt.

§ 5. Vergelijking met enkele recente stormen, die ook overstromingen veroorzaken.

Het is interessant even de situaties te vergelijken, die in het verleden aanleiding gaven tot analoge verschijnselen als deze die zich in 1953 voordeden. Aldus hebben we de stormen van 1877, van 1906, van 1930 en van 1949.

- In 1877 heerste er op 30 januari een ZW gradiëntwind van ongeveer 105 km/u die op 31 januari naar het NW draaide en snelheden van nog altijd 100 km/u bereikte. Binnen 24 u had het centrum van de depressie zich over 1100 km van Schotland naar het zuiden van de Baltische Zee verplaatst. Het meest karakteristieke feit van de storm van 1877 was de ongewoon krachtige invasie van koude polaire lucht aan de achterzijde van de depressie; deze stroming werd veroorzaakt door een over het ZW van Frankrijk opdringend hoge-drukgebied, dat ertoe bijdroeg dat er zich gedurende meer dan 18 uur een sterke drukgradiënt over de Noordzee instelde.
- Op 11 maart 1906 verplaatste een in wording zijnde depressie zich zeer snel van NW-Ierland naar de Noordzee, terwijl ze zich snel uitdiepte. Aan de Belgische kust had de wind op genoemde datum aan 80 km/u uit WZW gewaaid. Op 12 maart was hij naar WNW gedraaid bij een snelheid van 77 km/u. Intussen was de insnoering der isobaren tussen Schotland en Denemarken dusdanig geworden, dat de gradiëntwind er zeker 100 km/u overtrof. Van 18 u op 11 maart tot 12 maart 's avonds, waaide de wind ononderbroken met stormkracht, daarbij zorgde hij ervoor dat rechtstreekse polaire lucht uit het noorden over het grootste deel van de Noordzee uitvloeide, aldus het water naar de zuidelijke kusten ervan opstuwend.

- In 1930 was de situatie door zekere omstandigheden verschillend van de twee vorige stormen. Op 22 november verscheen rond 8 u ten oosten van Ierland een kleine kern, tussen NO-stromingen, instandgehouden door een anticykloon, die boven IJsland lag, en ZW-stromingen, die over Zuid-Engeland en de Noordzee waaiden. Hoewel de depressie zich niet uitgediept had, toch was de weercirkulatie op 23 november om 8 u totaal veranderd van uitzicht: een welgevormd depressiecentrum bevindt zich over Denemarken, het Skager-Rak en het zuiden van Noorwegen, terwijl een krachtige aanvoer van polaire lucht de Noordzee en West-Europa teistert en er boven Bretagne en Midden-Frankrijk een beweeglijke rug van hoge luchtdruk verschijnt.
- In 1949 verschijnt op 28 februari om 8 u op de weerkaart ter hoogte van de Britse kust een recente maar toch goed gevormde depressie; ze verplaatst zich eerst naar het OZO, daarna recht naar het ZO; op dezelfde wijze als in 1953 worden de trajektoriën naar het zuiden omgebogen. In dit geval echter volgt de verplaatsing van de storing, tenminste tussen 8 en 18 u, de klassieke wet en de verplaatsing van het centrum geschiedt nagenoeg evenwijdig met de richting der isobaren uit de warme sektor.

Bovendien diept de depressie zich snel uit en het is pas tussen 18 u en 8 u van de volgende dag dat haar baan naar het ZO draait. In de nacht van 28 februari op 1 maart waait de wind aanvankelijk uit westelijke richting, daarna zeer krachtig uit NW na de doortocht van het koufront. Op 1 maart 's morgens zit de wind recht in het noorden op zee en in het NNW aan de kust, waarbij de berekende snelheid zowat 105 km/u aan de kust bedraagt, terwijl ze 350 km meer noordelijk 115 à 120 km/u moet hebben bereikt. Merken we echter op dat van genoemde snelheden 25% moet worden afgetrokken om de snelheid op zeeniveau te bekomen (wrijvingseffekt).

In elk van de vermelde verwoestende stormen heerste er over de gehele Noordzee een sterke NW- tot N-stroming, hetgeen een rechtstreekse inval van polaire lucht betekent.

Zelfs wanneer men alle stormen sinds 1877 onderzoekt, die hogere waterstanden dan (+ 6,00) bereikten, telkens blijkt de voornaamste oorzaak van de geweldige deining van de zee de inval van polaire lucht uit WNW tot N te zijn; er is geen uitzondering op deze regel.

Vanzelfsprekend zijn de oorzaken van deze invallen veranderlijk: nu eens is het een kleine depressie die zich uitdiept op haar weg van Schotland naar Denemarken, dan weer een diepe depressie die in 24 uren van Schotland naar de Baltische zee trekt; veelal echter gaat het passeren van een depressie ten noorden van onze streken gepaard met de nadering van een anticykloon uit het westen of het zuidwesten, die over de Noordzee een hoge drukgradiënt in stand houdt gedurende minstens 36 u.

Het is dus niet uitgesloten dat er te Oostende een hoge waterstand voorkomt, hoewel de windkracht er zeker niet buitengewoon is. Maar in dit geval treft men de stormwinden veel meer noordwaarts aan, tussen Schotland en Denemarken. Het blijkt dus, dat de opwaaiing zich ver kan voortplanten, alhoewel er zich toch een zekere demping voordoet, zoals bij de deining. Maar de orkaanhoogwaterstanden vallen toch veelal samen met krachtige NW winden in de omgeving van onze kust.

§ 6. Verband met de Zon - Maan - Getijden.

Een zware noordwesterstorm volstaat niet om een gevaarlijk hoge zee te krijgen; in feite is het vooral de coincidentie van een zware noordwesterstorm met hoge zon - maan - getijden, die de katastrofale hoogwaterstanden veroorzaakt.

Het is inderdaad zo dat de getijdehoogten variëren met de respektievelijke standen van zon en maan ten opzichte van de aarde.

Wanneer men de hoogste waterstanden uit een bepaalde periode (bijvoorbeeld 50 jaar) uitzet in functie van de onderscheiden maantijdstippen (fig 2), dan merkt men dadelijk op dat de overgrote meerderheid van de hoogste waterstanden overeenkomen hetzij met nieuwe maan, hetzij met volle maan; in

'talgemeen volgt de hoogwaterstand 2 dagen op het doortrekken van de maan. Uitzonderlijke omstandigheden buiten beschouwing latend, mag men zeggen dat het voorkomen van een zware storm slechts gevaarlijke waterniveaus kan veroorzaken in de periode gaande van één of twee dagen voor de nieuwe (of volle) maan tot de vier of vijf navolgende dagen.

Er dient opgemerkt te worden dat, in de lente, de vollemaangetijden 30 tot 50 cm lager zijn dan de nieuwe maangetijden, terwijl in de herfst de vollemaangetijden de nieuwemaangetijden overtreffen.

Uit de astronomische eigenschappen mag men echter niet onmiddellijk besluiten dat de katastrofale waterstanden zich altijd in de lente of in de herfst zullen voordoen : in werkelijkheid blijft de invloed van de wind overwegend.

§ 7. Statistische benadering van de grote katastrofale stormen.

Uit het werk van E. Vanderlinden kunnen we de verdeling opmaken van de zeeoverstromingen vanaf het jaar 800 tot in onze tijd. Alle gevallen zijn in fig. 11b opgetekend. Het valt op dat de grootste puntendichtheid zich einde januari en half november voordoet. Op deel a van de figuur zijn de hoogste waterhoogten te Oostende sinds 1877 vermeld. Ook hier blijken januari en november de meest waarschijnlijke maanden te zijn, waarin katastrofen kunnen voorkomen.

Fig. 12 geeft onder histogramvorm de frekwentie van de overstromingen vanaf het jaar 800 tot 1953, gegroepeerd maand per maand : de meest waarschijnlijke datum is 12 november; 68% van de gevallen komen voor tussen 10 oktober en 1 februari en 91% tussen 20 september en 20 maart.

Het zou nochtans gewaagd zijn op grond van deze statistische gegevens, de waarschijnlijkheid te berekenen van het voorkomen van een vloed met bepaalde waterhoogte; het aantal gevallen waarover men beschikt is relatief beperkt, aangezien men nog geen 100 jaar regelmatige waarnemingen van de waterhoogten verricht en aangezien men zeker over geen betrouwbare

windsnelheidsmetingen op zee of aan de kust van de laatste 100 jaar beschikt.

Natuurlijk kan men een ruwe schatting maken van deze waarschijnlijkheid door de wiskundige kurve zo goed mogelijk te extrapoleren op basis van de gegevens waarover men beschikt. Maar men mag niet uit het oog verliezen dat deze kurve des te onzekerder wordt, naarmate men zich verder van de gewone waarden verwijderd en dus het terrein der ongewone waarden betreedt, die de facto zeldzamer zijn.

Bovendien moet men er rekening mee houden dat een bepaald verschijnsel, waarvan men berekend heeft dat het slechts een waarschijnlijkheid heeft om éénmaal op vijftig of honderd jaar voor te komen, zich daarom niet over honderd jaar zal voordoen, maar ook bijvoorbeeld morgen kan gebeuren. Hoewel men op basis van deze redenering de waarde van de waarschijnlijkheidsberekening in twijfel kan trekken, toch is het zeker niet zinloos deze berekening uit te voeren, bijvoorbeeld om te zien hoe groot de waarschijnlijkheid voor de ramp van 1953 was, om het niveau van 7,20 m te Oostende (zoals op 1 februari 1953 om 0 u) te bereiken.

Wanneer men in dit verband de waarnemingen van 1877 tot 1918 en van 1924 tot 1949 gebruikt, dus over een periode van 67 jaar, kan men met behulp van een gewone kurve de waarschijnlijkheid berekenen van het voorkomen van bepaalde niveaus over een periode van 1000 jaar.

Als men in deze berekeningen ook de invloed van het niveau van 7,20 m, in 1953 bereikt, meerekent, komt men vanzelfsprekend tot een andere waarschijnlijkheid.

Volgende tabel geeft de resultaten, die men met dergelijk procédé bekomt als men enerzijds (a) geen rekening houdt met de uitzonderlijke waterhoogten van 1953 en men er anderzijds (b) wel rekening mee houdt.

niveau hoger dan	6,50m	6,60m	6,70m	6,80m	6,90m	7,00m	7,10m	7,20m
a) waar- schijnlijk- heid	41,87	24,18	11,91	4,92	1,70	0,76	0,30	(0,001)
b) in ‰	88,01	67,37	44,72	27,29	13,74	6,42	2,67	1,50

Men moet evenwel opmerken dat deze cijfers niet zonder meer aan te nemen zijn daar de waarnemingsperiode relatief klein is en het verloop van de kurve zeer onzeker bij de kleine aantallen uitzonderlijke gevallen.

Beperkt men de probabiliteiten tot de beschikbare 68 jaar, dan bekomt men volgende tabel :

niveau hoger dan	6,50m	6,60m	6,70m	6,80m	6,90m	7,00m	7,10m	7,20m
a) waar- schijnlijk- heid	2,85	1,64	0,81	0,33	0,12	0,05	0,02	0
b) over 68 jaar	5,95	4,58	3,04	1,85	0,93	0,44	0,18	0,1
aantal waar- genomen ge- vallen	4	2	2	2	1	1	1	1

Vergelijkt men theorie en werkelijkheid, dan ziet men dat de schatting (b) vrij goed met de feiten overeenstemt, terwijl schatting (a), die de enige was die men voor 31 januari 1953 kon maken, waterhoogten boven 7 m praktisch uitsloot.

Men kan dus hieruit besluiten dat de waarschijnlijkheid om te Oostende andermaal een niveau van 7,20 m te bereiken, van de orde van 0,001 is (ongeveer 1 maal in 680 jaar) en de waarschijnlijkheid om 7 m te bereiken ongeveer 0,006 is (dus 1 maal in 150 jaar).

Uit deze cijfers kan echter nog een andere konklusie getrokken worden: neemt men aan dat de opsomming van de overstromingen, die aan de zee toe te schrijven zijn, nagenoeg volledig is in het werk van E. Vanderlinden, dan komt men aan een gemiddelde frekwentie van 5,5 overstromingen per eeuw, dit volgens tabel (b). Dit zou erop wijzen dat de kritieke water-

hoogte ongeveer 6,65 m is; vanaf dit niveau wordt de schade aanzienlijk. Met een andere methode kwam R. Sneyers tot 6,35m als kritieke cota.

Bij de meest recente overstromingen in de jaren 1825, 1877, 1906, 1930, 1944, 1949 en 1953 werden waterhoogten bereikt van respectievelijk 6,78 m, 6,88 m, 6,54 m, 6,58 m, 6,40 m en 7,20 m. Men mag dus wel zeggen dat vanaf 6,50 m er dreiging, zoniet zekerheid is betreffende plaatselijke overstromingen, waarvan de omvang snel toeneemt, naarmate het waterniveau stijgt. Deze statistische gegevens tonen aan dat dergelijke rampen zich gemiddeld zes maal per eeuw voordoen.

Merken we echter op dat het niveau van 6,50 m op zichzelf niet zo gevaarlijk zou zijn bij kalme zee en met dijken die in perfecte staat verkeren, aangezien het laagste peil van de kruin van de zeedijken zich theoretisch op 9 m bevindt.

Maar het effect van de deining en van de golven, die periodiek tegen de toppen van de dijken beuken en deze plaatselijk beschadigen door er bressen in te slaan, is waarschijnlijk de hoofdoorzaak van plaatselijke rampen, zelfs bij niveaus die ogenschijnlijk ongevaarlijk lijken.

Dit verklaart waarom in 1949 de windsnelheid bij ons op zeepeil 80 km/u bedroeg en er toch schade werd aangericht, doordat de wind meer noordelijk aan meer dan 90 km/u waaide.

Een ander recent geval (10 september 1953) toont aan, dat met een wind van 45 à 60 km/u en een zeepeil, dat volgens de diagramma's van Schalkwijk slechts (+ 5,00) moest bedragen, er toch zeer lichte schade vastgesteld werd, doordat de golven tegen het dijksbeloop opliepen tot aan de top, dus tot (+ 9,50) te Heist.

De bepaling van de hoogte van de deining, door de grafieken van Munk toe te passen voor een windveld van 1000 km en een windsnelheid van 50 km/u, leidt tot golfhoogten van ongeveer 3 m, die, wanneer de golven aan de kust gebroken worden, aanleiding geven tot een golfopslag van ongeveer 4,50 m.

HOOFDSTUK II

Storm en stuwing : de opwaaiing van het water.

Wat gebeurt er eigenlijk, als er een stormvloed is ?

Een ongenueanceerd antwoord op deze vraag zou als volgt kunnen luiden: het water wordt door de wind op een hoop gewaaid. Zich op deze uitlating baserend, zou men het idee kunnen hebben dat het waterpeil steeds maar hoger wordt in de richting, waarheen de wind het water stuwt, bij kontinu aanhoudende windkracht. In werkelijkheid gebeurt dit niet, doch nadert de waterstand tot een zekere stationaire toestand, waarbij evenwicht bestaat tussen de onderscheiden aangrijpende krachten. Men kan zich de vraag stellen hoe deze evenwichtstoestand best kan gekarakteriseerd worden. De ondervinding heeft geleerd dat dit best kan geschieden door de helling of het verhang van het zeeoppervlak aan te geven, veeleer dan met de waterhoogte op een bepaalde plaats.

Voor al bij het optreden van stormvloeden is de helling die het water aanneemt van het ene uiteinde van het stormveld naar het andere, een maat voor de hevigheid van de storm. Wel heeft het zijn belang het verband op te stellen tussen deze gemiddelde helling en de plaatselijke waterhoogten. Dit verband hangt af van de randvoorwaarden. In het geval van de Noordzee bijvoorbeeld heeft men enerzijds in het noorden de verbinding over grote breedte met de Atlantische Oceaan, waardoor het waterpeil aldaar betrekkelijk konstant is (op het astronomisch getijde en de atmosferische storingen van de Oceaan zelf na) en anderzijds het Nauw van Kales, dat als een sterk insnoerende fleshals dienst doet. De noordkant van de Noordzee geeft dus in eerste benadering een min of meer vaste lijn en de helling van het Noordzeeoppervlak bepaalt vervolgens de waterstanden langs haar omtrek, dus bijvoorbeeld in het zuiden, langs onze kust en deze van ZO-Engeland. Dit verklaart tevens waarom langs de Engelse kust een verhoging van het waterpeil kon optreden op plaatsen waar de wind aflandig was en waar dus het water van het land afgejaagd had moeten zijn volgens de hierboven vermelde ongenueanceerde zienswijze.

Het is dus de scheefheid van het zeeoppervlak dat we als fundamenteel verschijnsel zullen aannemen. Het is de bedoeling het verband aan te geven tussen deze scheefheid en het windveld. Tot nu toe werd gehandeld over de helling van het zeevlak. Het is echter duidelijk dat in het algemeen het zeeoppervlak - ook bij verwaarlozing van lokale storingen, zoals de gewone zeegolven of de invloed van windbuien - niet overal even scheef staat, zelfs niet in een eerder beperkt gebied, zoals de Noordzee, omdat de factoren, die de helling bepalen, niet overal gelijk zullen zijn. Het ware dus wellicht beter te spreken over de "vorming van het watervlak". Deze vorming kan in bepaalde gevallen ook wel het karakter dragen van een ware "waterberg" of van een deiningsgolf.

Merken we nog op dat we geen rekening houden met astronomisch getijde en met het luchtdrukeffekt; dit laatste is immers van veel eenvoudiger structuur en van geringere afmetingen dan de opstuwing door de wind.

Wat nu het verband betreft tussen windveld en opwaaiing van het water, is het duidelijk dat de eenvoudigste situatie deze is die optreedt na een voldoende lang aanhoudende wind over een zeker windveld of "fetch", nl. de stationaire toestand, waarbij er evenwicht tussen de in het spel zijnde krachten heerst.

Welke zijn die krachten ?

- a) de aandrijvende uitwendige kracht, dus het uitwendig windveld. Dit windveld oefent op het water schuifkrachten uit, die kwadratisch variëren met de snelheid van de wind. Deze kracht is de uiteindelijke oorzaak van het scheef staan van het watervlak.
- b) de terugroepende kracht, die steeds streeft naar een horizontale waterspiegel. Bij voldoende homogene watersamenstelling uit deze kracht zich door een op alle diepten heersend drukverval in de richting van het verhang van het zeeoppervlak. Deze kracht is vanzelfsprekend evenredig met de mate, waarin de stand van het zeeoppervlak van de horizontale afwijkt, dus met de helling van het oppervlak.

- c) door de twee vorige krachten wordt een cirkulatie in het leven geroepen: immers de schuifkracht veroorzaakt door de wind, werkt op een zeer dunne laag aan het oppervlak, in de richting van de wind, terwijl de over heel de diepte aanwezige terugroepende kracht in tegengestelde zin gericht is; aldus stroomt het water in de bovenste lagen in de richting van de wind en beneden de diepte, waar de krachten onder a) en b) elkaar compenseren, in tegengestelde zin en dit tot aan de bodem. Maar deze bodemstroming impliceert dan ook dat er wrijving met de bodem optreedt. Deze wrijving heeft de tegengestelde zin van de stroming aldaar en is dus in de zin van het windveld gericht. De grootte ervan kan men in de eerste benadering evenredig onderstellen met de snelheid van het water in de nabijheid van de bodem; deze snelheid is des te kleiner naarmate de waterhoogte groter is, maar anderzijds evenredig met het algemeen tempo der cirkulatie. Deze wrijvingskracht wordt dus groter naarmate het water ondieper is.
- d) Ook de aardrotatie heeft haar uitwerking op het water, en wel door de Corioliskracht, die in het noordelijk halfrond loodrecht naar rechts gericht is op de snelheidsvektor. Hieruit volgt dan ook dat bijvoorbeeld bij rivieren in het noordelijk halfrond de rechteroever in een recht pand meer aangetast wordt dan de linkeroever. Deze uitwerking kan op enkele plaatsen effectief worden waargenomen.

De Corioliskracht heeft bij een homogeen windveld in het stationaire gebied slechts geringe invloed. Zien we daar voorlopig van af, dan krijgen we dus in hoofdzaak het evenwicht tussen enerzijds de schuifspanning door de wind en de in het algemeen veel kleinere bodemwrijving (die van deze schuifspanning onrechtstreeks afhankelijk is) en anderzijds de drukvalkracht (terugroepkracht), die evenredig is met de helling van het wateroppervlak. Daar deze laatste kracht doorheen de gehele watermassa werkt, kunnen we haar voor een verticale waterkolom op een bepaalde plaats sommen van boven tot onder, zodat, als deze waterkolom voldoende homogeen is, de totale kracht, door de drukval veroorzaakt, evenredig is met de diepte van de zee.

Wegens de onderlinge afhankelijkheid, wordt de terugroepkracht (en dus de helling aan het oppervlak) bepaald door de primaire kracht, zijnde de wrijving van de wind op de bovenste dunne waterfilm.

In deze al ideële stationaire toestand, is het eenvoudigst mogelijk geval dat waarbij een homogeen windveld heerst over een afgesloten zee, die overal even diep is. In dit geval wordt de helling overal dezelfde en wel evenredig met het kwadraat van de windsnelheid en omgekeerd evenredig met de diepte : het zeeoppervlak gaat dan als een plat vlak scheef staan en de opstuwung op een bepaalde plaats hangt dan verder af van de richting, waarin het scheef staat, dus van de richting in planzicht van de rechte van grootste helling.

In de praktijk evenwel zijn noch de diepte noch de windsnelheid overal dezelfde. De hellingen worden daardoor van plaats tot plaats verschillend en het zeeoppervlak krijgt daardoor een zekere gebogen vorm. Principieël echter blijft de zaak in zekere zin eenvoudig: het zeeoppervlak neemt één bepaalde stand aan, bepaald door het tweedimensionale windveld. Deze stand bepaalt in elk punt de opstuwung of "de stuw".

Een ander verschil tussen theorie en praktijk is het volgende : een stormveld blijft steeds uiterst zelden zolang konstant dat de vermelde evenwichtstoestand zich instelt. Men kan zich de vraag stellen of het dan nog wel zin heeft die evenwichtstoestand nauwkeurig te onderzoeken.

Het antwoord is positief om volgende reden : op elk moment kan men zich bij het gegeven windveld die evenwichtstoestand voorstellen als een virtuele streeftoestand, dit wil zeggen : de toestand waarnaar de werkelijke toestand op elk moment streeft, maar die zich tevens van oogenblik tot oogenblik wijzigt. De reactie van het zeewater op het veranderende krachtveld kan bijgevolg vergeleken worden met de reactie van een meetinstrument op een voortdurend veranderende te meten grootheid (bv. een galvanometer, die de veranderingen van een stroomsterkte tracht te volgen). Verandert de stroom langzaam, dan is de stand van de galvanometer altijd behoorlijk in overeenstemming met de stroomsterkte. Verandert de

stroom echter snel, dan ijlt de wijzer van de galvanometer de ogenblikkende waarde van de stroom na of schiet op een bepaald moment omwille van zijn traagheid over de evenwichtstoestand heen en dit naargelang de mate van demping van het instrument.

De analogie kan nog verder doorgetrokken worden: ook de massa van een zeebekken heeft haar eigen traagheid, waardoor de stand B van het oppervlak op de streefstand A naijlt, maar daar ook tijdelijk over heen kan schieten, wanneer deze streefstand A plots een maxima vertoont (zie fig 13). Deze traagheid bepaalt verder voor elke schommelrichting een eigen slingerperiode van de watermassa (in feite een Fourier-reeks van slingerperioden, met grondtoon en boventonen). Door inwendige wrijving is er bovendien demping. Deze demping is bijna altijd onvoldoende groot om, bij snel veranderen van de streefstand, te verhinderen dat het systeem om de nieuwe evenwichtstoestand oscilleert (fig 14), juist zoals bij een niet voldoende gedempt meetinstrument. Men heeft hier dus te doen met de gedempte, oscillerende trilling, die zeer goed wiskundig te benaderen is. Evenwel is het Noordzeesysteem heel wat ingewikkelder dan het eenvoudig meettoestel: de streefstand van het Noordzeeoppervlak omvat immers niet één waarde, maar een tweedimensionaal veld van waarden. Dit maakt het schommeleffect bijvoorbeeld onmiddellijk al veel ingewikkelder: eigenlijk blijft het nu niet meer bij een schommeleffect, maar wordt het in 't algemeen een golfeffect.

Het eenvoudigste geval doet zich voor bij een min of meer homogeen windveld (homogeen vooral wat de windrichting betreft). Gaat dit windveld plots optreden of plots wegval-
len, dan zal toch een min of meer eenvoudige schommeling van de zee als geheel optreden. Vanzelfsprekend zal de periode afhankelijk zijn van de richting waarin het zeeoppervlak schoef stond; men kan immers zowel schommelingen in de dwarsrichting als in de lengterichting hebben, alsook de tussengevallen. In de lengterichting van de Noordzee kan men dergelijke schommeling beschouwen als een staande golf in een aan één kant open zijnde orgelpijp. Als complicatie komt hier

nog het "lekverlies" in het Nauw van Kales bij. Het blijkt dat in de Noordzee de schommeling in lengterichting een eigen trillingsperiode heeft van nagenoeg 40 uur.

Bij meer gekompliceerde gevallen kan men echter dikwijls van een ware "vloedgolf" spreken, die, wanneer hij niet meer aan de streeftoestand beantwoordt, zich in verschillende richtingen een weg baant.

De werkelijkheid is dus heel wat ingewikkelder. Bovendien verwaarloosden we tot nog toe de invloeden van de Corioliskracht en van het luchtdrukeffekt. In een baai als de zuidelijke Noordzee wordt een eenvoudige (vrije of gedwongen) schommeling door de kracht van Coriolis omgezet in een ingewikkelder beweging, namelijk een langs de kusten rondgaande golf (fig 14a) zoals de gewone getijdégolf er trouwens ook een is: tijdens de zuidwaartse toestroming van de watermassa wordt deze naar rechts afgebogen en hoopt het water zich als het ware op tegen de Engelse kust. De tocht van Dunbar (Schotland) tot Southend duurt ongeveer 9 u. Door weerkaatsing op de Engelse kusten zal de vloedgolf zich dan naar de kontinentale kusten verplaatsen en vervolgens langs de Nederlandse, Duitse en Deense kusten terug naar het noorden trekken tengevolge van de terugroepende kracht, die zich liet gelden op het ogenblik van de sterke waterophoping in het zuidelijk Noordzeebekken. Er verlopen aldus ongeveer 24 uren tussen de tijdstippen waarop de maximale stuw zich te Aberdeen en te Bergen (Noorwegen) voordoet.

De opstuwing plant zich tevens verzwakt voort in het Kanaal via het Nauw van Kales. Ook in de estuaria van de Theems en de Schelde dringt ze door, hier echter met verwaarloosbare demping.

Naast de storingen door de wind zijn er ook nog de storingen door de druk. Daar met 1 mbar de druk van nagenoeg 1cm waterkolom overeenkomt, is het goed mogelijk dat het drukeffekt bij sterk uitgediepte depressies wel eens enkele decimeters kan bedragen. Uit experimenten kon men echter afleiden dat de verhoging van het waterpeil veelal beneden de theoretische evenwichtswaarde blijft. In één enkel geval kan de verhoging evenwel meer bedragen: namelijk wanneer de depressie

zich verplaatst met een snelheid, die ongeveer gelijk is aan de voortplantingssnelheid van een lange golf in het beschouwde bekken : men heeft dan in feite met een soort resonantie te doen.

Algemeen kan men de storingen door de wind onderverdelen in uitwendige en inwendige stuwen:

- I) De uitwendige storingen worden opgewekt buiten de Noordzee, doch laten hun invloed van het noorden of zuiden uit ook in de Noordzee voelen. We onderscheiden nu nog de storingen komend uit zuidelijke en uit noordelijke richting.
 - I a) Een opwaaiing in het Kanaal zal via het Nauw van Kales ook merkbaar worden in de zuidelijke Noordzee. Daarenboven zal ook de Corioliskracht de noordwaarts door het Nauw van Kales trekkende stroom naar rechts (dus naar het vasteland) afbuigen en aldaar een supplementaire verhoging van het waterpeil teweegbrengen.

Het effect van een uit het zuiden komende vloedgolf wordt in de Noordzee echter vlug gering naar het noorden toe : in Hoek van Holland (Nederland) zou men een stuw van slechts 80 cm krijgen indien er over het kanaal een WZW-orkaan zou woeden. Dergelijke WZW-orkaan kan om meteorologische redenen bovendien nooit met een NW-storm over de Noordzee samenvallen.
 - I b) Langs de brede noordelijke opening kan een oppervlaktestoring van uit de Oceaan gemakkelijk de Noordzee binnendringen. Bij een min of meer stationaire toestand op de Atlantische Oceaan is het effect in de Noordzee maximaal voor ZW-wind. De Corioliskracht, veroorzaakt door de aardrotatie, is er dan immers de oorzaak van dat het waterpeil rechts van de stroom (die immers in NO-richting trekt via Noord-Schotland en West-Noorwegen) stijgt; deze verhoging plant zich dan in de Noordzee in zuidelijke richting voort, hierbij eerst de Britse kusten teisterend. Een stationaire NW-wind op de Oceaan, die zich niet tot in de Noordzee uitstrekt, zou een stroming loodrecht erop (naar de Amerikaanse Oostkust) veroorza-

ken, zonder dat er echter in de Noordzee een merkbare stuw ontstaat daar in dit geval de schuifspanning van de wind door de Corioliskracht gekompenseerd wordt.

Merken we echter op dat een storing op de Oceaan slechts zelden stationair zal zijn. Een tijdelijke verheffing van de zee voor de monding van de Noordzee (bv. optredend bij een daar langstrekkend stormveld) zal dan als een vloedgolf de Noordzee binnenkomen en tot op onze kust een stuw teweegbrengen.

In het algemeen zal men bovendien nog moeten rekening houden met terugkaatsing in de zuidelijke Noordzee, wat eventueel kan leiden tot een soort resonantie, hetgeen nog een bijkomende complicatie betekent: het al dan niet optreden van resonantie hangt af van de tijd, binnen dewelke de storing in het noorden voorbijtrekt.

- II) De hoofdoorzaak van onze stormvloeden is en blijft inmiddels de Noordzee zelf : we hebben dan te doen met "inwendige" vloeden. We maken nu verder onderscheid tussen (II a): gestrekte windvelden met een min of meer rechte windbaan, en (II b): gekromde windvelden, die in de onmiddellijke omgeving van een depressiekern optreden, waar de isobaren eveneens vrij sterk gekromd zijn.
- II a) Gestrekte stormvelden op de Noordzee kan men in de eerste plaats onderverdelen naargelang de windrichting. In het stationaire geval komen alleen winden tussen W en N als oorzaak van stormvloeden op onze kust in aanmerking. Dergelijk stormveld kan zich tot de noordelijke helft van de Noordzee of tot de zuidelijke helft ervan beperken of ook ongeveer haar volle lengte beslaan. Zoals Schalkwijk (zie Hoofdstuk I) heeft aangetoond, is de zuidelijke helft verreweg de belangrijkste voor ons. Dit gebied II alleen (fig 15) kan in het uiterste geval reeds een verheffing van 3 m in Hoek van Holland veroorzaken (figuur 8). De noordelijke helft is aanzienlijk dieper en geeft daardoor bij ons hoogstens een zesde deel van wat het zuidelijk gebied onder gelijke omstandigheden vermag.

Zoals reeds hoger werd aangestipt, is het niet-stationaire geval heel wat ingewikkelder dan het stationaire. Zonder er evenwel dieper op in te gaan, menen we toch dat het nuttig is enkele bijzondere uitwerkingen ervan te geven :

- 1) de langs de Noordzeekusten tegen de uurwijzerzin in rondgaande golf (als gevolg van de afdrijvende werking der aardrotatie).
 - 2) het eventueel optreden van een soort resonantie (wanneer het centrum van een stormveld zich met de bijbehorende vloedgolf mee over de zee, bijvoorbeeld van noord naar zuid, verplaatst).
 - 3) het schommelend effect na een plots wegvallende windwerking. Zo kan een zuiderstorm, na te zijn uitgevoed, ons onrechtstreeks een opstuwing bezorgen bij het over de "nulstand" heen en weer schommelen. Ook bij dit schommelen kan er resonantie optreden en wel wanneer een afwaaiing gevolgd wordt door een opwaaiing en er tussen beide een tijdsspanne van ongeveer de helft van de eigen oscillatieperiode (dus voor de lengterichting van de Noordzee en 20-tal uren) aanwezig is.
- II b) Gekromde windbanen vlak bij een depressiekern geven veelal, door het niet-homogeen zijn van het windveld, een beperkte opstuwing.

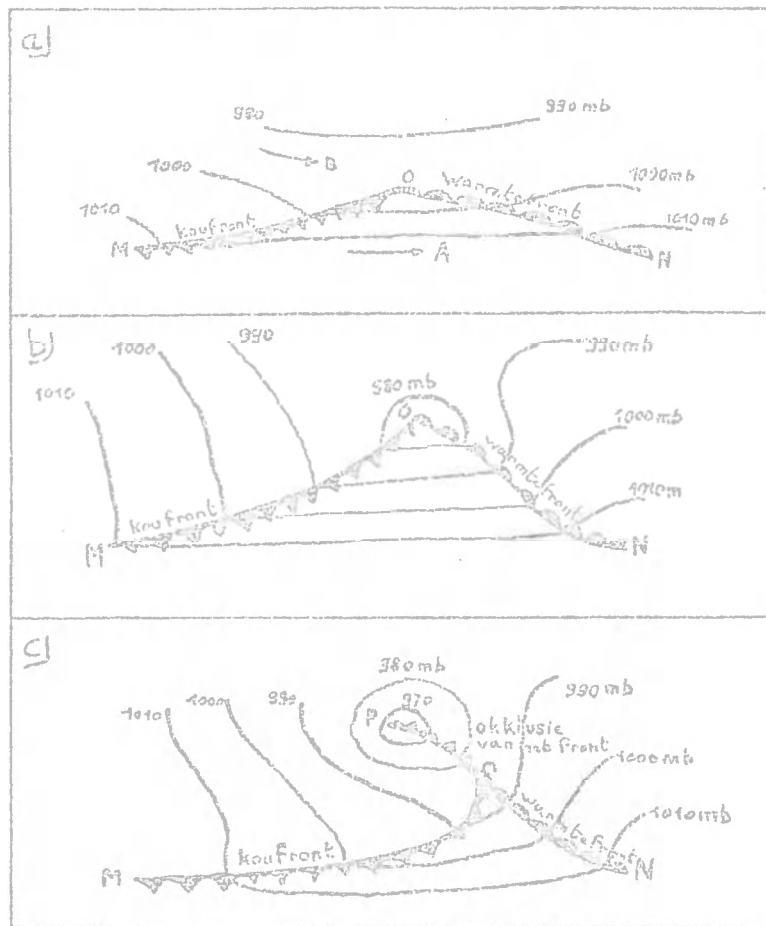


Fig. 1

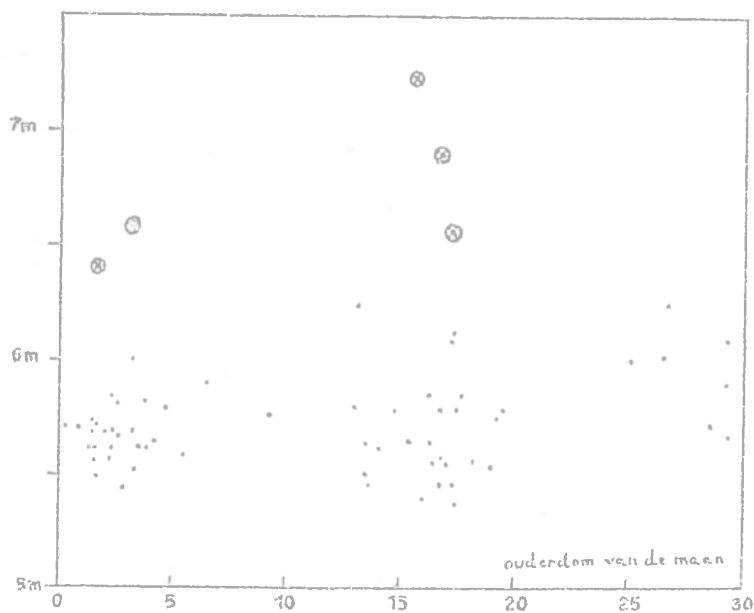


Fig. 2

Fig. 3

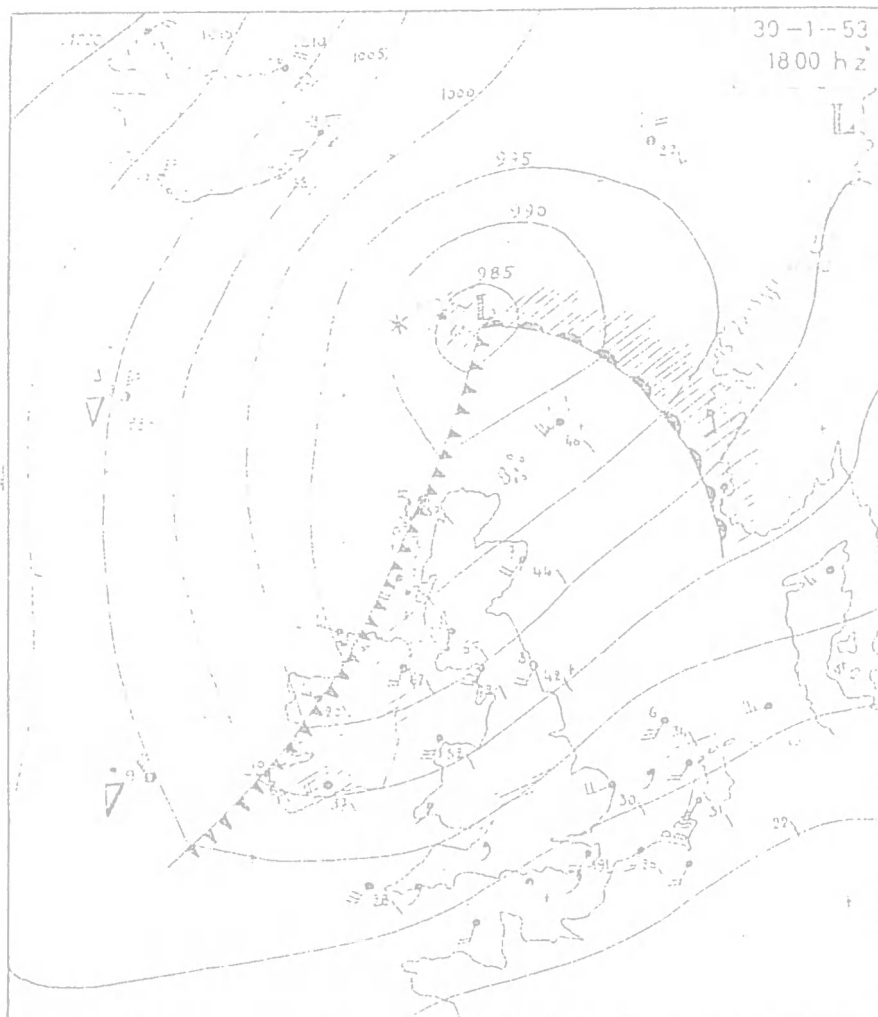


Fig. 4

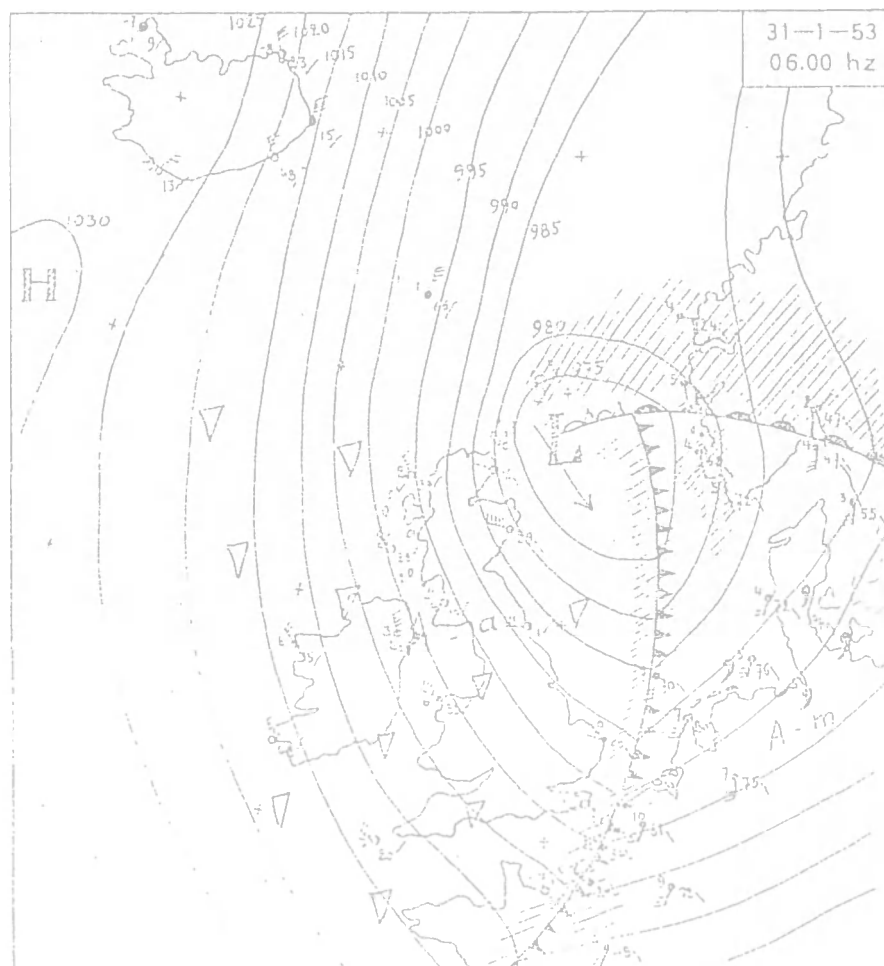


Fig. 5

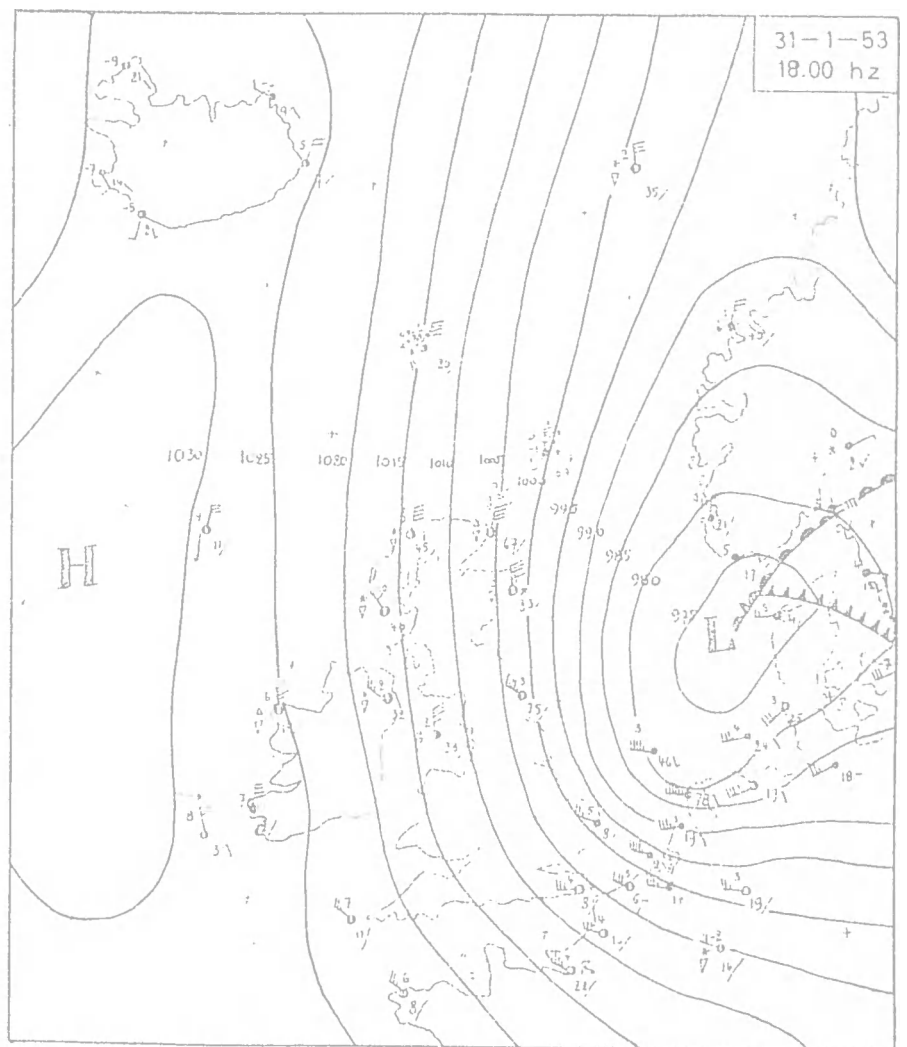
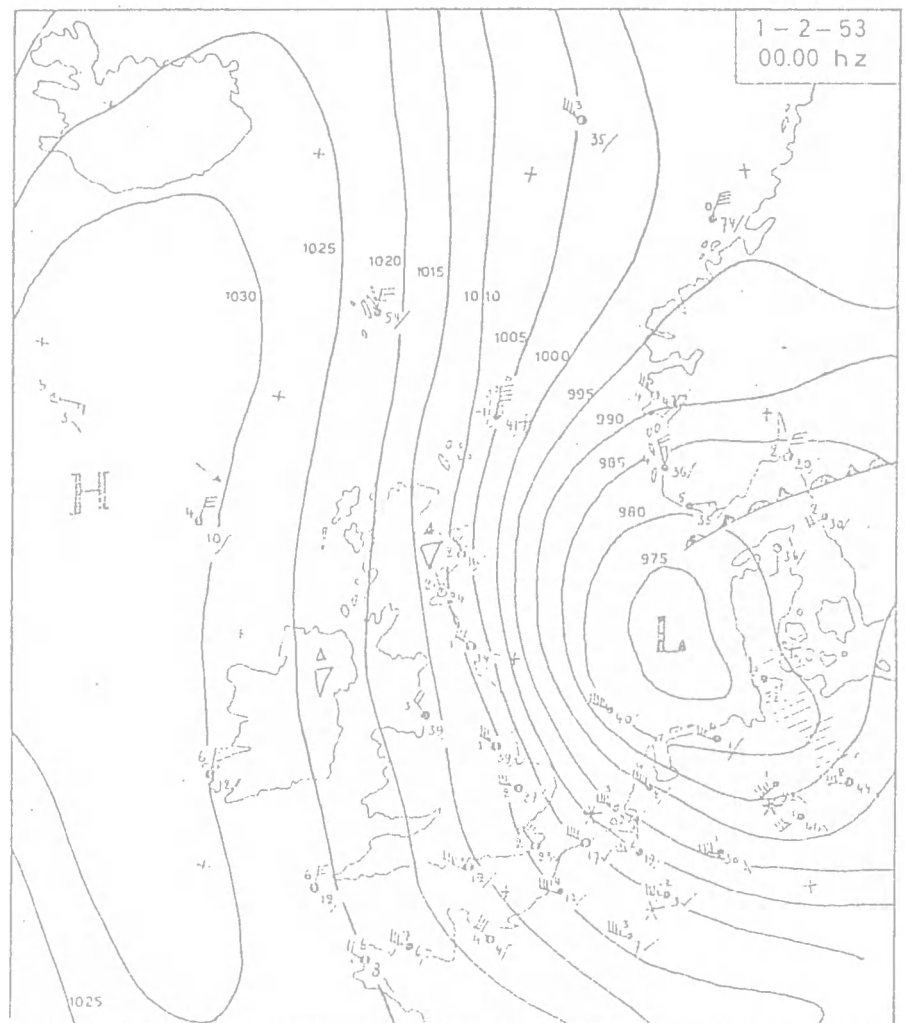


Fig. 6



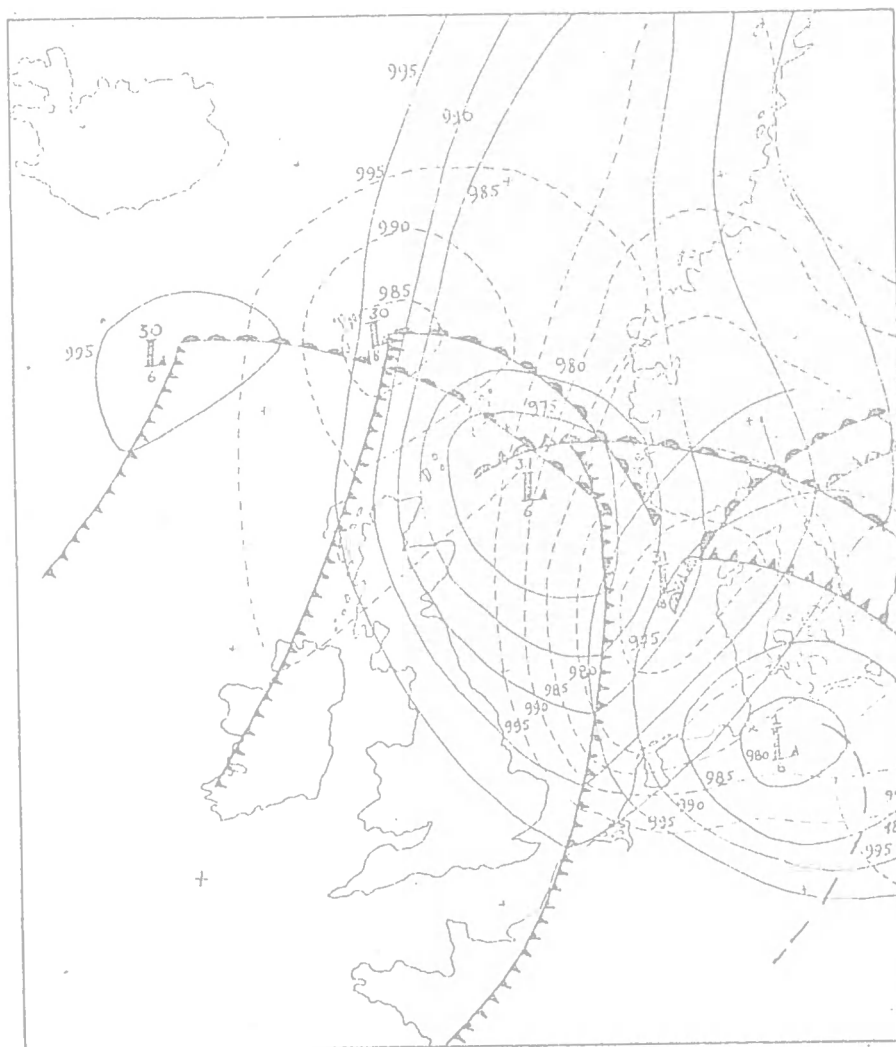


Fig. 7

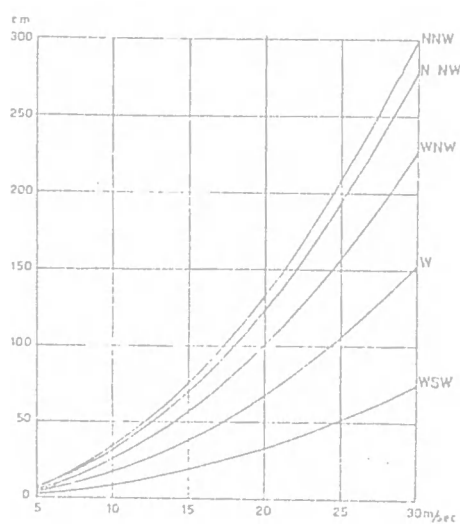


Fig. 8

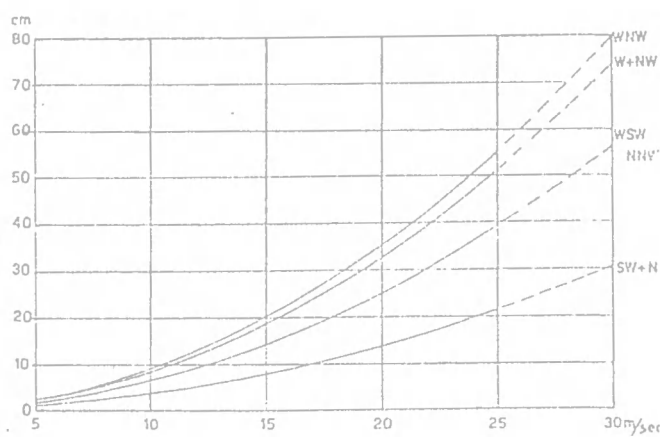


Fig. 9

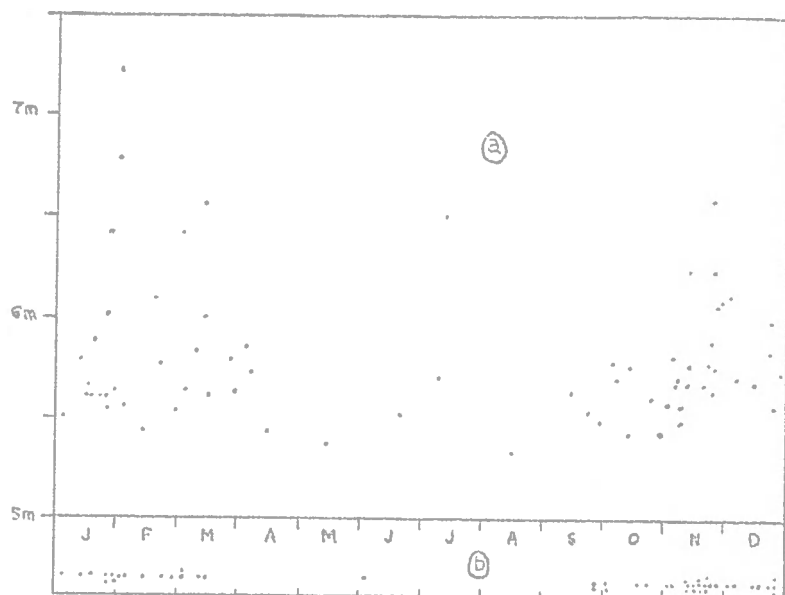


Fig. 11

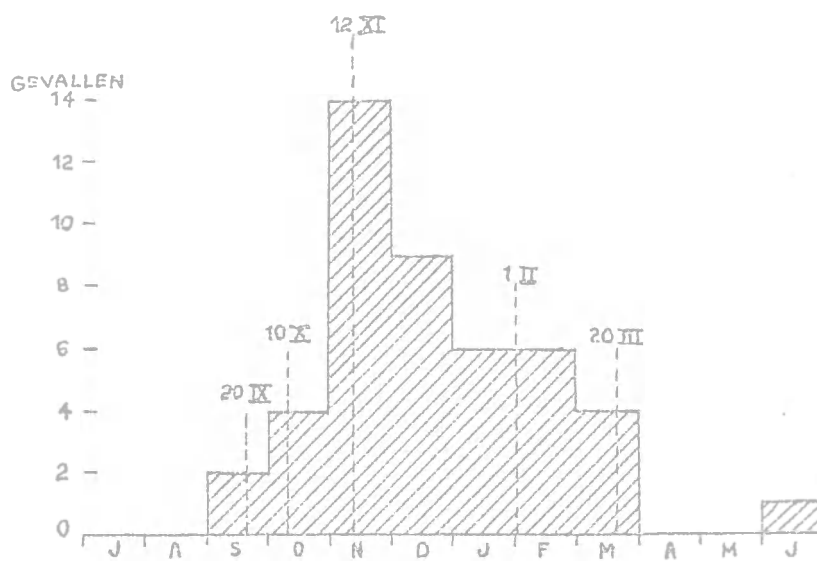


Fig. 12

Fig. 10

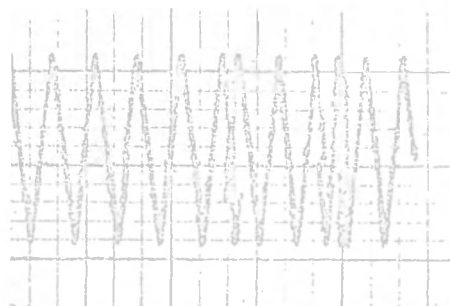


Fig. 13

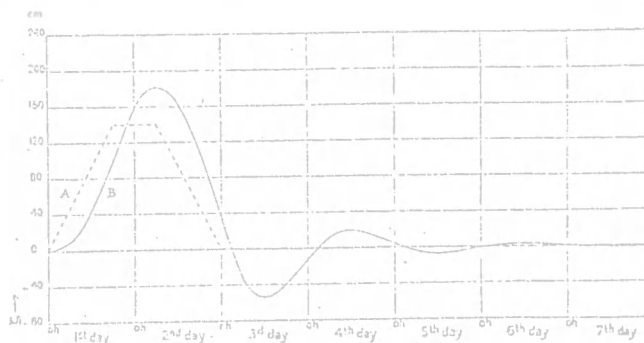


Fig. 14

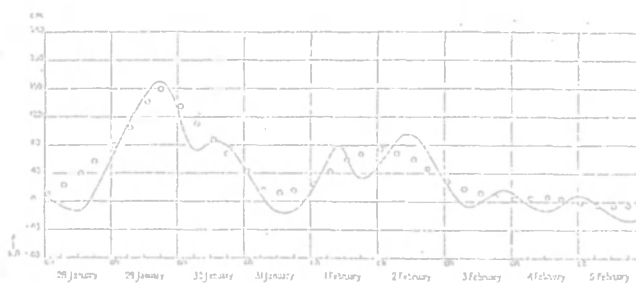


Fig. 15



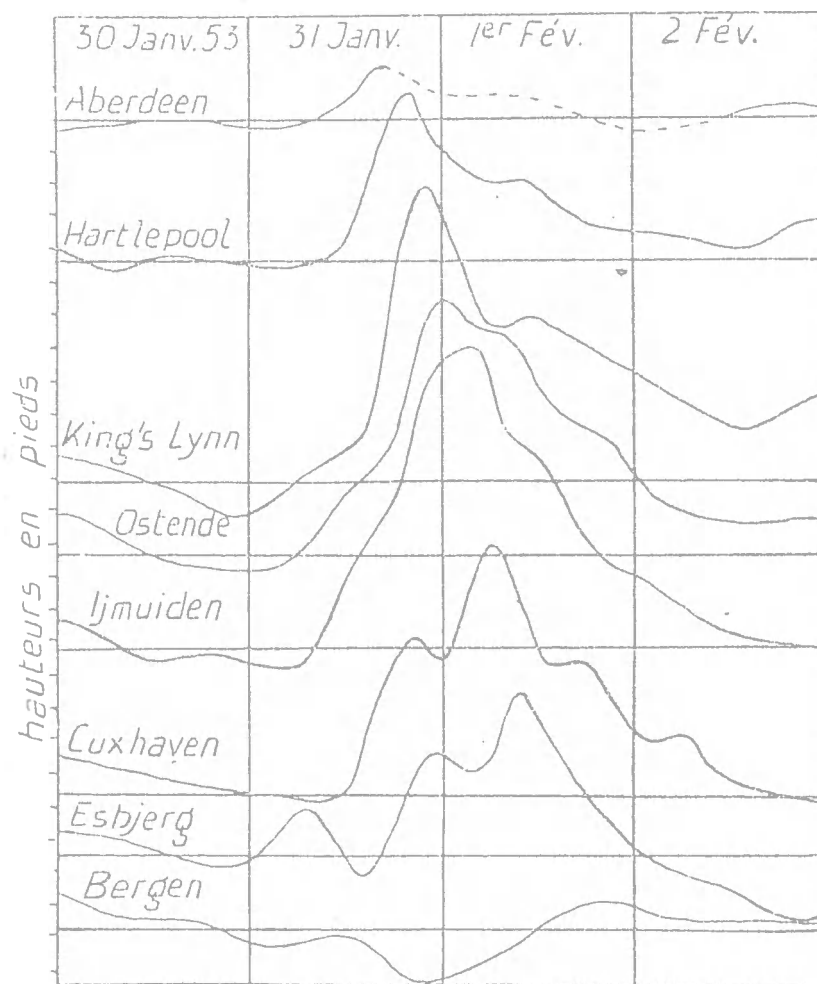


Fig. 14a (naar Rossiter)

D E E L II

=====

HOOFDSTUK I :§ 1. Algemeen overzicht van de toestand en de gebeurtenissen na de ramp.

Het is duidelijk dat de nooit voordien geregistreeerde waterstanden van 1953 het gevolg geweest zijn van meerdere samenlopende ongunstige omstandigheden. Zo kunnen we onder meer opmerken dat er rond 1 februari op een vrij sterk springtij moest gerekend worden (koëfficiënt 83). Het staat echter buiten alle discussie dat de hoofdverantwoordelijke voor de ramp de wind is geweest. Er dient echter te worden opgemerkt dat de windsnelheden gedurende de storm ver van uitzonderlijk waren : de hoogste gemiddelde uurwaarde bedroeg meer dan 25 m/s. Dit cijfer wordt belangrijk overtroffen door bijvoorbeeld de storm van 1 maart 1949, die een maximum uurgemiddelde van 29,5 m/s opleverde. Ook de maximale windstoot van 34 m/s was geen rekord: de storm van 1 maart 1949 liet een maximum zien van 38,5 m/s. Het hoofdaspekt, wat de windwerking betreft, is ongetwijfeld de lange duur van de storm: wanneer men storm definiëert door windsnelheden die 20 m/s (72 km/u) overtreffen, dan blijkt het dat de storm van 1953 niet minder dan 23 uren ononderbroken gewoed heeft. Sinds 1898 had geen enkele storm langer dan 12 uren aangehouden. Het is dan ook de lange duur van de storm van 1953 die de belangrijkste en meest in het oog springende karakteristiek uitmaakt van deze storm. We kunnen ons de vraag stellen of we ook bij deze storm kunnen spreken van een in de Noordzee tegen de uurwijzerzin in rondgaande vloed. Het antwoord is niet direkt op te geven (fig 14a): langs de noordelijke helft van de Britse Oostkust kan men van een lopende vloedgolf gewagen, maar dan geen vrije, maar een gedwongen golf, die mede bepaald werd door de meteorologische omstandigheden en langzamer vooruitkwam dan een vrije golf.

De top van de stormvloed-golf liep namelijk in ongeveer 10 uur van Aberdeen naar Immingham, terwijl een gewone vrije golf (bv. de getijdegolf) daar slechts 5 uur over doet. Rond middernacht is het maximum van de stuw in het zuidelijk deel van de Noordzee ongeveer overal rond dezelfde tijd aangekomen, tenminste van Immingham aan de Engelse Oostkust naar het zuiden en aan het vasteland noordwaarts tot Vlissingen. Via de Nederlandse kust loopt de top van de stuw dan weer verder van zuid naar noord met nagenoeg dezelfde snelheid als de getijdegolf. Ook kunnen we ons afvragen in welke mate we bij deze stormvloed van een evenwichtstoestand kunnen spreken. Na het passeren van de top van de stuw werd dergelijke toestand vrij goed benaderd, daar de windsnelheid dan slechts zeer langzaam verminderde. Voor het maximum kan men echter spreken van een min of meer normale aanloop, met een grote stijgsnelheid van de opstuwing (in Hoek van Holland bijvoorbeeld 150 cm in 6 uur): het kan niet anders dan dat we met een zeker "opzwiepeffekt" hebben te doen gehad. Bij de berekening van de opstuwing achteraf met de methode van Schalkwijk op basis van zorgvuldig geanalyseerde weerkaarten gedurende de rampnacht, bekomt men resultaten, die goed overeenstemmen met de werkelijkheid. Weer Hoek van Holland als voorbeeld nemend, zien we dat de theoretische berekeningen voor de evenwichtstoestand reeds een maximum stuw van 3,00 meter opleveren, terwijl 3,30 m werkelijk is voorgekomen. Afgezien van de onzekerheid die nog aan die 3 m kleeft tengevolge van de begrensde nauwkeurigheid der windgegevens over de Noordzee (er zijn in de Noordzee weerschepen te kort), kan men stellen dat de afwijking van 0,30 m gerust kan toegeschreven worden aan voornoemd "opzwiepeffekt".

Ook de verschuiving in de tijd van de waargenomen waterhoogtekromme - de verlating bedroeg ongeveer 2 uur langs de Nederlandse kust - komt overeen met de bevindingen van Schalkwijk. De achterstand te Antwerpen bedroeg gemiddeld 1 uur voor beide stormhoogwaters. Anderzijds heeft het hoogwater zich in bedoelde nacht opwaarts Antwerpen in de sectie Rupel-Dijle-Nete bijzonder vroeg voorgedaan. De vertraging in Antwerpen tijdens de eerste vloed ('s nachts) is te verklaren

doordat de enorme opstuwing in de Westerschelde veel water in de bocht van Bath ophield en doordat de zijrivieren opwaarts Antwerpen een zekere afzuigende kracht op het water uitoefenden. Tijdens het tweede hoogwater is de verlating vooral toe te schrijven aan de geweldige waterkapaciteit van de door de stroomgaten in de dijken ontstane polderbekkens. De vervroeging in de omgeving van Mechelen en Lier is toe te schrijven aan de algemene NN - ZZO richting van het Scheldedeel tussen Bath en Tielrode en van de monding van de Rupel.

Een andere bezwarende faktor, naast de uitzonderlijke lange duur van de storm, is het zeer groot stormveld of de "fetch" deze bedroeg namelijk meer dan 1500 km, te weten vanaf de parallelcirkel door IJsland tot het Nauw van Kales.

Wie in de mening verkeert dat bij de stormvloed van 1953 alle in het spel zijnde factoren ons ongunstig geweest zijn, zal beslist volgende nog enigszins gunstige elementen uit het oog verloren hebben :

- 1) de bovenafvoer van de Westeuropese rivieren was op het ogenblik van de ramp gering. Het hoeft geen betoog dat de waterstanden nog verscheidene dm hoger zouden geweest zijn indien de storm zich bijvoorbeeld een tweetal dagen had voorgedaan na het voorbijtrekken van een regengebied over onze streken en Duitsland of na een periode, gekenmerkt door een sterke W-stroming (cyklonaal regime). Bij een aanzienlijk minder zware storm in december 1965 bereikte de Schelde te Gentbrugge een merkkelijk hoger peil dan in 1953, toen er aldaar een zeer klein bovendebiet gemeten werd.
- 2) de ramp zou nog groter geweest zijn indien de storm 15 dagen later was voorgekomen, namelijk bij het krachtige springtij van 16 februari, dat gekenmerkt werd door de koëfficiënt 115, tegenover 83 voor dat van 1 februari. Eenzelfde storm had op 16 februari te Vlissingen een bijkomende verhoging van 50 cm veroorzaakt.

Er weze ook nog opgemerkt dat de windsnelheid een zeer onzekere faktor blijft bij het bepalen van de stuwhoogten uit de weerkaarten, wegens het onvoldoend aantal weerschepen op de Noordzee. Daar het windeffekt evenredig is met het kwadraat

van de windsnelheid, geeft de relatieve onnauwkeurigheid der grote windsnelheden boven zee een dubbel zo grote relatieve onnauwkeurigheid van de te berekenen stuwwaarden.

§ 2. De waterhoogten in de ons omringende landen.

De peilen, herleid op het Oostends nulpeil (LLWS) en gemeten afwaarts van Antwerpen op Nederlands grondgebied in de nacht van 31 januari op 1 februari, alsook de afwijkingen met het hoogste peil tot dan toe sinds 1890 waargenomen, zijn de volgende :

Cadzand	7,08 m	0,59 m
Breskens	7,13 m	0,65 m
Vlissingen	6,88 m	0,63 m
Terneuzen	7,29 m	0,69 m (0,73m sinds 1825)
Hansweert	7,40 m	0,47 m
Walsoorden	7,58 m	0,65 m
Bath	7,93 m	0,77 m

Elders in Nederland overtroffen de peilen alle vorige in de volgende mate :

Maassluis, Vlaardingen	0,55 m
Rotterdam	0,44 m
Dordrecht	0,30 m

Het niveau, bereikt door de "surge", lag te Hoek van Holland 3,30 m hoger dan het verwachte normale springtijhoogwater, 2,60 m te Vlissingen, 2,40 m te Duinkerke, 2,00 m te Dover en ongeveer 2,30 m te Southend. De stormvloedkommissie van Nederland was (vóór de ramp) van mening dat de dijkhoogte tegen het jaar 2000 te Hoek van Holland op 4,00 + NAP moest gebracht worden, rekening houdend met de voortdurende relatieve rijzing van het waterpeil ten opzichte van het vasteland. Welnu, op deze plaats werd in 1953 het peil 3,85 + NAP bereikt. Dit cijfer overtreft aanzienlijk de op dat ogenblik als veilig geachte grens. De "opzetten" (d.i. de overschrijdingen door het stormhoogwater van het astronomisch getijde ongeacht het

tijdsverschil tussen beide) worden gegeven in fig. 16 voor de kusten van de Noordzee.

Hierbij is I het hoogwater vóór het ramphoogwater, II het ramphoogwater, en III het hoogwater dat erop volgt. De abcis in deze figuur is de gestrekte weergave van een gestyleerde kustlijn beginnend bij Edinburgh, afzakkend naar het zuiden langs de Engelse Oostkust tot aan het Nauw van Kales en vandaar uit weer naar het noorden trekkend langs de continentale kusten.

Duidelijk merkbaar is het plots toenemend belang van het hoogwater I vanaf het zuiden van de Britse Oostkust en Frankrijk. De onderbroken lijn G is de veronderstelde opzet, wanneer het Nauw van Kales zou afgesloten zijn. Te Vlissingen zou deze bijkomende verhoging nog 50 tot 75 cm bedragen.

De drie opzetkrommen vertonen alle min of meer dezelfde hoofdvorm met een maximum voor de Nederlandse kust. Dit is te verklaren doordat de wind tijdens de hele storm bijna in dezelfde hoek heeft gezeten.

§ 3. De waterstanden langs de Schelde en haar bijrivieren.

Voor wat de Westerschelde betreft, zijn de getijkrommen van de stormvloed voor Vlissingen, Hansweert en Terneuzen opgenomen in fig(17). De figuur vermeldt tevens het stormeffect te Vlissingen en te Hansweert.

De getijdekrommen werden vóór, tijdens en na de stormnacht opgenomen in de verschillende meetplaatsen in het Belgisch Zeescheldegebied. Daar alle krommen nagenoeg hetzelfde verloop hebben, is alleen deze van Antwerpen opgenomen (fig. 18). Uit deze figuur kunnen reeds enkele interessante gegevens gehaald worden: het hoogwater van 31 januari 's avonds blijkt reeds anderhalve meter hoger uit te vallen dan normaal. Het daaropvolgend laagwater ligt reeds 2,8 meter boven de normale waarde. Opmerkelijk is dat de daling slechts 5u 40 min. duurt tegenover 7u 10 min. in normale omstandigheden. De daaropvolgende stijging tot de eigenlijke stormvloedstand op 1 februari 's morgens duurt daarentegen 5u 40 min.

hetgeen 25 minuten langer is dan normaal. De uiteindelijke stormvloedstand werd geschat op NKD (+ 7,85). Gedurende niet minder dan 3u bleef het waterpeil boven NKD (+ 7,00), dit is ongeveer de hoogte van de kaaimuren langs de Schelde. Het daaropvolgend hoogwater komt ook nog 3m boven normaal.

Dit hoogwater (dus van 1 februari 's avonds) bereikt nog het peil NKD (+ 6,71). Dit is ongeveer even hoog als het avondhoogwater van 31 januari. Pas na het avondhoogwater van 2 februari wordt de tijbeweging weer normaal. Besluitend kunnen we dus zeggen dat drie opeenvolgende hoogwaters het peil NKD (+ 6,00) overschreden hebben, namelijk 6,59 m, 7,85 m en 6,71 m.

Een andere karakteristiek van de stormvloed van 1953 is dat er geen snelle stijgingen van de zeespiegel in het Scheldebekken voorgekomen zijn. De grootste amplituden tussen laag- en hoogwater zijn voorgekomen op de Westerschelde (bijvoorbeeld te Vlissingen : 4,8 m en te Hansweert 5,5 m), maar zijn niet abnormaal te noemen, daar ze ook reeds voorkomen bij springtijden met geringe windkracht. Hetzelfde kan trouwens gezegd worden van de grootste stijging per uur : te Vlissingen bedroeg deze 1,60 m en te Hansweert 2,10 m.

Een interessante grafiek (fig 19) is deze die de meetkundige plaats aangeeft van het stormhoogwater van 1 februari 's morgens langs de Schelde en haar bijrivieren. Het blijkt dat de hoogste waterstanden voorgekomen zijn in de omgeving van de Boudewijnsdijk (Liefkenshoek). Van Vlissingen tot Bath lopen de waterstanden op met gemiddeld 2 cm/km. Dit feit is toe te schrijven aan de trechterwerking van de zeearm en tevens aan de sterke opwaaiing op de zeearmen. Eenmaal voorbij de Boudewijnsdijk dalen de maxima met 2,5 cm/km tot Schoonaarde. De verklaring hiervan is dat in deze sectie het doorstromingsprofiel klein is in verhouding tot de waterbergende oppervlakte en dat de weerstandskrachten (wrijving !) er overheersen ten opzichte van de traagheidskrachten.

Opwaarts Schoonaarde liggen de tophoogten nagenoeg op hetzelfde peil. Langs de Rupel is er beduidende demping, namelijk met 4 cm/km en langs de Durme zelfs sterke demping (7 cm/km).

Vermelden we nog dat de waterstanden langs de linkeroever van de Schelde hoger liggen dan langs de rechteroever. Aan de monding van de Schelde nabij Vlissingen bedraagt het verschil ongeveer 25 cm. De oorzaak is tweërlei :

- 1) De Corioliskracht als gevolg van de aardwenteling. Gezien in de stroomrichting, staat de horizontale komponente van deze kracht loodrecht op de snelheid en is in het noordelijk halfrond naar rechts gericht. De grootte van de Corioliskracht is $2v\omega \sin \varphi$, waarin :

v = (relatieve) snelheid van het water

ω = hoeksnelheid van de aarde

φ = geografische breedte

In onze streken ($\varphi \approx 50^\circ$) kan deze kracht bij een watersnelheid van 1 m/s (3,6 km/u) een dwarsverhang van 1,18 cm/km veroorzaken.

In de monding van de Westerschelde zou de waterstand langs de linkeroever ongeveer 9 cm hoger kunnen zijn dan langs de rechteroever bij een watersnelheid van 1,5 m/s (wellicht wat te hoog geschat !)

- 2) De dwarsopwaaiing kan met voldoende benadering berekend worden met de formule $\frac{\alpha w^2}{h} \times L \times \cos$, waarin :

$$\alpha = 0,34 \cdot 10^{-6}$$

w = windsnelheid in m/s

h = waterdiepte in m

L = beschouwde lengte, waarover er dwarsopwaaiing geschiedt.

δ = hoek tussen de windrichting en de algemene richting van de rivier.

Indien we voor de Scheldemonding volgende cijferwaarden aannemen :

$w = 35 \frac{m}{s}$ (ook snelheid wat te hoog geschat : slechts 35 m/s bij windstoten).

$h = 15 \text{ m}$

$\delta = 0^\circ$ of $\cos \delta = 1$ (ook aan kritiek onderhevige onderstelling).

$L = 5000 \text{ m}$

dan vindt men voor de dwarsopwaaiing ongeveer 15 cm.

De twee effecten optellend, bekomen we : $9 + 15 = 24 \text{ cm}$ 
25 cm, wat in de praktijk werd waargenomen.

Merken we echter op dat we in beide oorzaken gegevens hebben aangenomen die in feite te grote dwarsopstuwingen geven (v en u te groot, $\cos \delta$ maximaal = 1 cm); hieruit moet worden besloten dat vermelde formules slechts met de nodige voorzichtigheid en met zeker voorbehoud kunnen gebruikt worden. Wat we wel met zekerheid kunnen besluiten, is dat de dwarsopwaaiing het belangrijkste aandeel heeft in het verschil tussen de waterstanden aan de linker- en de rechteroever van de Schelde.

Figuur 20 geeft de overschrijding van het gemiddeld hoogwater door de drie hoogwaters van de stormvloed. Daar men slechts voor enkele meetplaatsen beschikt over het voorspeld hoogwater, werden de verschillen bepaald t.o.v. het gemiddeld hoogwater van de periode 1941-1950. Voor Antwerpen zijn bovendien de verschillen aangeduid met het voorspeld hoogwater.

De overschrijding door het ramphoogwater van het gemiddeld hoogwater bereikt zijn grootste waarde tussen Bath en Antwerpen en bedraagt er meer dan 3 m. Ook de overschrijding door het avondhoogwater van 31 januari (hoogwater I) vertoont zijn maximum (ongeveer 1,6 m) tussen beide vermelde plaatsen. Merkwaardig is wel dat het avondhoogwater van 1 februari afwaarts Antwerpen belangrijk hoger is geweest dan het avondhoogwater van 31 januari, terwijl opwaarts van Antwerpen het omgekeerde verschijnsel zich voordeed. Dit laatste kan misschien te wijten zijn aan de overstromingen, die opwaarts van de Rupelmonding zijn voorgekomen. De overschrijdingskromme voor het avondhoogwater van 1 februari zal in de omgeving van Hansweert en Bath vermoedelijk ook beïnvloed geweest zijn door de overstromingen op Nederlands grondgebied.

§ 4. Korte vergelijking met de hoogwatertoestanden van vroegere stormvloeden.

Fig 21: de stormvloed van 1953 veroorzaakte waterstanden, die afwaarts Antwerpen gemiddeld 60 cm hoger lagen dan de hoogst gekende tevoren. Deze laatste kwamen voor op 12 maart 1906. Te Antwerpen zelf werd de hoogste stand vóór 1953 geregistreerd op 23 november 1930 en bedroeg (+ 7,30), hetgeen 55 cm lager is dan in 1953. Opwaarts Antwerpen werden de hoogst gekende standen slechts met ongeveer 30 cm overtroffen.

Ten titel van inlichting kunnen we nog opmerken dat de Rijkswaterstaat in Nederland overschrijdingskrommen heeft opgesteld voor de hoogwaterstanden langs de kusten en de zeearmen. Op die manier kan men zich een idee vormen van het aantal keren dat een zeker peil per jaar (of per eeuw) zal overschreden worden. In ordinaat is de waterhoogte uitgezet, terwijl men in abscis op logaritmische schaal het aantal keren per jaar vindt, dat een bepaalde waterhoogte wordt overschreden.

Fig 22 geeft de overschrijdingslijnen voor Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath in de periode 1901-1950. Hieruit kan men onder meer opmaken dat een stormvloed als die van 1953 een frekwentie heeft van 0,0033, hetzij een kans om 1 maal in 300 jaar voor te komen.

In Nederland wordt een getij als stormvloed bestempeld als een of meer opeenvolgende hoogwaters het grenspeil overschrijden. Dit is het peil dat gemiddeld één maal in 2 jaar overschreden wordt. Dit grenspeil werd zowel in Wester- als in Oosterschelde door de drie beschouwde hoogwaters overschreden. Voor het avondhoogwater van 31 januari bedroeg de overschrijding 9 cm, voor het ramphoogwater 155 cm en voor het avondhoogwater van 1 februari 17 cm.

§ 5. Invloed van de overstromingsgebieden op het normale tij- regime.

Tengevolge van de ontstane dijkbreuken en de aldus geschapen overstromingsgebieden werd het getij op de Schelde op niet geringe manier gewijzigd; de overstromingsbekkens doen dienst als een soort bufferelement : de hoogwaterstanden verlaagden en de laagwaterstanden verhoogden, zodat de tijamplitude afnam. In fig (23) zijn de voorspelde hoog- en laagwaterstanden voor Antwerpen vergeleken met de opgetreden standen in de eerste vier maanden van 1953. De vernoemde tijwijzigingen zijn hierop duidelijk waar te nemen.

Figuur 24 heeft meer in 't bijzonder betrekking op de invloed van de overstromingszones van Pijp Tabak en Kruiningen, terwijl figuur 25 alleen de invloed van het overstromingsgebied van Kruiningen op de waterstanden langs de Schelde weergeeft. Er werd hierbij aangenomen dat het getij te Vlissingen niet beïnvloed werd door de overstromingsgebieden, hetgeen wel een redelijke onderstelling is. Doordat de waarden te Vlissingen voor de jaren 1952 en 1954 gelijk genomen werden aan deze voor 1953 en de waarden voor de andere plaatsen op overeenkomstige wijze werden aangepast, kan men op de figuren 24 en 25 onmiddellijk de invloed van de overstromingsgebieden aflezen.

Het vloedvermogen van de bres bij Kruiningen bedroeg $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en dit van Pijp Tabak $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Van belang voor Antwerpen is de demping die door de overstromingsgebieden wordt bewerkstelligd (vooral in verband met het voordeel van eventuele potpolders; zie later) :

	hoogwaterver- laging(cm)	laagwaterver- hoging(cm)	amplitudeverklei- ning (cm)
Pijp Tabak	10	13	23
Kruiningen	9	2	11
Pijp Tabak + Kruiningen	19	15	34

§ 6. Vergelijking met de stormvloed van 10 december 1965.

Reeds vroeger werd erop gewezen dat de storm van 1953 in de fatale zones nog grotere rampen had kunnen veroorzaken, indien de bovenafvoer van de Schelde op dat moment aanzienlijk was geweest. Bij de veel zwakkere storm van 10 december 1965 had men te doen met een groot bovendebiet. Volgende tabel geeft de hoogste waterstanden op de Schelde en haar bijrivieren in 1965 en 1953, alsmede hun verschil :

Plaats	10.12.65	1.2.53	Vershil in m
Vlissingen	6,10	6,95	- 0,85
Terneuzen	6,38	7,36	- 0,98
Hansweert	6,48	7,47	- 0,99
Prosperpolder	6,87	7,87	- 1,00
Liefkenshoek	6,90	8,02	- 1,12
Fort St. Marie	6,97	7,99	- 1,02
Antwerpen	6,99	7,85	- 0,86
Hemiksem	6,96	7,48	- 0,52
Temse	7,09	7,30	- 0,21
Dendermonde	6,82	6,83	- 0,01
Schoonaarde	6,57	6,46	+ 0,11
Wetteren	6,73	6,49	+ 0,24
Gentbrugge	6,72	6,42	+ 0,30
Boom	6,94	7,25	- 0,31
Walem	6,98	7,10	- 0,12
Lier	6,28	6,00	+ 0,28
Emblein	6,25	5,92	+ 0,33
Lier	6,02	5,70	+ 0,32
Kesel	5,93	5,57	+ 0,36
Mechelen	6,90	6,80	+ 0,10
Tielrode	6,90	7,04	- 0,14
Waasmunster	6,75	6,29	+ 0,46
Zeie	6,52	6,10	+ 0,42

Hieruit kunnen we o.m. volgende besluiten trekken :

- 1) afwaarts Antwerpen waren de waterstanden in 1965 gemiddeld 100 cm lager dan in 1953.
- 2) opwaarts Dendermonde werden de waterstanden van 1953 met 20 tot 30 cm overtroffen; hetzelfde deed zich voor in de streek van Lier en Mechelen.
- 3) langs de Durme zijn de waterstanden van 1965 ruim 40 cm hoger dan in 1953 (als verklaring hiervoor kan de voortdurende verzanding van de Durme aangehaald worden).

- 4) te Gentbrugge bedroeg het debiet op 10 december 1965 $258 \text{ m}^3/\text{s}$ tegenover slechts $33 \text{ m}^3/\text{s}$ op 1 februari 1953. Aldaar zijn de gemeten waterstanden in 1965 ook hoger dan in 1953.

Besluitend kunnen we zeggen dat de hogere waterstanden op het bovendeel der rivieren, niettegenstaande het veel lagere zee-peil, te wijten zijn aan de grootte der bovendebieten.

§ 7. De Schade.

1. Vooreerst een korte beschrijving van de feiten in het buitenland:

Ongetwijfeld werd Nederland het ergst van al getroffen, nadat het zich reeds gedurende de tweede wereldoorlog om verdedigingsredenen over grote oppervlakten onder water had gezet. Rotterdam stond enkele uren deels onder water. Ook Dordrecht kreeg het zwaar te verduren. Over heel het land werden 3700 woningen totaal vernield en 5% van de landbouwgronden waren tijdelijk waardeloos. De totale kosten mogen geschat worden op ongeveer 17 miljard B.F. In de dijken ontstonden in totaal 62 stroomgaten en op 495 andere plaatsen was er aanzienlijke schade. Vooral de Zeeuwse eilandengroep werd getroffen: Goeree-Overflakkee werd nog enigszins gespaard, maar Schouwen-Duiveland werd grotendeels onder water gezet doordat aldaar 19 stroomgaten geslagen waren, waarvan er één 350 m lengte had, tot 35 m diep was en waarin de stroomsnelheden soms 5 m/s (18 km/u) bereikten. In mei waren nog 6 bressen ongedicht, terwijl op het zelfde ogenblik op Zuid-Beveland nog 2 grote stroomgaten gaapten. De zware storm die gepaard ging met het begin van het zeer grote springtij van 21-27 september, dreigde vele herstellingen te niet te doen. Gelukkig werd het weder opnieuw kalm bij het springtijmaximum van 24 en 25 september. In Nederland verloren niet minder dan 1794 mensen het leven en werden 160.000 ha overspoeld.

Ook Groot-Brittannië kreeg zijn deel van de schade: aldaar werden 82.000 ha overstroomd en kwamen 307 personen om. De schade beliep ongeveer 5 miljard frank. Enkele

eilanden, namelijk Canvey, Sheppey en Foulness, werden zwaar getroffen. In Engeland gingen de zware dijken niet zozeer verloren door de frontale aanval van het water, maar wel door aantasting van het binnentalud door oplopende golven, die zich konden vormen in de op een of andere wijze geschapen overstromingsgebieden. De duinen werden er plaatselijk voor 80% vernield. Twee factoren hebben de Britse eilanden in zekere zin gespaard: de afvoer der rivieren was, evenals op het vasteland, niet groot en de maximum opstuwing viel in het algemeen niet samen met het astronomisch hoogwater.

In Frankrijk werden in de omgeving van Duinkerke twee bressen van respektievelijk 220 m en 150 m geslagen, waardoor enkele polders onder water kwamen. Het strand werd in deze streek niet onbelangrijk aangetast.

2. In België waren 16 doden te betreuren; 15.500 ha grond liepen onder water. Over de schade aan de kust werd reeds gehandeld in de inleiding.

Langs de Schelde, de Rupel, de Nete, de Dijle, de Zenne en de Durme hebben de dijken het op 240 verschillende plaatsen begeven. Het grootste gedeelte van die bressen was juist gelegen langs de waterlopen met normale maximale getijdeamplitude, namelijk de Schelde tussen Bath en Temse en de Rupel met Nete en Dijle. Stroomopwaarts van Temse vermindert de getijdeamplitude op de Schelde op gevoelige wijze tot aan de sluis van Gentbrugge. Deze normale amplitudevermindering heeft echter de noodlottige gevolgen van de stormvloed niet verhinderd in de streek van Dendermonde, waar zich inderdaad drie belangrijke bressen hebben voorgedaan: namelijk te Grembergen, aan Het Keur te Dendermonde en te Vlassenbroek (gemeente Baasrode). De bodem van beide laatste bressen was zelfs onder het laagwaterpeil gelegen.

25 andere bressen kwamen nog tot stand langsheen de rivieren met maximale getijdeamplitude. De voornaamste ontstonden te Wintham (Hingene), Niel, Walem, Battel (bij Mechelen) Rupelmonde, Pijp Tabak (Zwijndrecht), Kallo, Lillo, Fort Frederik (Berendrecht) en Zandvliet.

Volgende verschijnselen werden in onze streek waargenomen bij de stormvloed van 1953:

- 1) het algemeen zeewaterpeil stond langs de Westeuropese kusten van de Noordzee 50 tot 70 cm hoger dan in normale omstandigheden.
- 2) de duur van de storm was, zoals hoger vermeld, ongewoon lang.
- 3) het derde vloedhoogwater ('s avonds op 1 februari) gaf in veel gevallen de genadeslag aan de tijdens het ramp-hoogwater ontstane dijkbreuken.

Neemt men deze factoren in acht, dan zijn de kenmerkende amplitude van het getijde, de aanzienlijke opstuwing en de algemene NNW - ZZO oriëntatie (richting van de stormwind) van het Schelde (Bath - Tielrode) - Rupel (en bijrivieren) kompleks nog redenen te meer die de uitgebreidheid van de overstromingsschade in het Zeescheldebekken doen begrijpen; tevens zijn ze de verklaring van het feit dat de stormvloed precies in België zo diep het vasteland kon binnendringen.

Het blijkt niettemin dat het Rupelstelsel en de Durme ook tijdens de stormvloed regulariserend hebben gewerkt. Afgezien van de streek van Dendermonde, heeft vooral het stelsel van de Rupel (met Nete en Dijle) hierdoor erg van de stormvloed te lijden gehad, te meer daar de opstuwing en het stormvloed-effect maximaal konden opgedreven worden door de geografische richting.

Beschouwen we nog fig.(26): ze geeft zowel de waargenomen hoogwaterstand als de verwachte hoogwaterstand weer. De twee kuren lopen nagenoeg evenwijdig aan elkaar met uitzondering van de sekties Vlissingen-Terneuzen en Bath-Antwerpen.

Het feit dat de stormvloedkurve steiler verloopt dan de gemiddelde springvloedkurve, wijst op de uitgesproken aanzuigende kracht, die het Schelde-estuarium vooral bij stormweer uitoefent.

De gemiddelde springvloedkurve wijst tevens op een steeds toenemende getijdeamplitude stroomopwaarts van Bath. Deze toestand blijft bestaan tot aan de monding van de Durme. De stormvloedkurve van 1 februari 1953 vertoont daarentegen haar maxi-

mum te Bath zelf, doordat de stroomzwenking er de grootste wateropstuwing heeft bewerkstelligd door de krachtige trechterwerking en door het windeffekt. Stroomopwaarts van Bath dalen de stormvloedpeilen zeer geleidelijk tot voorbij de monding van de Durme.

Stroomopwaarts van Antwerpen blijken beide krommen weer in hoofdzaak parallel te lopen, behalve bij de nadering van de sluis van Gentbrugge, waar in gewone weersomstandigheden steeds een lichte opstuwing optreedt van de orde van ongeveer 30-40 cm. De regelmatige afname, zowel van springvloed - als van stormpeilen stroomopwaarts van de monding, duidt klaar de regulariserende invloed aan die het Rupelstelsel en de Durme op het getijderegime van de Schelde tussen Tielrode en Gentbrugge uitoefenen.

De O-W vloedrichting van de Durme neutraliseerde het stormeffekt tegenover de heersende stormwindrichting. Hiermee wordt tevens de reeds tijdens het sterkste hoogwater in de morgen van 1 februari ingetreden vertraging van de hoogwaterstand bij Waasmunster aanvaardbaar verklaard.

Daags na het noodweer waren ongeveer 15.000 ha aan meersen en poldergrond in de provincies Oost-Vlaanderen en Antwerpen overstroomd. In de loop der eerstvolgende weken bleef het overstroomde gebied nagenoeg ongewijzigd. Enerzijds konden de slechts licht getroffen gronden (veelal meersen) weliswaar spoedig worden droog gemaakt, anderzijds werd het oorspronkelijk overstroomde gedeelte van de poldergebieden plaatselijk nog heel wat uitgebreid wegens opstuwing van het in krekken en beekjes zich bevindende zoetwater (bv. in de polders van Kioldrecht) en/of door begeven van talrijke binnendijken (bv. de polders van Kallo). Een ongunstig gevolg hiervan was dat de bergingscapaciteit het gat in de hoofddijk bij elke hoogwaterstand nog toenam.

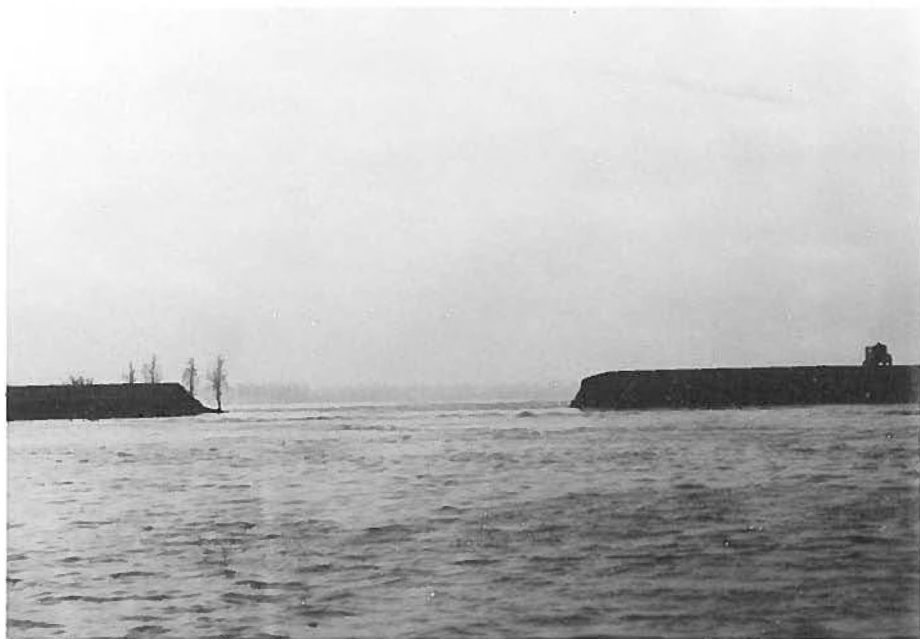
De bressen, die de grootste moeilijkheden opleverden, waren deze van Wintham (Hingene), Fort Frederik (Berendrecht) en Pijp Tabak (Zwijndrecht), waarlangs bij elke vloed de polders onder water kwamen. Het stroomgat van Pijp Tabak, dat tijdens de eerstvolgende dagen na de ramp uitgroeide tot een ope-

ning van 150 m breedte en plaatselijk 21 m diepte onder laagwaterpeil, stelde de grootste technische problemen. Ze was de laatste bres die gedicht werd en wel op 26 juni 1953. Ze bracht na het noodweer tweemaal daags een oppervlakte van ongeveer 1500 ha onder water, waarbij telkens poldergronden te Zwijndrecht, Antwerpen-linkeroever, Melsele, Beveren-Waas en Kallo onderliepen.

Niettegenstaande de aanzienlijke kaaimuurhoogte werden te Antwerpen 150 ha bewoonde wijken tijdens de rampnacht overstroomd; de stoffelijke schade was zeer groot in loodsen en stapelhuisen langs de Scheldekaaien. De Imalso-tunnel stond enkele uren deels onder water. Er waren twee doden te betreuren.

In de streek van Dendermonde en in die van Lillo-Berendrecht telde men een tiental slachtoffers, die ofwel verrast werden door het plots wassen van het water, ofwel tijdens mislukte reddingswerken omkwamen. De veestapel leed in de poldergemeenten vanzelfsprekend zeer grote verliezen.

De Figuren 27, 28 en 29 geven de overstroomde gebieden weer. In de volgende hoofdstukken wordt wat dieper ingegaan op de drie voornaamste stroomgaten : Pijp Tabak, Berendrecht en Wintham.



Het stroomgat bij Pijp Tabak
(Foto Min. Openb. Werken)

HOOFDSTUK II : HET STROOMGAT VAN PIJP TABAK.

§ 1. Inleiding.

In de nacht van 31 januari op 1 februari 1953 werden in de linkeroever van de Schelde tussen de bocht van Bath en Antwerpen enkele bressen geslagen. De voornaamste bres was ongetwijfeld deze van "Pijp Tabak" die in belangrijkheid alle andere dijkbreuken in België ver overtrof.

Daarom worden de dichtingswerken van dit stroomgat hier uitvoerig behandeld. Bij elk hoogwater drongen ongeveer 25.000.000 m³ water (hetzij 1/3 van het debiet van de Schelde) in de polders via deze bres en dit met snelheden tot 6m/s.

Veertien vierkante kilometer grond werden aldus overspoeld.

De getroffen gemeenten bevinden zich alle in de buurt van de provinciegrens : Melsele en Kallo in Oost-Vlaanderen, Antwerpen-Stad-linkeroever en Zwijndrecht in de provincie Antwerpen.

De binnendijken op het grondgebied van deze gemeenten zijn eerder laag en zwak. Indien de dijk, die Kallo beschermt, niet weerstaat aan de aanval van de golven, zal een tienmaal grotere oppervlakte overstroomd worden. Sint-Niklaas en zelfs Kieldrecht zullen ook worden overspoeld. Het gevaar voor uitbreiding is niet denkbeeldig.

Het water dat door de stormdepressie sterk naar het zuiden van de Noordzee werd opgestuwd, dringt nu ook met enorme kracht het Schelde-estuarium binnen. Hier ontmoet het geleidelijk het in tegengestelde zin vloeiend afvoerwater van de rivier, zodat zich een verhoging van het waterpeil voordoet.

Deze beide factoren zorgen ervoor dat de golven eerst de buitenbekleding van de dijk overspoelen, vervolgens slaan ze over de kruin en doen in het binnenbeloop grote uithollingen ontstaan, die hoe langer hoe breder worden, zodat er tus-

sen in slechts smalle verdedigingsmassieven overblijven, die ook weldra door de stuwing zullen weggeslagen worden.

Vervolgens breken in de achterliggende polders de binnendijken op hun beurt door, omdat deze lager zijn dan zee- of rivierdijken.

De polders en alluviale terreinen werden gewonnen op de zee of op de estuaria van grote rivieren. Hun niveau ligt dus lager dan het hoogwaterpeil en wanneer dit laatste peil (+ 6,00) bereikt, worden de rijzenbermen van de dijk of de schorren overstroomd. Het zijn trouwens afzettingsgebieden waarvan het niveau regelmatig stijgt en die bij exploitatie (bijvoorbeeld voor dijksherstel) weer worden aangevuld en na zekere tijd opnieuw hun oorspronkelijk peil bereiken.

Het inpolderen ten koste van de rivier heeft vanzelfsprekend de rivierbreedte en de komberging verminderd en dus het waterniveau verhoogd, zodat de opeenvolgende generaties zich ingespannen hebben om de kruin van de dijken alsmaar te verhogen.

Onbeperkt verhogen is echter veelal niet mogelijk daar op zeker ogenblik het grensdragvermogen van de zate kan overschreden worden en er massale afschuiving kan voorkomen: dit is onder andere het geval met de dijken die Rotterdam beschermen.

Alvorens uit te wijden over het dijksherstel is het wel nuttig even de situatie onmiddellijk na de ramp te overzien. Deze was aldus (fig 32).

1^e) de polder van Melsele - Kallo is volledig overstroomd over een oppervlakte van 2.500 hektare.

2^e) in de zuidelijke Scheldedijk, ter hoogte van "Pijp Tabak" is een hoofdbres geslagen van 110 m lang en 23 m diep (gerekend vanaf de dijk kruin op (+ 8,00); deze bres zullen we met de letter A aanduiden.

Door deze bres stroomt bij elke getijde ongeveer 25.000.000 m³ water en bij zeer hoge vloed 30.000.000 m³ (zie hoger) Deze waterbeweging herhaalt zich dus vier maal per dag, bij

snelheden die 6m/s kunnen bereiken. In korte tijd is de bres verbreed tot 135 à 150 m, terwijl de diepte 27 m bedraagt.

De voornaamste geul loopt (zie verder) in de polders door over een lengte van ongeveer 200 m en in de Schelde over nagenoeg 100 m.

Vlak naast bres A ontstaan twee enorme kraters, die met B en C zullen aangeduid worden; ze zijn respectievelijk 200 en 100 m lang; daar ze vlak naast de binnenzijde van de dijk liggen is het gevaar groot dat de intacte dijkdelen, gelegen tussen A, B en C, ook zullen doorbreken zodat een gat van 500 m zal ontstaan.

3^e) in de polder bevindt zich de Militaire Dijk, die het ondergelopen gebied in twee deelt en die zelf over een lengte van 110 m doorgebroken is; de diepte in deze bres bedroeg aanvankelijk 17 m, maar werd snel 21 m, terwijl het slop zich tot 160 m verbreedde. Deze centrale doorstroming heeft, zoals in alle andere bressen, die aan hevige stromingen blootstaan, de bodem van de polders over 250 m sterk aangetast.

Deze opening zal bres I genoemd worden, terwijl de minder erge doorbraken in de Militaire Dijk respectievelijk bres II, III, IV en V zullen genoemd worden, gaande in de richting van Fort St. Marie (fig 32).

4^e) tenslotte komen in de dijkjes van lagere categorie zoals de ophoging voor de autobaan van Antwerpen naar de kust en de Blokbersdijk minder belangrijke openingen voor; deze dijkjes verdelen de polders in verscheidene kleinere partijen grond.

BESLUIT : 1) in de dijken die de polder beschermen, hebben zich twee grote bressen uitgediept; negen sekundaire doorbraken werden gekonstateerd.

2) door de uitschuring worden de grondmassieven rond de geulen ondermijnd.

3) er is geen bruikbare weg voorhanden om de diverse ramplaatsen te bereiken; de kruin van de Militaire dijk reikt tot het niveau (+ 5,00) en deze van de autobaan tot (+ 4,50) zodat ook deze bij een sterk getijde overspoeld worden.

§ 2. Geologische Beschouwing.

Onder de Wase polders die van de stormvloed van 1 februari 1953 te lijden hebben gehad, werd de Polder van Melsele (fig 30) het zwaarst geteisterd. Wat voorheen een keurig bebouwd en in percelen ingedeeld landschap was, bood na de drooglegging het uitzicht van een kale, met veenklompen bezaaide vlakte.

Voor de aardrijkskundigen behoort de Melselepolder tot de zogenaamde "inbraakpolders", omdat dit gebied in het verleden reeds herhaaldelijk door belangrijke overstromingen werd geteisterd; zo hebben zich in de omgeving van Kallo reeds een twintigtal overstromingen voorgedaan.

Alhoewel het niet uitgesloten is dat er reeds voordien land werd ingedijkt, wordt 1414 toch algemeen aanvaard als het jaar van de aanvang van de eerste indijkingen van de Melselepolder. Zoals gemeld, hebben deze dijken niet belet dat er zich nog talrijke overstromingen hebben voorgedaan. Alhoewel de meeste ervan aan stormvloeden te wijten waren, werden sommige toch om strategische redenen teweeggebracht. Doordat de overstromingen echter van relatief korte duur waren, werden geen noemenswaardige wijzigingen aan het tracé van het dijkenstelsel aangebracht.

In de Melselepolder komen aan de oppervlakte uitsluitend alluviale sedimenten voor, die rusten op een laag van kwartaire ouderdom.

In de 19e eeuw werd veel schade aangericht door het veendelven, waardoor niet alleen de bodem van een uitgestrekt gebied werd verstoord, maar waardoor ook het maaiveld werd verlaagd in een gebied, dat reeds door inklinking van het veen was gezakt. Aldus kwam het vroeger hogergelegen afzetgebied lager te liggen dan de omgeving, zodat het grondwater er in de winter er ongeveer gelijk met het maaiveld kwam te staan. Het land werd ongeschikt voor de teelt van cultuurgewassen en sedertdien hoofdzakelijk als weiland gebruikt.

Na de drooglegging van het gebied in juli 1953 was er van het voormalig bodemoppervlak niet veel meer te zien. Erosie, transport en sedimentatie hadden het landschap, het reliëf en de bodemgesteldheid grondig door elkaar gegooid. Op de plaats van de doorbraak en onmiddellijk achter de Scheldedijk strekte zich een weel uit, waarvan de naar het ZW gerichte lengteas meer dan 300 m bedroeg.

Op de oevers van het weel werd geen overslagmateriaal afgezet, doch de oorspronkelijke kleilaag werd er blootgelegd.

Op de inbraakgeul na kwamen er in het overstroomde gebied geen diepe geulen voor. Wel waren er enkele transportbanen, langswaar het overslagmateriaal toestroomde. Het overige van de Melselepolder was geheel met overslagmateriaal bedekt.

Hoe verder men zich van het weel verwijderde, hoe kleiner de gemiddelde dikte van de afgezette laag werd, doch hoe groter ook het kleigehalte werd.

Veelal trof men een zandlaag aan die onderaan en bovenaan omgeven was door dunne kleilagen.

Aan de Militaire dijk (fig 31) werd in hoofdzaak klei afgezet en bedroeg de dikte van deze kleilaag 15 tot 25 cm. Evenals in de overstroomde gebieden aan de bres van Fort Frederik (zie Hoofdstuk III) werden ook hier talrijke veenklompen in de polder meegesleurd.

De stroming in de Melselepolder gebeurde als volgt: het bij hoogwater binnendringend water stroomde recht voor zich uit in zuidwestelijke richting. Na 800 m werd de stroming plots sterk naar rechts afgebogen naar het laagst gelegen punt van de polder toe. Met het eerste overstromingswater werd hoofdzakelijk kleiig materiaal uit de dijk en de schorre meegevoerd. Naarmate het weel en de geul groter werden, werden veenklompen (uit de veenlaag, die in de geul uitgeschuurd werd) en aanzienlijke hoeveelheden zand de polder ingebracht (zie hoger).

Vanzelfsprekend werden de fijnste materialen (kleien) het verst in de polder meegesleurd, waar ze bij afnemende watersnelheid afgezet werden.

Na drooglegging van het gebied, werd het afgezette zand geleidelijk aan verwijderd: de uiteindelijke dikte van de overslaglaag bedroeg gemiddeld 50 cm (op de omgeving van de inbraakgeul na).

In aanmerking nemend dat de Polder van Melsele sedert het begin van de 15e eeuw in totaal meer dan vijftig jaar aan het getijde onderworpen werd, is het wel merkwaardig dat in 1953 een hoeveelheid overslagmateriaal werd aangevoerd, die bijna zo groot was als de totale hoeveelheid, die bij de vorige overstromingen afgezet werd. Van geologisch standpunt uit, vertonen de oudere afzettingen en de jongste van 1953 onder andere volgende gemeenschappelijke kenmerken:

- een goede granulometrische sortering, in beide formaties gekenmerkt door een afname van de zandfractie van het stroomgat naar het hoogland toe.
- een oorspronkelijk topografisch oppervlak, waarin een hoger gelegen zandvlakte naar een lager gelegen kleistrook overgaat, met tussenbeide een overgangsgebied waar zandige lenzen tussen meer kleïge ingewerkt zijn.
- een natuurlijk drainagenet om de zandvlakte heen.
- een behoorlijk gehalte aan fijn verdeelde kalk.

Merken we echter op dat de gelijkenis, tussen het jongste overslaggebied en het oudere, treffender is in het centraal en oostelijk gedeelte van de polder.

De voornaamste verschillen tussen de afzettingen van 1953 en de oudere zijn :

- een duidelijke, zeer fijne stratifikatie van de kleiafzettingen in de overslaglaag van 1953 in tegenstelling met de vorige.
- het algeheel ontbreken van veenklompen in de oudere inbraakafzettingen.
- het voorkomen van vlakke transportbanen in 1953 in tegenstelling met de erosiegeulen in het oudere landschap (vooral in het westelijk deel van de polder).

Wanneer men de maximale alluviatiegrenzen voor en na de overstroming vergelijkt, stelt men vast dat het alluvium in 1953 een weinig verder heeft gereikt dan enig alluvium tevoren. De reden hiervan is wellicht de algemene relatieve zeespiegelrijzing, die in onze streken aan de gang is.

§ 3. De eerste dringende werken na de ramp.

De eerste werken na de ramp werden door het leger en door vrijwilligers ingezet. Om de dorpskommen van Melsele en Kallo te beschermen werden de sekundaire bressen zo vlug mogelijk gedicht met zakjes grond en schanskorven, gevuld met stenen. Bij de bressen B en C (fig 32), die steeds maar dreigden uit te breiden, bestonden de eerste maatregelen erin zand uit de Schelde in deze bressen te pompen en de wanden ervan te bedekken met klei, die uit de voorliggende schorre geput werd.

Wat de sekundaire bressen betreft, die niet met het zandzakkenprocédé te dichten bleken, daar heide men een dubbele rij damplanken, waartussen Boomse klei werd gestort (kofferdam) ofwel liet men in de geul ervan zinkstukken aanbrengen, waarop dan een "doorlatende" dijk van pakwerk gekonstrueerd werd, die op zijn beurt met zandzakken en een kleilaag afgedicht werd.

In de nabijheid van beide grote bressen (Pijp Tabak en de Militaire dijk) werden eerst steigers en dukdalven geplaatst voor het speciaal transport, dat aanvankelijk volledig te water moest geschieden en daarna werden op de overeind gebleven dijkspanden, die naar de bressen toe leidden, elementaire wegen aangelegd voor de vrachtwagens, die bij de werken aangewend zouden worden.

Daar vastgesteld werd dat de twee hoofdbressen steeds dieper werden, werd overgegaan tot het neer-laten in de geul van zinkstukken om de uitschuring te verminderen. De wanden boven het laagwaterpeil van beide stroomgaten werden evenwel net een net van rietstengels en rijshout bekleed, dat samengehouden werd door er paaltjes in te slaan en deze paaltjes

met draden te verbinden. Hierboven bracht men nog een kroonlaag van zandzakken aan om beschadiging te vermijden.

Een handicap bij het uitvoeren van deze werken was de grote afstand, die de plaats van de ramp scheidde van de terreinen waar de zakken gevuld werden. De benodigde zakken moesten immers vanuit Kruibeke aangevoerd worden (8 km).

Een ontegensprekelijk voordeel van de (met veel moeilijkheden gepaard gaande) bouw van de wegen bovenop de dijken, was echter dat de binnendijken op die manier hoger werden en als veilig konden beschouwd worden door normale hoogwaterstanden.

Toen op 30 maart een zware storm opstak, dacht iedereen dat al de reeds gepresteerde arbeid in één nacht zou te niet gedaan worden : de golven sloegen namelijk over de dijk. Daar de storm echter van korte duur was, was de schade aan de konstrukties (op enkele weggeslagen personeelsbarakken na) onbeduidend.

§ 4. 1. De Getijden.

Het eerste probleem dat zich bij waterwerken stelt, is het beschikken over juiste gegevens betreffende de getijden, namelijk hun duur en hun amplitude ter hoogte van de werkplaatsen.

Daarom moeten dagelijks volledige kurven opgesteld worden op basis van peilhoogten, die om het kwartuur opgetekend worden.

Daar de kurven op kalkpapier getekend worden is het mogelijk de kurven in de polder en deze in de Schelde te vergelijken.

Voor elke werkplaats zijn er twee kurven : deze die men opmeet in het binnenwater en deze die in het buitendeel opgemeten wordt; voor de Militaire dijk zijn dat respektievelijk: de kurve van de polder van Kallo en de kurve van de polder van Melsele (meting van bres I), terwijl ze voor Pijp Tabak respektievelijk de kurve van de Melselepolder (meting aan bres A) en deze van het Scheldegetijde zijn.

Aldus worden de niveauverschillen gelijktijdig in de verschillende watervelden gecontroleerd. Ook worden halfdagelijkse peilingen uitgevoerd om de toestand in de nog resterende uitschuringsplaatsen te kennen.

Met behulp van deze kurven kan men de tijdstippen bepalen waarop de verschillende konvooien de polder moeten doorevaren om de Militaire dijk te bereiken.

Zo kon men waarnemen dat het getijde in de polder van Kalllo ongeveer één uur naijlt op dat aan Pijp Tabak, met een amplitude die kleiner wordt, naarmate men zich van de Schelde verwijderd.

Om het snel opmeten van de waterhoogten toe te laten, werden aan beide kanten van de bressen zelfregistrerende peilschalen opgesteld.

2. De Peilingen.

Vanaf de eerste dagen blijkt het noodzakelijk de omgeving topografisch op kaart te brengen, aangevuld met dieptepeilingen in de bressen.

Om dagelijks de opeenvolgende peilingen te kunnen vergelijken is het nodig in de polder twee evenwijdige basislijnen te materialiseren, door het uitzetten van bakens. Spijtig genoeg bevinden deze lijnen zich juist in de vaarroute van de slepers en van de transportschepen.

Anderzijds zal elk baken onvermijdelijk omvergeworpen worden bij het opkomen van de vloedstroom, die in staat is blokken turf van 50 tot 100 ton uit de polder los te rukken; deze blokken stoten dan ook tegen alles wat boven de bodem uitstrekt.

Het is daarom nodig in de grond buizen van 3,50 m lengte te heien, die slechts 0,50 m boven de polderbodem uitsteken.

Binnen een periode van tien of twintig minuten moeten een honderdtal punten opgemeten worden in de opkomende vloedstroom.

Van zodra de dieptepeilingen uitgevoerd zijn, worden de cota's berekend ten opzichte van het nulpunt van de getijden;

vervolgens worden deze metingen op plan gebracht en vergeleken met het vorige getijde om te weten of er winst is, ofwel of er plaatselijke verliezen te noteren zijn.

Ten gevolge van deze peilingen moet het programma van de werken soms op het laatste ogenblik gewijzigd worden.

Zo moest men soms inderhaast gekonstrueerde rijswerkta-pijten zinken om onverwachts bedreigde plaatsen te beschermen.

Op deze wijze wordt de verdere uitschuring van de bodem belet; een steeds verdergaande uitschuring zou het afschuiven van een aanzienlijk deel van de in heropbouw zijnde dijk tot gevolg kunnen hebben.

Ook moest de stromingsgeul af en toe verplaatst worden door er zinkstukken en grote brokken klei in neer te laten.

3. De Stroming.

De wijze waarop het water zich in de bressen stort in de periode van de vloedstroom en er bij eb weer uitstroomt, is sensationeel; vooral de hevigheid van de stroming en de sterke waterhoogteschommelingen die in de omgeving van de bres (fig 37) voorkomen, vallen op; deze verschijnselen zullen nog sterker naar voor treden bij het vorderen van het werk, doordat de doorstroomopening steeds kleiner wordt en de snelheden dus stijgen.

Daarom is het nodig bij het begin van de werken een voldoende nauwkeurige schatting te maken van de maximale snelheden, die zullen voorkomen door het verminderen van de doorstroomsektie bij de bouw van de hulpdijk.

De formule luidt $Q = q/h$ (fig 34)

waarbij $q = M \cdot \frac{2}{3} H^{3/2} \sqrt{\frac{2}{3} g}$ voor $h_2 \leq \frac{2}{3} H$ bij de perfecte overlaat.

of $q = \mu \cdot h_2 \sqrt{2g(H - h_2)}$ voor $h_2 \geq \frac{2}{3} H$ bij de onvolmaakte overlaat

Hierin zijn : μ = wrijvingscoëfficiënt, begrepen tussen 1,3 en 0,9 (gemiddeld 1,1)

M = wrijvingscoëfficiënt, begrepen tussen 0,8 en 1,0

q = debiet in m^3/s per strekkende meter.

Vanzelfsprekend hangt h_2 af van de hoogte van de drempel en van de doorsnede van de opening, die ervoor verantwoordelijk zijn dat de amplitude van het getijde in de polder vermindert. μ moet tastenderwijs met het gezond verstand bepaald worden, daar dit een semi-empirische faktor is : μ is niet gelijk voor de verschillende voorkomende grondsoorten.

Aldus werd gerekend op volgende maximum snelheden (fig 33):

voor een drempelhoogte op niveau (+ 0,00):	$v = 5,40 \text{ m/s}$
(+ 1,00):	$v = 4,60 \text{ m/s}$
(+ 2,00):	$v = 4,00 \text{ m/s}$
(+ 3,00):	$v = 3,50 \text{ m/s}$

waarbij de drempelhoogte gemeten wordt vanaf het nulpunt van de getijden.

Het blijkt dus dat tot aan peil (+ 0,00) een maximumsnelheid van 5,00 m/s tot 5,50 m/s mogelijk is. Vervolgens zou dit maximum tot ongeveer 3,50 m/s op niveau (+ 3,00) moeten dalen: dit lijkt paradoxaal, daar aan het einde van de werken een duidelijk groter hoogteverschil aan de drempel zal optreden.

Door de werkelijke snelheidsverdeling in de stroming te gaan opmeten is het de bedoeling, de juistheid van de gebruikte coëfficiënten na te gaan en daaruit de snelheden te voorspellen, die zullen optreden, wanneer de doorstroomsektie verkleind wordt.

Zich steunend op deze theorie, kwam men tot het besluit om eerst de drempel te verhogen en pas dan aan beide uiteinden van de hulpdijk verder te werken; bij het einde van de werken zullen beide procédés evenwel tegelijkertijd moeten aangewend worden.

Dit werkplan blijkt weldra moeilijk uitvoerbaar; men stelt spoedig vast dat een massale aanvoer van zakken en steenblokken, die men terzelfdertijd aan beide uiteinden van de bres op regelmatige tijdstippen uitstort, meer uithaalt dan de oorspronkelijk vooropgezette werkwijze. Deze laatste werkwijze zou weldra al te grote snelheden veroorzaakt hebben, met als gevolg dat de bressen heviger dan ooit zouden uitgeschuurd worden en zelfs dat het rijswerk zou meegesleurd worden.

4. De Drempel.

Het is een absolute eis een plots niveauverschil te vermijden, daar dit al te grote ontgrondingen onder water veroorzaakt, waardoor het afschuivingsevenwicht van de in opbouw zijnde dijk in gevaar kan komen. Men zal dan ook trachten een perfecte overlaat te bekomen met wervels aan het oppervlak.

Dank zij een systematische controle door dieptepeilingen, slaagde men er aan Pijp Tabak in, tot het einde van de werken een dusdanig profiel in stand te houden, dat het stroomlijnenbeeld voldoende dicht bij het theoretisch beeld lag.

Daarom werd van bij het begin een zeer brede basis van ongeveer 150 meter in acht genomen op het peil (- 17,00); deze basis werd geleidelijk onder paraboolvorm opgehoogd tot (+ 0,00) Veevolgens plaatste men hierop rijswerkmatten met steeds kleinere breedte om tenslotte het geheel met kleine zakjes te bekleden.

De Boomse klei, die nauwkeurig op de juiste plaats werd gestort dank zij bakens en afstandstouwen, liet toe de onregelmatigheden tussen en op de zinkstukken weg te werken; de waterdeeltjes zelf volgden een nagenoeg perfecte baan, doordat ze de brokken klei om zo te zeggen polijstten.

Doordat men de bres in optimale omstandigheden had kunnen brengen, werden nooit snelheden hoger dan 6 m/s waargenomen. Wel werden bij snelheden hoger dan 5,50 m/s steenblokken van 100 kg vooruitgerold alsof ze keitjes waren. Bijgevolg moesten de pas gezonken stukken ook nog met klei bestort worden.

5. Aanvoer en zinking van het rijswerk.

Om een gedacht te geven van de tijdsnauwkeurigheid, waarmee de werken moesten uitgevoerd worden, is het wel nuttig even het verloop van het zinkingsproces van één zinkstuk te schetsen.

De totale beschikbare tijd is beperkt tot 35 minuten: om 15.45 u meldt het konvooi zich op 100 meter van de bres aan. Om 15.50 u bevindt het zich op 50 meter. De stroomsnelheid is op dat ogenblik gedaald tot 2,10 à 1,80 m/s. Terwijl deze tot nul daalt, wordt het zinkstuk tot stilstand gebracht. In de komende 15 minuten moet het zeker gezonken worden, daar de watersnelheden aan het einde van deze periode weer 1,90 m/s zullen bedragen, maar dan in tegengestelde zin.

Binnen de eerstkomende 30 minuten komen de met breuksteen beladen boten ter plaatse, alsook de sloepen met de Boomse klei. Deze moeten hun inhoud uitstorten voordat de stroomsnelheid tot 2,50 m/s gestegen is, daar het boven deze snelheid onmogelijk is een boot van 400 m³ met drie gewone slepers ter plaatse te houden.

Bovendien is het onontbeerlijk dat de klepbakken de polder tijdig verlaten om naar de bevoorradingsplaatsen te Hoboken te kunnen varen.

Uit dit alles blijkt het nut van de gedane opmetingen; alle gegevens werden op plan gebracht, samen met de onmisbare getijdekurven.

Elke dag werd op genoemd plan een schets gemaakt van de nog te dichten opening. Vooral wanneer het einde van de sluiting naderde, werd hieraan veel zorg besteed.

Wanneer de voorafgaandelijke noodmaatregelen in een gevorderd stadium verkeerden, moest beslist worden met welke grote bres zal worden aangevangen. Na lang overleg kwam men tot het besluit eerst bres I te dichten en wel om drie redenen :

- 1) de polder van Kallo moest zo snel mogelijk droog gelegd worden, om het risico dat het zwakke dijkje, dat Kallodorp beschermt, zou doorbreken zo klein mogelijk te houden. De doorbraak van dit dijkje zou het onderlopen van de polders tot Kioldrecht tot gevolg hebben.
- 2) de oppervlakte van de overstroomde gebieden moest verkleind worden om de komberging en dus het volume water, dat door bres A aan Pijp Tabak stroomt, te beperken. Een bijkomend voordeel hiervan is, dat de stroomsnelheden in bres A lager zullen liggen en ook dat de periode, waarin het vlottend materiëel kan te werk gesteld worden, aanzienlijk uitgebreid wordt. Vanuit humanitair standpunt bekeken is de duur van de dichting van bres I kleiner dan deze van bres A en zal het nog overstroomde deel van de polder van Kallo sneller in het droge gebracht kunnen worden, dan wanneer onmiddellijk met bres A aangevangen wordt.

§ 5. Werken aan de Militaire dijk.

1.- Inleiding:

Voor de konstruktie van de sluitdijk werden verscheidene oplossingen overwogen :

Oplossing I : Deze zou erin bestaan zo snel mogelijk 80 à 100 vrachtwagens in te zetten, grote hoeveelheden breuksteen in gereedheid te houden en 1000 à 1500 werklieden te werk te stellen om aan weerszijden van

de bres een dijk uit te bouwen, bestaande uit stenen, die op voorafgezonken zinkstukken zouden gestort worden.

Oplossing_II : Eerst zou een zo effen mogelijke onderbouw aangelegd worden, bestaande uit rijswerk en stortsteen op het peil (+ 3,00). Hierop zouden oude schepen gezonken worden vervolgens de openingen ertussen gevuld worden met klei, waarbij de gezonken schepen als rijweg zouden dienen voor de grijpkranen, die de klei uit nabijgemeerde sloepen zouden scheppen.

Oplossing_III : Men zou een dubbele rij damplanken in de grond slaan volgens een cirkelboog en dan uitgebaggerd zand tussen deze rijen in brengen (fig. 35 en 35a).

Oplossing_IV : Men zou oude pontons zinken en één enkele rij damplanken inheien in cirkelvorm, zodat een zo ondoorlatend mogelijk scherm zou ontstaan (fig 36 en 36a).

De toepassing van de twee laatste oplossingen geeft echter aanleiding tot wervels en ontgronding, zodat het eveneens nodig zou zijn vooraf een bekleding met zinkstukken te voorzien.

In feite zal, zoals men zal zien, geen enkele van genoemde oplossingen integraal worden toegepast; men heeft in werkelijkheid de soms tegenstrijdige oplossingen, die zich opdrongen, moeten aanpassen aan de omstandigheden.

2.- Begin van de uitvoering.

Bij het begin van de werken aan bres I was de toegangsweg, die eigenlijk een ophoging uitmaakte van de militaire dijk, nog niet afgewerkt. Ook werden de binnendijken in de polder bij hoog water nog altijd overstroomd. De dichtingswerken aan de sekundaire bressen waren volop aan de gang.

Op 18 maart werd een aanvang gemaakt met het ten uitvoer brengen van oplossing III, zoals door de Administratie werd bepaald. Daarvoor werden twee heistellingen op pontons doorheen de polder getransporteerd en afgezet aan beide zijden van bres I. Deze vatten het inslaan van damplanken aan, terwijl men de eerste zinkstukken plaatst in de richting van het vooropgezette tracé van de kofferdam.

Tijdens het verloop van de werken moest men regelmatig de afmetingen van de zinkstukken wijzigen, naargelang de omstandigheden. Hun plaatsing rond de kofferdam of aan de geul moet zodanig worden geschikt dat enerzijds het werk geen vertraging oploopt en dat anderzijds de veiligheid voldoende gewaarborgd blijft.

Een permanente bewaking van de diepste delen van de bresen I en A werd dag en nacht uitgevoerd. Dieptepeilingen werden bij elk getijde herhaald om de veranderingen van de dwarsprofielen bij te houden. Zij zullen toelaten het tracé van de sluitdijk gevoelig te wijzigen door de boog te verkorten. De dichtingswerken versnellen was eigenlijk een zware beslissing, die niet zonder risico kon genomen worden, indien men niet volkomen nauwkeurig de situatie kende, wanneer deze wees op een stabilisatie van het diepste van de kratervormige ontgronding.

Er weze nog opgemerkt dat het enorme rijswerktapijt dat de bodem van bres A aan Pijp Tabak zal bedekken, in voorbereiding is, terwijl genoemde werken uitgevoerd worden.

Bij bres I moest oplossing III weldra opgegeven worden, omdat de eerste resultaten niet voldeden. Men vervolgde dan het effenen op peil (+ 3,00) van de onderbouw, bestaande uit neergelaten zinkstukken. Men vorderde aldus tegelijkertijd langs beide zijden van de bres, terwijl in het midden een voldoende diepte werd behouden voor de doortocht van het vlottend materiëel.

Dit kanaal zal weldra een bron van moeilijkheden uitmaken, daar er zich aldaar een zeer sterke stroming heeft ontwikkeld, die alles dreigt weg te slaan. Toch is deze doorvaartweg onmisbaar omwille van het feit dat het grootste deel

van de zinkstukken zullen gezonken worden bij laag water, wanneer de waterhoogte nog juist voldoende is voor de schepen wegens hun diepgang.

De werken, bij ebkentering verplichten ertoe al het nodige materiël, zoals zinkstukken, sleepboten en sloepen met zware breukstenen, in het binnenwater (kant Kallo) te loodsen bij hoog water, na de Melselepolder te zijn doorgevaren. Zo snel mogelijk na het zinken van het rijswerk moeten de slepers en lege sloepen de polders verlaten. Op hun terugweg ontmoeten ze de boten gevuld met klei voor de dijksophoging.

Aldus wordt de polder bij elk hoog water als het ware doorkruist met een vloot van boten, waarvan de diepgang varieert tussen 1,00 en 2,00 meter. Het gemiddeld peil van het hoogwater bedroeg (+ 5,00) en dat van de polder (+ 2,00); bijgevolg was het moeilijk deze doorvaartoperaties te synchroniseren met het laden van de sloepen met breuksteen, met het opladen van de klei te Hoboken en met de passage van bres A aan Pijp Tabak, in de periode waarin de doorstroomsnelheden 2,50 m/s niet overtroffen.

Al deze operaties moeten binnen twee uren afgelopen zijn en de af te leggen weg, heen en terug, bedraagt zes kilometer. Het is dus niet te verwonderen dat een konvooi boten, getrokken door een sleper, af en toe door een snel opkomende eb werd verrast en de volgende vloed moest afwachten, rustend naast een hoeve of in een bosje.

Om de kansen op stranden te beperken, werd dag en nacht een kanaal afgebakend, gelegen volgens het diepste deel van de geul. Ondanks alle voorzorgsmaatregelen was de bevoorradiging van de werkplaats voor de Militaire dijk toch altijd problematisch.

Merken we nog op, dat uit de peilingen bleek, dat het getijde zich op die plaats ongeveer één uur later liet voelen dan aan Pijp Tabak. Hiermede moet bij de dimensionering van het tijdsgebruik terdege rekening worden gehouden.

3.- Op 1 april kan de situatie als volgt geschetst worden :

1. Het allereerste deel van de dubbele rij damplanken, waarvan de bouw aan elke zijde van de bres aangevat werd, zal als startplaats dienen voor de toekomstige sluitdijk.
2. Bij laag water komt de onderbouw van zinkstukken even boven water uit, over een honderdtal meter, aldus het tracé van de dijk aangevend.
3. De bouw van de toegangsweg, die de bestaande dijk ophoogt is beëindigd.
4. De dichting van de bressen II, III en IV is een voldoende feit.
5. Om de sekundaire doorbraken te versterken en om de westelijke dijk tot op het peil (+ 5,50) op te trekken, wordt Boomse klei gebruikt, die door schepen wordt aangebracht en door grijpkranen opgescheept, terwijl aan bres IV kleine stukken rijswerk gezonken worden, waarboven nog pakwerk aangebracht wordt. Het geheel wordt tenslotte afgedekt met zakjes grond.

Op dat moment gaf de Administratie bevel de dijk voor de dichting van bres I, uit te voeren door een massaal gebruik van kleizakjes toe te passen; deze zakjes moesten neergelaten worden op de onderbouw van zinkstukken, die in opbouw is.

Ongeveer 300 arbeiders vullen dag en nacht duizende zakken aan het Fort van Kruibeke. Deze zakken worden door 45 kamions over een afstand van zes kilometer vervoerd tot aan de bres.

4. Omstandigheden bij het zinken van het rijswerk.

Volgens de algemene regel worden de rijswerktapijten zodanig gezonken dat hun lengteas met de overwegende stroomlijnen samenvalt.

Aan de bres in de Militaire dijk waren de stukken lichtjes trapezoïdaal; ze werden in cirkelboog geplaatst.

Alvorens een zinkstuk gemaakt wordt, moeten de afmetingen ervan op een of andere manier bepaald worden; deze afmetingen hangen van volgende factoren af :

- a) De zinkingstijd: In de eerste plaats moet de beschikbare tijd, bij vloed- en ebkentering nauwkeurig bekend zijn.

In feite is het niet het moment zelf van de kentering dat van belang is, maar wel de periode, binnen dewelke de stroomsnelheid de opeenvolgende fasen, als de aanvoer, het verankeren, het op zijn plaats brengen en tenslotte het zinken van het zinkstuk toelaat.

Om met resultaat te kunnen werken moet aan volgende eisen zeker voldaan zijn :

- a) De stroomsnelheid moet lager zijn dan 2,50 m/s.
Hiervoor leveren de snelheidskurven de nodige inlichtingen.
- b) Men moet rekening houden met de diepgang van de slepers en van de met stenen beladen schepen, alsook met het peil van de polderbodem en met de amplitude van het getijde (zie de getijdekurve).

Aan de Militaire dijk vallen deze factoren eerder ongunstig uit. Het niveau van de polder ligt op (+ 2,00) De diepgang van de slepers is ongeveer 1,50 m en de amplitude van de getijden is er kleiner dan op de Schelde. Bovendien is de effectieve werktijd op die plaats zeer beperkt.

Bij het begin van de werken worden de kleine zinkstukken, die de onderbouw van de sluitingsdijk zullen uitmaken, geplaatst bij de ebkentering. Later zullen ze bij de vloedkentering gezonken worden, terwijl de grote stukken, dienend voor de bescherming van de geul, altijd bij de ebkentering te waten gelaten worden.

Er zal zoveel mogelijk profijt getrokken worden uit de laagwaterstanden, die langer aanhouden, daar men

dan met de schepen kan varen in de centrale krater, die permanent met water gevuld is.

Anderzijds is het op deze ogenblikken gemakkelijk de boeien te ontwaren en met staken de kuiste ligging van het zinkstuk, vlak vóór het neerkomen, na te gaan, omdat de zinkstukken rand tegen rand moeten geplaatst worden. Aldus vermijdt men dat de zijkanen van de tapijten elkaar zouden overlappen. Overlapping betekent echter een plotse verhoging, zodat een stootkussen ontstaat, waaronder de stroming weldra kan doordringen. Hierdoor dreigt het gevaar dat het zinkstuk op zichzelf zal overslaan op dezelfde manier waarop men een tapijt oprolt.

Vroeger reeds werd aangestipt dat men besloten had de drempel van de te bouwen dijk regelmatig op te hogen over heel zijn lengte. Hierdoor wordt een binnendijks meer op hoog peil geschapen, waardoor in de opening de onmisbare ebkentering te loor gaat. Het omslaan van de stroming gebeurt nu veel bruusker. Anderzijds zou door het in stand houden van een doorgang met grote diepte, een haast onkontroleerbare stroming ontstaan.

Aldus werd de aannemer voor een zeker dilemma geplaatst; toch werd besloten het niveau van het geheel van de onderbouw van de sluitingsdijk verder op te hogen, terwijl men in het midden een kleine doorvaartopening behield, waarvan de bodem eveneens geleidelijk opgehoogd werd; het bleek nodig de ligging van deze opening regelmatig te veranderen, om te vermijden dat de uitschuring op eenzelfde plaats te lang zou aanhouden.

Hoe meer de konstruktie opgehoogd wordt, hoe groter het niveauverschil tussen beide watermassa's wordt. De amplitude van de getijden in het binnenbekken wordt kleiner terwijl deze in het buitenbekken groter wordt, doordat ze niet meer onderworpen is aan het kompenserende overstortwater uit het andere bekken.

Het tijdsverschil tussen de kentering en het hoog water wordt steeds maar groter, waardoor de moeilijkheden voor het zinken van de stukken en voor de scheepvaart almaar toenemen.

- b) De zinkingsplaats : Vooraf moet bepaald worden waar het zinkstuk moet gezonken worden.

Deze tweede faktor komt eveneens tussenbeide bij het bepalen van de afmetingen van het zinkstuk.

Indien het zinkstuk bestemd is voor de onderbouw van de sluitingsdijk, zal de lengte ervan, die ook de breedte van de dijk zal zijn, functie zijn van de diepte waarop het gezonken wordt. De breedte immers van een dijk neemt af, naarmate men hoger komt, om uiteindelijk een trapeziumvormige sekte te bekomen.

Soms was het nodig sommige zinkstukken een schuine vorm te geven om ze tussen twee reeds gezonken stukken in te kunnen plaatsen.

Om de erosieverschijnselen zoveel mogelijk te beperken, moet men nauwkeurig de te verdedigen oppervlakte kennen, alsook de ligging van de reeds geplaatste rijswerktapijten.

- c) Het ballasten: Op voorhand moet een schatting gemaakt worden van het aantal sloepen met zware breuksteen, dat nodig is om het zinkstuk op de bodem van de geul te doen belanden. In het algemeen kan men vooropstellen dat de last per m^2 tussen 500 en 1000 kg zal bedragen, naargelang de sterkte van de hevigste stroming. Hiermee kan een eerste schatting van de totale benodigde last gemaakt worden.

Indien nabestorten noodzakelijk blijkt te zijn, dan moet dit gebeuren na de eigenlijke zinking. Deze bijkomende operatie moet dan ergens in de totale beschikbare tijd ingelast worden.

Ook de afmetingen van de steenblokken zijn afhankelijk van de benodigde tijd voor het afwerpen ervan en van de hevigheid van de stroming.

De hoofdballast is verdeeld over meerdere sloepen, die elk 80 à 100 ton stenen kunnen vervoeren.

De sloepen zullen zich scharen omheen de plaats waar de zinking zal plaats hebben. Wanneer het zinkstuk onder het wateroppervlak verdwenen is, zullen de boten boven de zinkingsplaats komen liggen.

De plaats van de onderscheiden sloepen rond het zinkstuk moet vooraf bepaald worden.

Daar hun aantal bekend is, moet men ervoor zorgen dat de afmetingen van het zinkstuk genormaliseerd zijn in functie van de lengte van de beschikbare boten: de breedte van een rijswerktapijt zal kleiner zijn dan de lengte van een ponton en de grootste afmeting moet een veelvoud zijn van de lengte van de sloepen, ofwel iets groter dan dit veelvoud om het snel aanleggen van alle pontons mogelijk te maken.

Al deze elementen moeten snel geregeld worden; om de berekeningen te vereenvoudigen, is het nodig over meerdere gelijke sloepen te beschikken.

5. De zinking van de rijswerktapijten.

De zinkstukken die aan de Militaire dijk aangewend werden, waren alle van middelmatige afmetingen. De grootste ervan hadden een oppervlakte van 600 m^2 ($40 \times 15 \text{ m}$) terwijl de laatst gezonkenen slechts 300 m^2 groot waren ($20 \times 15 \text{ m}$). De kleinere afmetingen bij het einde van de dichtingswerken zijn te verklaren, doordat er in die periode praktisch geen stil water meer voorkomt; de stroming keert plots om en herwint vlug haar snelheid. Het binnenbekken blijft daarbij nagenoeg op hetzelfde peil staan als bij hoog water.

Op het einde van de werken bleven er praktisch gesproken nog tien minuten over om de verschillende operaties ten uitvoer te brengen.

Bij het begin van de dichting was het mogelijk per kentering (van vloed of eb) één stuk te zinken. Later moest men zich beperken tot de kenteringen van hoog water.

Voorafgaandelijk onderzoek toonde aan dat zeven tot acht minuten volstaan, opdat een ploeg van 25 man honderd ton steenblokken van 20 tot 80 kilogram elk zou afwerpen. Voor de nabestorting waren rotsblokken van 80 tot 200 kg beschikbaar.

Aan de Militaire dijk duurde het geheel van de zinkingsoperaties gemiddeld dertig minuten voor zinkstukken van 300 tot 600 m².

6. De eigenlijke plaatsing van de zinkstukken en het pakwerk.

Hoger werd reeds vermeld dat het zinkstuk ter plaatse wordt gebracht bij vloed. De plaats waar het konvooi stilhoudt voor de zinking, valt echter niet precies samen met de door bakens aangegeven definitieve ligging op de bodem (fig 38)

Gedurende het dalen beschrijft het takkentapijt nagenoeg een cirkelboog, want het wordt door zijn opwaarts (ten opzichte van de vloedstorm) gelegen ankers vastgehouden. Voor de eigenlijke zinking moet het zinkstuk dus een weinig vóór de bakens gelegen zijn en zich dan gedurende zijn afdaling naar zijn juiste ligging toe begeven.

Het is duidelijk dat de initiële ligging afhangt van de lengte van de verankeringskabels en van de waterhoogte aldaar. Deze diepte zal zeer groot zijn aan bres A bij Pijp Tabak. Een aanzienlijke beroepservaring zal vereist zijn van het voor dergelijke werken gespecialiseerd personeel.

Inderdaad, in geval van het omslaan van de stroming moet men rekening houden met de afwaartse ankers (die nu in feite "opwaartse" worden).

Alle belangrijke beslissingen moeten op zicht genomen worden; dit vraagt vanzelfsprekend een grote ervaring.

Rijshoutbundels, piketten, takkebossen, perkoenpalen en breuksteen worden op lichters, komende van de Schelde, doorheen de polder aangevoerd.

Anderzijds brengen enkele grote vrachtwagens rijshoutbundels onmiddellijk ter plaatse. De plaats om deze op te stapelen is echter zeer beperkt, en bij elk getijde worden alleen

de materialen aangebracht, die strikt noodzakelijk zijn voor de werken bij het volgende laagwater.

Men moest vermijden de transportboten langer dan 24 uur te immobiliseren. Daarom werden ze zo snel mogelijk naar de Schelde teruggevoerd om opnieuw gevuld te worden. Er werden immers tegelijkertijd zinkstukken in de bressen I en A neergelaten en pakwerk gekonstrueerd aan bres I.

Het pakwerk wordt bij hoogwater aangevoerd, en liefst zo dicht mogelijk bij de randen van de bres.

Ook de nuttige werktijd is van belang: in het begin kon men rekenen op twee uren. Vervolgens werd de tijd gereduceerd tot één uur, later tot een half uur door de voortdurende stijging van het peil van het water, dat in het binnenbekken opgehouden werd.

Toch moest men hetzelfde werktempo in stand houden en zelfs het rendement opdrijven bij de definitieve sluiting. Aldus waren de arbeiders verplicht hun werk aan te vatten in de stroming, nog vóór dat de eerste zinkstukken in zicht waren. Ook zullen ze hun werk beëindigen staande in het water.

7. De plaatsing van de zakken gevuld met klei.

Herinneren wij eraan dat de Administratie tot het massaal gebruik van aardzakken besloten had. Van zodra het bovenvlak van de sluitingsdijk zich op het peil (+ 4,00) boven de laagwaterstand aftekent, worden de zakken, die afkomstig zijn van Kruibeke en op alle mogelijke beschikbare plaatsen gestockeerd liggen, door vrachtwagens langs de oostelijke zijde naar de bres vervoerd.

Langs de westelijke kant worden ze door grote boten getransporteerd. Deze boten worden gevuld aan de dijk van de toekomstige autostrade Antwerpen-Kust en ontladen door grijpkranen. Werklieden nemen de zakken vervolgens op hun rug om ze op hun definitieve bestemmingsplaats te brengen.

Al deze werken hebben plaats bij laag water en bij half-tij, zodat er op sommige ogenblikken drie verschillende fasen aan de gang zijn :

- 1) het zinken van het rijswerk
- 2) de konstruktie van het rijswerk in het droge op de oever.
- 3) een beetje verder: het plaatsen van de bovenste laag zakken.

Bovendien worden de operaties bij het stil water van de vloed steeds maar delikater; sommige boten moeten het binnenbekken invaren, andere moeten het verlaten en de zinkstukken moeten in de volle geul gezonken worden. Al deze werken moeten binnen de 30 minuten gebeuren. Enkele slepers zullen er hun schroef verliezen door de geringe waterdiepte.

Zoals reeds vermeld, worden de kleizakken geplaatst om bovenop het rijswerk een bovenbouw te bekomen met een trapezoidale doorsnede van 10 meter onderaan en 4 meter aan de kruin.

Houten aflijnpaaltjes worden door landmeters geplaatst om het werk te vergemakkelijken; de toekomstige as van de dijk wordt gematerialiseerd door bakens op het rijswerk. De opmetingen moeten bij elk getijde hernomen worden, daar de boten maar weinig ruimte tot manoeuvreren hebben en bij de doorvaart de bakens breken. De aflijnpaaltjes anderzijds worden door de vloedstroom meegesleurd, ondanks het feit dat ze door sterke touwen worden vastgehouden.

De zakken worden in opeenvolgende lagen geplaatst volgens het tracé. De laatstgelegde laag wordt aan de twee vorige verbonden door houten piketten, die erin geslagen worden. Deze piketten zijn 80 cm lang en hebben 5 cm diameter. Door dit systeem vormt het massief een stijf geheel. Het is bovendien voldoende dichtgepakt om bij hoog water te kunnen weerstaan aan de druk, die veroorzaakt wordt door het peilverschil van de twee bekkens.

Als voorzorg worden vóór de volle vloed zware dekzeilen over beide uiteinden van de in opbouw zijnde dijk gespannen, om te vermijden dat de stroming doorheen het doek van de zakken zou vloeien en de inhoud ervan zou wegspoelen; aldus zouden er spoedig onherstelbare spleten in de dijk ontstaan.

Aan het fort van Kruibeke vullen twee ploegen van elk 100 arbeiders tot 40.000 aardezakken per dag. Veertig vracht-

wagens brengen ze naar de Militaire dijk tegen 120 tot 130 zakken per kamion.

Dank zij een massale aanvoer van kleizakjes en de ononderbroken arbeid van de werklieden, kon men aan beide zijden van de sluitingsdijk boven het peil (+ 3,00) per getijde gemiddeld met 10 tot 12 meter opschieten.

Hiervoor moesten in vier uren 12.000 tot 15.000 zakken geleverd worden: daarmee was een ploeg van 90 man belast.

Om de ingeslagen weg verder te volgen, namelijk de drempel voortdurend op te hogen, terwijl de bres steeds maar vernauwd werd, moesten de laatste lagen zinkstukken ononderbroken gezonken worden. Hierna werden eerst het pakwerk en dan de zakken geplaatst.

Op een bepaald ogenblik moesten deze drie activiteiten met grote zorgvuldigheid gesynchroniseerd worden om het peil van het binnenbekken niet al te snel te verhogen.

Op 28 april plaatsten de Minister van Openbare Werken en de Directeur-Generaal van Bruggen en Wegen de symbolische "laatste kleizak".

Bres I met een lengte van 170 meter en een diepte van 22 meter werd aldus bedwongen met een hulpdijk van 270 meter lengte, die aan de kruin tot (+ 6,00) reikte.

In totaal werden 15.000 m² zinkstukken gezonken met behulp van ongeveer 12.000 ton steenblokken.

Bovendien werden 3000 m³ pakwerk klaargemaakt.

Tenslotte werden met de hand 500.000 aardezakjes geplaatst terwijl 600.000 andere bij sekundaire werken aangewend werden, zoals bij de ophoging van de Militaire dijk en bij de dichting van de bressen IV en V.

8. Het probleem van de waterdichtheid.

Eenmaal dat de stroming door middel van de nieuwe dijk was afgesneden, kwam het erop aan deze waterdicht te maken, daar het water bij vloed doorheen de waterdoorlatende laag rijswerk zijpelde.

Het meest direkte middel om de dijk ondoorlatend te maken, bestaat erin grote hoeveelheden zand op te spuiten, die een ophoging moeten vormen langs beide zijden van de konstruktie, hetgeen ook de stabiliteit van het geheel ten goede komt.

Het water in het binnenbekken wordt konstant op het peil (+ 4,00) gehouden. Bij laag water dringt het doorheen het rijswerk en bij hoog water het in tegengestelde zin. Dit heen en weer stromend water moet ervoor zorgen dat het opgespoten zand meegesleurd wordt en aldus de dichtheid van de dijk bewerkstelligt.

Daags na de sluiting van de bres spoten twee pompen de ophoogspecie tegelijkertijd in de bres. De eerste, die opgesteld was op een steiger aan de Schelde, bevoorradde de 2600 meter lange leiding, terwijl de tweede onmiddellijk het zand opzoog, dat door de overstromingen in de polder was afgezet, en het over een afstand van 800 meter naar de plaats van bestemming stuwde.

9. De afwerking.

Na zeven dagen is de dichting van de bres volkomen afgewerkt. De polder zal door bemaling en drainering worden droogemaakt : vier supplementaire hevels met $\varnothing$ 650 worden bij Kallo geplaatst om het water in een sluis te doen belanden, die bij laag water in de Schelde geledigd wordt door middel van een systeem van kleppen.

Door al deze werken worden nagenoeg 700 hektaren grond in de polder van Kallo theoretisch weer voor landbouw en vee-teelt bruikbaar. Ook wordt de definitieve droogmaking van de huizen nu mogelijk. Deze hebben veel van de overstromingen te lijden gehad: sommige gebouwen, die zich in de volle stroming bevonden, zijn eenvoudig met het water meegesleurd.

De gewone activiteiten op de polder worden snel hernomen; terwijl de aannemer de draineerkanalen reinigt om de laaggelegen terreinen volkomen droog te maken, spitten de landbouwers de hoogste en minst getroffen gronden weer om. Het vee betreft weldra weer de snel met gras begroeide weiden.

10. De toestand aan Bres A op het ogenblik van de dichting van Bres 1.

Eerder werd reeds gezegd, dat tijdens de dichting van de sekundaire bressen II, III, IV en V en van de primaire bres I in de Militaire dijk, er ook voortdurend aan bres A bij Pijp Tabak werd gewerkt.

Na de delen van de opening, die bij laag water toeganke-
lijk waren, te hebben bekleed met rijswerk en breuksteen wer-
den de werken onder water voortgezet om het grootste deel van
de centrale geul tegen erosie te beschermen.

Aldus bracht men het grondverlies tot staan. Hierdoor
werd de situatie gestabiliseerd en kon men later van deze sta-
biele toestand uitgaan om het verloren terrein terug te win-
nen.

Men zal hier dezelfde werkwijzen terugvinden, die bij de
Militaire dijk aangewend werden, maar dan op aanzienlijk gro-
tere schaal; aan Pijp Tabak werden rijswerktapijten van 1800 m^2
gezonken (90 m lengte en 20 m breedte).

Op sommige dagen werden in de twee getijden 2500 m^2 zink-
stukken neergelaten; wekelijks werden er gemiddeld 12000 m^2
gezonken, terwijl dagelijks 8000 ton Boomse klei afgekipt
werd.

§ 6. De Werken aan Pijp Tabak.

1.- De nieuwe werkvoorwaarden.

Beschouwt men de nieuwe situatie, die ontstaan is door
de sluiting van bres I in de Militaire dijk, dan komt men tot
volgende gunstige konklusies :

- 1) Doordat de polder van Melsele-Kallo in twee delen ge-
sneden is, worden maar 600 ha grond meer periodiek
overstroomd. Het volume water, dat bij elk getijde
door bres A stroomt, is teruggebracht op $18.000.000 \text{ m}^3$.
Dit debiet is ongeveer even groot als het gemiddeld
debiet op de Rhône aan de stuw van Donzère-Mondragon.

Vóór de sluiting van bres I was dit volume gelegen tussen 25 en 30 miljoen m^3 , terwijl het gemiddeld vloed-debiet van de Schelde 70.000.000 m^3 bedraagt.

- 2) Als gevolg van de vermindering van de komberging, namen ook de stroomsnelheden aan bres A af.
- 3) De amplitude van de getijden is groter geworden in de polder, maar de nuttige werktijd bij de kenteringen is aanzienlijk groter geworden.

Doordat de polder op het niveau (+ 2,00) gelegen is en het laagwaterpeil gemiddeld (+ 0,50) bedraagt, wordt de effectieve ebkenteringsperiode in de centrale bres opgedreven tot 1 uur. Deze van de vloed duurt nu ongeveer 30 minuten. Vanzelfsprekend zal men het stil water bij eb maximaal benutten. De bruikbare werktijd zal echter afnemen naarmate de drempel van de te bouwen dijk hoger zal komen te liggen.

- 4) Doordat de polder meer dan één uur droog ligt is het aldaar gemakkelijker om opmetingen te doen en bakens te plaatsen.
- 5) Het vlottend materiëel kan beter gekoncentreerd worden. In de gchorre wordt het aantal toegangswegen tot de oostelijke kant van bres A verhoogd.
- 6) Het is nu mogelijk de nodige materialen aan te brengen en op te slaan in de nabijheid van de stranden waar de rijswerktapijten gekonstrueerd worden.
- 7) Alle diensten kunnen op dezelfde bouwplaats gekoncentreerd worden.
- 8) Het zal niet meer nodig zijn de polder met het vlottend materiëel te doorvaren om de werkplaatsen te bereiken.

2. De mogelijke oplossingen.

Terwijl de werken aan de Militaire dijk nog aan de gang zijn, worden gegevens verzameld om te kunnen uitmaken welke de methode is, die men zal moeten toepassen om bres A bij Pijp Tabak zo snel mogelijk te dichten.

Hiervoor maakte men vooraf op :

- 1) een topografisch overzicht van de bodem van de polder rondom de grote uitschuringskrater, vervolledigd met een precieze dieptepeiling van de laagstgelegen delen van het stroomgat.
- 2) een dagelijkse getijdenkromme
- 3) een kurve, die de snelheid van de stroming aangeeft.
- 4) een schatting naar het debiet van de onderscheiden bekens.

Wat de dichting betreft, is elke bres echter een afzonderlijk geval; mogelijke oplossingen kunnen in twee groepen onderverdeeld worden :

- a) direkte dichting van de centrale geul door er systematisch grote hoeveelheden plastische materialen zoals zinkstukken, klei, steenblokken, enz. in te storten.
- b) de centrale geul omgeven door zanddijken, lichte caissons of oude schepen; hierbij laat men voor de definitieve dichting in het midden een brede opening bestaan voor het afvloeien van het water; deze opening mag niet te diep zijn om de stroomsnelheid te beperken. De bodem van de aldus geschapen geul wordt bedekt met zinkstukken; het komt er dan op aan de opening zo snel mogelijk af te sluiten met behulp van oude pontons of betonnen caissons, die op de oever geprefabriceerd en drijvend ter plaatse gebracht worden.

Een tussenoplossing bestaat erin de konstruktie in a) voorzien, ten uitvoer te brengen en dan het bovenste deel ervan te bezetten met een rij caissons of pontons.

Voor de dichting van bres A werden 3 mogelijke oplossingen weerhouden (fig 39 en 40) :

- Oplossing 1: a) op een afstand van 400 m van de bres een dubbele laag rijswerk op de bodem van de polder (op (+ 1,20) gemiddeld gelegen) aanleggen, waardoor een drempel op het peil (+ 3,00) ontstaat over een lengte van 250 m (de uiteindelijke breedte van de bres).

- b) aan elk uiteinde van deze rijswerkbekleding grote hoeveelheden breuksteen en Boomse klei zinken, die als aanzet zullen dienen voor twee transversale dijken.
- c) langs beide zijden van de bres de dijk optrekken door middel van zandopspuitingen : deze stukken dijk worden zijdelings begrensd door kleine konstrukties uit kleizakken, bedekt met rijswerk.
- d) gesloten betonnen caissons met geringe diepgang vlottend ter plaatse brengen; deze caissons, die te Antwerpen kunnen vervaardigd worden, hebben als afmetingen 25m x 8m x 3m.

Vervolgens moet zo vlug mogelijk, binnen de duur van enkele getijden, een rij van een tiental naast elkaar gezonken caissons geplaatst worden; deze caissons worden door middel van buisleidingen met zand gevuld.

De totale lengte van de sluitdijk bedraagt 1000 meter.

Oplossing_2 : Deze is in grote lijnen gelijkaardig aan de vorige, maar de lengte der zanddijken wordt tot 2 x 230m = 460 meter beperkt; er wordt een opening van 150 meter lengte vrij gehouden.

Ter hoogte van die plaats moet in de uitgeschuurde holte een drempel bestaande uit rijswerk, breuksteen en Boomse klei tot op het peil (+ 3,00) opgetrokken worden om eerst twee transversale caissons, die als landhoofden zullen dienst doen en vervolgens twee grote gesloten caissons in beton, die de bres op enkele spleten na zullen afsluiten, te kunnen plaatsen.

Deze oplossing heeft het nadeel dat voorafgaandelijk twee zijcaissons van 25m x 12m x 3m moeten gebouwd worden, alsook twee grote caissons van 50m x 15m x 3m. Tevens levert het verslepen van

deze caissons in de periode van maximaal verkeer op de Schelde heel wat moeilijkheden op.

Men moet er bijgevolg rekening mee houden dat één der caissons beschadigd kan worden; ook kan een caisson stranden op een ongelegen ogenblik, zoals bij het transport; bij de eigenlijke zinking hangt er veel af van het korrekt opvolgen van het vooropgestelde tijdsschema. Ingeval het caisson zou stranden tijdens het transport, zal het nodig zijn het Scheldevverkeer te blokkeren om de konstruktie weer vlot te krijgen. In dit geval moet de eindoperatie vóór de sluiting toch binnen de voorafbepaalde termijn voltooid zijn: deze termijn bedraagt twee opeenvolgende getijden, dit om ontgronding van de drempel bij langdurige stroming te vermijden; deze stroming wordt dan verplicht doorheen een opening van slechts 45,00 m te vloeien. Hieruit volgt dat de bouw van een derde caisson moet voorzien worden, waardoor de kosten van de werken aanzienlijk hoger komen te liggen.

Om aan de waterdrukken op de grootste wand van het caisson te weerstaan, worden gedurende deze zinkingsoperatie meerdere slepers naast elkaar tegen de stroomrichting in geplaatst. Zo werden bij een gelijkaardige operatie in Nederland zes zware slepers in de bres meegesleurd, samen met het caisson, dat ze ter plaatse moesten houden. Het ging hier om een verkeerde schatting van het aangrijpende moment. Bij het volgende tij werd de bewerking dan met sukses afgehandeld. Merken we hierbij op dat men aldus het risico loopt het caisson niet op de juiste plaats te zinken.

Oplossing 3 : Deze oplossing houdt de bouw in van een hulpdijk die de bres onmiddellijk sluit en die volgens de kortste, maar dan ook diepste weg aangelegd wordt. Deze afdamming uit rijswerk, steenblok-

ken en Boomse klei wordt geplaatst op een uitgestrekte bekleding van de bodem met lagen takkebossen vanaf het peil (- 17,00).

Boven deze bekleding worden zakken met grond tot het peil (+ 6,00) aangebracht.

De waterdichtheid van de sluitingsdijk wordt verzekerd door twee opgespoten ophogingen langs beide zijden ervan.

Deze oplossing vereist veel vlottend materiëel en een ononderbroken aktiviteit dag en nacht.

Ze is echter nieuw in die zin dat men nog nooit Boomse klei in zulke grote hoeveelheden gebruikt heeft in vergelijking met de andere materialen, die men bij zulke werken nodig heeft.

Tenslotte vragen het vullen, het transport en het aanbrengen van duizenden kleizakken voor de bekleding van de hulpdijk zeer veel personeel, terwijl er voor de konstruktie van duizende vierkante meter zinkstukken een uitgebreid team specialisten nodig is.

Uiteindelijk werd deze laatste oplossing aangenomen.

3. De bouw van de sluitdijk.

Rond 1 mei was de ruwbouw van de konstruktie aan de Militaire dijk afgewerkt; alleen bijkomende werkzaamheden waren nog aan de gang. Vanaf deze datum werden alle aktiviteiten toegespitst op de werken aan Pijp Tabak.

Reeds werden 15000 m² bescherningszinkstukken geplaatst om de uitschuring van de bodem van bres A stop te zetten. Dit enorm tapijt werd verder uitgebouwd om uiteindelijk over een lengte van 200 m en een breedte van 150 m te kunnen beschikken; aldus werd alleen al voor de eerste laag 30.000 m² rijswerk gezonken.

Terwijl lagen zinkstukken gezonken werden, werd tegelijkertijd Boomse klei met klepbakken aangebracht om ze op de

reeds geplaatste zinkstukken neer te laten. Het uitstekend rendement van een baggermolen leidde ertoe dit werktuig zoveel mogelijk aan te wenden: aldus werd een aanvang gemaakt met het ophogen van de sluitingsdijk over een basis van 150 m tot een totale hoogte van 25 m. Op 1 mei was de diepte op deze manier herleid tot 7 m.

Principiëel moest de bodem van de ontgronding afgedekt worden met zinkstukken ter plaatse van de dam en ook ernaast om weerstand te kunnen bieden aan het overstortend water, dat zich beurtelings aan elke zijde ervan zal voordoen (getijden !). Daarna werd over een zekere dikte klei gestort, die dan op haar beurt met een laag zinkstukken tegen erosie afgedekt werd. Dan weer een laag klei, een laag zinkstukken, enz... De opeenvolgende lagen werden smaller naarmate men hoger kwam om een normaal talud te kunnen vormen; een perfecte overlaat vereist immers een trapezoidale doorsnede van de dam om het over de drempel stromend water zo goed mogelijk te geleiden.

Vroeger werd reeds door herhaalde dieptepeilingen vastgesteld dat het stromend water zelf de klei effen strijkt. Door deze gunstige eigenschap was het mogelijk dat er na enige tijd een voortreffelijke overlaat ontstaan was, die bij half-tij aanleiding gaf tot een mooie stroomdoortocht zonder wer-
velling of ontgronding, toen de bres maar 100 m breed meer was.

Teoretisch moest de sluitingsdijk in opeenvolgende lagen zinkstukken opgebouwd worden, die belast zouden worden met breuksteen en klei, maar waarin het rijswerk overwegend zou zijn. Daar de Boomse klei echter weinig met de stroming mee-
gesleurd wordt, zal men in de praktijk meer klei aanwenden dan rijshout.

Veel aandacht werd besteed aan mogelijke glijdingen van grondmassa's alsook van de aanzienlijke materiaalopstapelingen; in grote kleimassa's zijn dergelijke glijdingen immers niet uitgesloten. Door bestendige controle hebben er zich geen ongevallen voorgedaan: deels is dit echter ook toe te schrijven aan de voortdurende gladstrijkende werking van het water op het bovendeel van de in uitvoering zijnde konstruk-
tie en ook doordat elke nieuwe uitschuring onmiddellijk opgespoord werd. Vervolgens wordt het geheel bedekt met een be-

kleding van rijswerk en met een nieuwe laag klei, die er zich binnen enkele getijden gelijkmatig over uitspreidt.

Zonder deze massale aanvoer van Boomse klei, zouden de dichtingswerken van bres A wellicht dubbel zo lang geduurd hebben. Een andere belangrijke faktor bij het welslagen van de operatie is de voortreffelijke organisatie en planning van het geheel geweest.

4. De versleping en het neer-laten der zinkstukken (fig. 41).

Het verslepen van een zinkstuk gebeurt als volgt :

Een met breuksteen beladen ponton wordt, dwars op de vaar-richting, langs de voorzijde van het zinkstuk geplaatst. Een bootje bevestigt vervolgens enkele meerkabels aan het rijswerk-tapijt om de krachten, uitgeoefend door de slepers, zoveel mogelijk te verdelen.

Veelal wordt aan de achterzijde van het zinkstuk een tweede ponton geplaatst. Hierdoor loopt men echter het risico een plooi te doen ontstaan middenin het stuk, wanneer er door de aan het achterste ponton verbonden slepers een grotere voorwaartse kracht uitgeoefend wordt dan door de slepers vooraan. Dergelijke plooi kan het gebin betekenen van een scheur in het zinkstuk. Wanneer het verschijnsel zich voordoet, moeten de slepers achteraan in tegengestelde zin beginnen trekken, terwijl alle beschikbare arbeiders zich op het tapijt moeten begeven om het weer effen te krijgen.

Indien nodig, worden alle bakken, die met ballaststeen beladen zijn, reeds rond het stuk aangelegd, nog voor het konvooi de bres bereikt.

In het algemeen blijven de bakken met breuksteen op een zekere afstand van het zinkstuk gedurende het transport.

De opwaartse ankers worden neergelaten tijdens de vaart, terwijl de afwaartse daarna op hun beurt met behulp van grote boten op hun plaats gebracht worden. Tenslotte worden ook de zijdelingse ankers gezonken (fig. 41).

Wanneer het zinkstuk bij laag water moet gezonken worden, worden de met breuksteen beladen sloepen bij hoog water in de polder versleept tot in de nabijheid van het stuk, dat op een binnenstrand gekonstrueerd wordt. Het geheel wordt dan bij dalend water naar de bres gebracht. Hierbij moet men degelijk rekening houden met de diepgang der sleepboten; het konvooi moet twee uren voor het stille water aan het uiteinde van de bres aangekomen zijn op voldoende afstand van de sterke stroming die door het stroomgat trekt; vervolgens moet men wachten op het geschikte moment om de bres in te varen.

Hoger werd reeds opgemerkt dat de definitieve ligging van het zinkstuk afhangt van de waterhoogte, daar het bij het zinken een cirkelboog beschrijft.

Reeds bij het relaas van de werken aan de Militaire dijk werd uiteengezet hoe de rijswerktapijten gezonken werden. Voor de bres aan Pijp Tabak werd hetzelfde procédé toegepast, met dit verschil dat het aantal ingezette boten groter was en dat er meer personeel nodig was. Voor de grote stukken van 1800 m² zijn er acht bakken nodig, elk geladen met 100 ton breukstenen van 20 tot 80 kg en nog eens twee pontons met 400 ton grote steenblokken van 80 tot 200 kg voor het nabestorten; hierbij werden 200 arbeiders te werk gesteld.

Indien het zinkstuk dicht bij de rand van de bres moet gezonken worden, zal het onmogelijk zijn de benodigde pontons er omheen te plaatsen en moeten de stenen vooraf op de vaste rand geworpen worden. Wanneer het zinkstuk op zijn juiste plaats ligt voor de zinkoperatie, worden ze weer opgenomen en door arbeiders, die op daartoe voorziene loopplanken als het ware een ketting vormen, naar het centrum van het stuk gebracht om ze af te werpen. Langs de vrije waterzijde worden de stenen vanaf de sloepen uitgeworpen; deze laatste zullen gedurende de zinking boven het zinkstuk plaats nemen voor het nabestorten.

5. De bovenbouw uit kleizakken.

Door aldus bij elk getijde zinkstukken en klei in de bres neer te laten, werd de sluitingsdijk geleidelijk aan opgebouwd; bij eb kwam een steeds groter gedeelte ervan boven het wateroppervlak uit. Op 1 juni was de drempel bijna geheel tot aan het peil (0,00) opgetrokken.

Hetzelfde procédé als bij de Militaire dijk zal worden aangewend. Ook zal men zo vlug mogelijk enkele zinkstukken op de randen bij de uiteinden van de bres laten zinken tot het peil (+ 3,00) om het plaatsen van de kleizakken, die de bovenbouw van de dijk zullen vormen, te kunnen aanvatten.

Reeds werd aangestipt dat het de bedoeling was de drempel over heel zijn lengte op te hogen om geen diepe doorgang te hebben, die de stroming alleen maar zou versterken. Tot nu toe werden slechts maximum snelheden van 5,50 m/s vastgesteld. Anderzijds moet de onderbouw van zinkstukken aan zijn top die breedte hebben, die vooraf bepaald werd vanuit het oogpunt van de stabiliteit van de bovenste bekledingslaag van kleizakken.

Men mag immers niet vergeten dat rekening dient gehouden te worden met zettingen en zelfs met belangrijke afkalvingen. Indien de breedte van de sluitingsdijk op het peil (+ 2,00) voldoende is, kan men een kritieke situatie nog altijd recht-trekken door een supplementair zinkstuk neer te laten. De aangewende hoeveelheid kleizakken is hier veel groter dan bij de Militaire dijk. Deze bovenbouw reikt bovendien hoger. Er is dus een solide basis vereist om het gewicht te kunnen dragen en de stabiliteit te verzekeren (fig. 42).

Terwijl zoveel kleizakken klaargemaakt worden, worden ook regelmatig zinkstukken gezonken en worden er andere op kunstmatige stranden gekonstrueerd. Het aantal controlepeilingen wordt opgedreven want weldra zullen de sloepen met Boomse klei niet meer doorheen de bres kunnen varen; er zal dan ook in het vervolg op dit materiaal geen beroep meer kunnen gedaan worden, indien er onvolmaaktheden onder water aan de konstruktie ge-konstateerd worden.

Hoe verder de bouw vordert, hoe hoger het werktempo wordt. Kleizakken worden in de alluviale terreinen van de schorre gevuld door ploegen van 200 man, die elkaar dag en nacht aflossen. De vrachtwagens rijden ononderbroken, terwijl bulldozers de niet versterkte zandwegen onderhouden.

Wanneer de laatste sloepen uit de polder verdwenen zullen zijn - het peil van de doorgang is dan immers tot het peil (+ 3,50) opgevoerd - worden de benodigde zakken grond voor het einde der werken aan Pijp Tabak zelf gevuld. 's Nachts werd bij uitgebreide kunstmatige verlichting gewerkt.

Na bijna 5 maanden van zware inspanningen, kon op 25 juni 1953 de laatste symbolische aardezak geplaatst worden.

Nog enkele technische gegevens:

Op 2 april werd het eerste afschermzinkstuk neergelaten. Tot 22 april werd 8000 m^2 rijswerk gezonken, geballast met 7000 ton breuksteen.

Op 25 juni waren 85000 m^2 zinkstukken gezonken met behulp van 100.000 ton breuksteen; 5000 m^3 pakwerk werd gekonstrueerd. Gedurende deze tijd werden 800.000 ton Boomse klei opgehaald, vervoerd en uitgestort.

Met al dit materiaal werd een sluitingsdijk met trapezoidale doorsnede en volgende afmetingen gebouwd:

- 150 meter breedte onderaan op het peil (- 17,00)
- 25 meter breedte bovenaan op het peil (+ 3,00)
- 20 meter hoogte

De dwarssektie van de bovenbouw uit kleizakken is eveneens trapezoidaal :

- 18 meter breedte onderaan op het peil (+ 3,00)
- 6 meter breedte bovenaan op het peil (+ 7,00)
- 4 meter hoogte.

De bouw ervan vereiste het vullen, het vervoer en het plaatsen van 1.300.000 zakken met een maximale hoeveelheid van 80.000 per dag.

Ondanks het enorme gewicht van het geheel werden geen afschuivingen of abnormale zettingen gekonstateerd. De maximale inklinking die in de dijk optrad, bedroeg ongeveer 70 cm ter hoogte van de sluiting, waar de laag rijs- en pakwerk het belangrijkste was.

6. Het herstel van de eigenlijke dijk (fig. 43)

Eenmaal wanneer de stroming afgesneden was werd door middel van een zandzuiger langs beide zijden van de sluitingsdijk zand opgespoten. De bedoeling hiervan is de lekken doorheen het rijswerk te stoppen. Men moest erover waken dat de ophoging langs de Scheldekant het peil (+ 4,00) niet overschreed, opdat het zand niet in de rivier zou weggespoeld worden. Om dergelijke afschuiving te vermijden en om aan het talud weer zijn normale helling te geven, werd het afwerpen van Boomse klei volgens scherp afgebakende lijnen voortgezet. Men moest immers enerzijds vermijden de bodem van de vaargeul in de Schelde te verhogen, die op deze plaats zeer dicht bij de bres ligt en anderzijds moest de ophoging een voldoende flauwe helling bezitten.

Tien dagen na de dichting van het stroomgat, was de dijk weer ondoorlatend gemaakt.

Het water dat zich nog in de polder bevond, kwam intussen via een sluisje terug in de Schelde terecht. Bewaking was dus overbodig.

De Diensten van Bruggen en Wegen hadden opgemerkt dat de meeste bressen zich voorgedaan hadden op die plaatsen, waar er geen rijzen berm op halve hoogte van het binnentalud aanwezig was. De aannemersfirma werd daarom belast met de aanleg van dergelijke berm ter plaatse van bres A en vervolgens ook aan de bressen B en C.

Daarna moest het bovendeel van de oude dijk oostelijk van bres A over een lengte 1000 m opgehoogd worden (fig. 43); de kruin werd op het peil (+ 8,50) gebracht door uit de schorre de benodigde zware grond op te halen. Het onderste deel van de oude dijk zal dan de berm op halve hoogte uitmaken.

Terzelfdertijd wordt een nieuw draineerkanaal naast de dijk in de polder gegraven.

Ter hoogte van de bressen B en C werd het dijkprofiel in de zandophoging herbouwd; dit dijklichaam werd dan bedekt met een laag van 1,00 m schorregrond.

Langs de Scheldezijde van bres A werd uitsluitend Boomse klei aangewend; op deze klei kwam dan een laagje teelaarde om de bezodding te vergemakkelijken.

Vervolgens herbouwt men de beschutting van de taludbekleding: de kleilaag wordt bedekt met rietstengels, die door evenwijdige rijen takkenbundels vastgehouden worden. Hierna wordt het geheel met een laag grint (30/60) van 20 cm bedekt.

Onderaan de beschutting worden om de meter eiken palen van 3 meter lengte ingeslagen. Aan deze staken bevestigd men eiken planken, die het geheel moeten ondersteunen.

Ter verdediging van heel de konstruktie werden aan de Scheldezijde vier grote zinkstukken van 60 x 20 m gezonken.

De bovenzijde van de taludbeschutting werd afgedekt door betonplaten van 1,00m x 0,60m x 0,15m, die naast elkaar geplaatst werden om ze in elkaar te kunnen doen ingrijpen.

Het aantal arbeiders, die voor het uiteindelijk welslagen van de werken instonden, was tussen 200 en 400 gelegen.

Doordat de via bres A overstroomde polders pas in volle zomer (begin juli) droogkwamen, waren deze polders in 1953 agrarisch niet meer te exploiteren; alleen al de aanwezige overslaglaag belette vooralsnog elke bebouwing.

Het was dan ook pas in 1954 dat de polder weer zijn gewoon uitzicht had.



Het stroomgat bij Fort Frederik



Voorlopig herstel van de binnendijken in de Antwerpse
Noorderpolders (Foto's Min. Openb. Werken)

HOOFDSTUK III : DE OVERSTROMINGEN IN DE ANTWERPSE NOORDERPOLDERS

§ 1.- De Gebeurtenissen.

Op zaterdag 31 januari 1953 werd via het weerbericht in de radio gemeld dat een gevaarlijk stormveld onze kusten naderde. De wind nam steeds toe, waarbij hij van het WZW geleidelijk naar het NW draaide.

Reeds bij het avondhoogwater van 31 januari rond 17 u werd waargenomen dat het normaal springvloedpeil met 1 m overtroffen was; toen reeds sloeg het water over de zomerdijken van de potpolder van Zandvliet.

Wegens de steeds sterker opzettende storm, werd het vermoeden en de vrees groter dat het morgenhoogwater te Antwerpen (om 5.34 u) rampspoedig zou worden. We hernemen hier even in gekondenseerde vorm de te Antwerpen geregistreeerde waterhoogten (fig. 45). Te Antwerpen werd (+ 7,85) bereikt, terwijl afwaarts nl. aan Fort Liefkenshoek, meer dan (+ 8,00) gemeten werd. In 1906 reikte dit peil slechts tot (+ 7,40).

De vloedgolf stortte zich op tal van plaatsen tengevolge van de hoge waterstanden en de plaatselijke opwaaiing over de kruinen van de wakerdijken en verwekte het gekende verschijnsel van uitwoeling van kruin en binnenbeloop. Deze overspoeling duurde ruim één uur op de Schelde stroomafwaarts van Antwerpen. Door het opeenvolgend doorbreken van dijken in het Scheldegebied en het als gevolg hiervan ontstaan van waterbergingskommen, daalde het peil op de Schelde zelf na dit eerste uur schoksgewijs. Weldra waren op talrijke plaatsen bressen in de dijken geslagen. Sommige van deze bressen groeiden uit tot ware stroomgaten, waarbij op sommige plaatsen hele dijkspanden verdwenen. De ramp ontwikkelde zich zo snel dat mensen en dieren er het leven bij inschoten. Daar alles zich in de duisternis afspeelde, maakte dit de kritieke toestand er alleszins niet beter op. Wat de Antwerpse Noorderpolders betreft, mag men aannemen dat, op enkele uitzonderingen na, alles wat overstroombaar is, ook werkelijk onder water gekomen is.

Het zware namiddaghoogwater van 1 februari ondervond nu maar weinig hindernissen meer om de geslagen dijkbreuken verder te verdiepen en overspoelde andermaal de polders, de schade en vernieling overal nog vergrotend.

§ 2.- De schade aan de wakerdijken (fig. 44).

Volgende dijken liepen in de Antwerpse Noorderpolders min of meer zware schade op :

- a) de dijk tussen de Kruisschanssluis en Fort St. Filip vertoonde aanzienlijke uitwoelingsschade.
- b) de dijk tussen de in aanbouw zijnde Boudewijnsluis en de Belgische sluis werd vrij erg toegetakeld (5 belangrijke uitwoelingen). Een nabijgelegen straatweg werd over enkele honderde meters weggeslagen.
- c) de ringdijk bezuiden Lillo-Fort vertoonde ter hoogte van de plassen van "Het Gat" een zestal bressen, maar de dijkvoet bleef er onaangetast.
- d) te Lillo-Fort sloegen door:
 - de dijk onmiddellijk bezuiden de dijkpoort tegenover het haventje (bres van $\pm$ 20 meter).
 - de dijk tussen het haventje en de vestingsgracht (bres van $\pm$ 30 meter).

Als gevolg hiervan liepen enkele aanliggende polders vol water.

In de kerk van Lillo-Fort reikte het water tot 1,55 m boven de vloer.

- e) in de dijken rondom het Fort van Blauwgaren ontstond een bres van 50 tot 60 meter met vorming van een weel aan de dijkvoet. Een tweede bres in de nabijheid hiervan mat 30 meter.
- f) aan de Belgische sluis waren er slechts enkele kleinere uitschuringen.
- g) ongetwijfeld was de ergst gehavende wakerdijk deze tussen het oud Fort Frederik en de schorpolder van Zandvliet: even benoorden de suikerfabriek van Berendrecht

bevond zich een grote doorbraak, die een zeer diepe bestendige verbinding met de Schelde tot stand bracht; hoewel ze oorspronkelijk slechts 40 m breed was, bereikte ze op 22 februari reeds 91 m met een diepte tot (- 17,00). In april was de breedte reeds tot 131 m uitgegroeid. De inbraakwoelkom strekte zich in de polder tot 85 m van de binnenteen van de dijk uit. De grootste diepte (- 17,00) bevond zich vlak onder de dijkskruin. Wat verder noordwaarts bevond zich een tweede bres van 75 m, die echter veel minder was : (+ 4,00).

De dijk verder noordwaarts was zeer zwaar gehavend en vertoonde talrijke bressen, afslagen en afkalvingen. De diepten waren er echter ook niet zeer groot. Dit pand moest voorlopig onverlet gelaten worden. Honderde turfblokken uit de dijk werden diep de polders ingeworpen. Sommige van deze veenklompen hadden een omvang van 5 m^3 .

- h) de dijk tussen de schorpolder van Zandvliet en de Hagmanspolder vertoonde eenzelfde beeld : hij verkeerde in een zeer bedenkelijke toestand.
- i) de zomerdijk van de schorpolder van Zandvliet vertoonde talrijke kleine afslagen en erosiegeulen.

Merkwaardig is wel dat de twee diepste doorbraken in het Zeescheldebekken (Pijp Tabak en Fort Frederik) zich voordeden in de holle bochten van de rivier, waar de vaargeul het dichtst bij de dijk ligt. De raaklijn aan de stroomdraden loopt er vlak uit tegen de dijk; bovendien is de grondmassa tussen de geul en de dijk aldaar het dunst en het minst weerstandbiedend. De dijken waren daarenboven aan de volle windwerking blootgesteld.

§ 3.- Omvang van de overstromingen.

1.- Op het grondgebied van Antwerpen:

Fig. 29 vermeldt de overstroomde gebieden. In totaal zijn door het Scheldewater nagenoeg 400 ha weilanden en 600 ha labeurgronden op Antwerps grondgebied overspoeld geweest.

2.- Op de gronden benoorden 's Hertogendijk.

Tijdens haar maximale omvang reikte de overstroming tot aan het Laageind van Stabroek; het peil lag er rond (+ 4,50). Enkele hoger gelegen plaatsen in dit gebied bleven gespaard.

In de polder van Zandvliet en Berendrecht bereikte het water plaatselijk het peil (+ 5,00). De woningen op de weg tussen Berendrecht en Zandvliet liepen onder. De Oost-Noordlandpolder werd overstroomd tot aan de hoeve "De Weeltjes". Ook de Kabeljauwpolder kwam gedeeltelijk onder water te staan. De Hegemanspolder liep onder ten gevolge van het overvloeien van het water over de kruin van de dijk langs de kant van de schorpolder, waardoor ook uitschuring ontstond van het binnenbeloop. De Grenspolder en de Nieuwe-Zuidpolder liepen eveneens onder. Zoals hoger vermeld, was de schorpolder van Zandvliet reeds 's zaterdags onder water gezet.

In het geheel werden ongeveer 3.400 ha gronden op het grondgebied van de toenmalige gemeenten Zandvliet, Berendrecht, Lillo en Stabroek overstroomd. Iedere dag stroomde het Scheldewater tweemaal de voornoemde polders in en uit via het grote en na zekere tijd enig overblijvende stroomgat bij Fort Frederik. Vanzelfsprekend stond het water het hoogst in de polders van Zandvliet en Berendrecht, daar deze onmiddellijk achter de dijksopening gelegen waren.

§ 4.- De toegebrachte schade.

De aangebrachte schade werd veroorzaakt door de aanwezigheid van het water, en anderzijds door de ontstellende kracht, waarmee het water sommige laaggelegen gronden is binnengedrongen.

Grote schade werd aangericht aan de ondergelopen huizen en hun inhoud. Plaatselijk werden verdedigingskonstrukties (rijspakwerk) in de omgeving van de dijken weggerukt. De polders en de taluds der dijken lagen bezaaid met allerlei materiaal, dat uit de huizen of uit de polders zelf werd meegesleurd: pakken stro, uien,... Vele wegen in de getroffen zone werden geheel of gedeeltelijk vernield. Ook de betonnen trap, die toegang geeft tot de wallen van het Noordkasteel, was onbruikbaar geworden.

Ter plaatse van praktisch alle grote bressen werden woelkommen uitgeschuurd: een grote inbraakgeul met twee vertakkingen (één oostwaarts en één naar het noordoosten) werd bij het grote stroomgat van Fort Frederik gevormd. Tevens werden belangrijke zandige afzetlagen op de oorspronkelijke kleibodem gevormd, waarop men na het droogleggen ribbelforming kon waarnemen. Scheidingsgreppels tussen percelen verdwenen door aanslibbing. Drainagenetten waren op de meeste plaatsen totaal verstopt, op andere plaatsen alleen de uitmondingspijpen over een zekere lengte. Zware schade leden ook de machines van de suikerfabriek te Berendrecht. De veestapel uit de overstroomde zones kwam grotendeels om.

De bodemstructuur werd door het zout water nadelig beïnvloed. Behandeling met gips bleek na de droogmaking noodzakelijk.

Ook het wild is grotendeels verdronken.

Afsluitingen en omheiningen van weilanden en akkers werden omvergeslagen.

En, last but not least, vielen onder meer te Lillo mensenlevens te betreuren.

§ 5.- De eerste maatregelen.

De eerste zorg ging uit naar het redden van mensen en dieren. Afgezonderde polderbewoners werden met bootjes uit hun huizen gehaald. Het nog in leven zijnde vee heeft men doorheen het water en deels over de dijken gered. Het vervoer met boten werd bemoeilijkt door de enorme massa "veek" (afval van riet, wrakhout, ijzerdraad, stukken huisraad, enz...), die door water en wind was bijeengedreven tegen de binnendijken langs de windzijde en waarin mensen en dieren, alsook de bootjes verstrikt geraakten. De navigatie op het overstroomde gebied werd bovendien nog bemoeilijkt door de overeind gebleven afraasteringen.

Ook in de woningen drong het zoute, sterk verontreinigde water binnen. Een primaire hygiënische eis was het opruimen der kadavers en het schoonmaken en ontsmetten der ondergelopen woningen. De bevolking van Lillo was door de ramp van zuiver water verstoken en moest daarin met ketelwagens worden bevoorraad.

Wat het tekeergaan van de overstromingen betreft, stelde men zich tot doel de gîndeerde gebieden zoveel mogelijk te beperken om de in de polder in- en uitstromende hoeveelheid water zo klein mogelijk te houden. De dijken, waarvan de dijksvoet gaaf was gebleven, werden op de afgeslagen panden zoveel mogelijk met zandzakken weer opgetrokken; tussen en in de zandzakken werden soms palen en ijzerdraad ter versterking aangebracht.

Wegens het ontstaan van slechts één enkel stroomgat beoorden Fort Frederik, beperkte men er zich toe alle openingen en doorgangen in de Zwanendijk en de Gemeentedijk te dichten, zodat alleen nog de polders van Berendrecht en Zandvliet (in totaal 610 ha) door het water van de grote bres bij Fort Frederik werden overspoeld. Op 13 februari was dit werk beëindigd, zodat vanaf die datum met de droogmaking van de polder van Lillo kon worden begonnen. De polders van Zandvliet en Berendrecht zouden dus aan de getijdewerking onderhevig blijven tot de definitieve sluiting van het stroomgat bij Fort Frederik.

Tweemaal daags stroomden door dit stroomgat ongeveer 10 miljoen m³ water in deze overstromingszone, die bekend is om haar hoge kwaliteiten in verband met de suikerbietenkultuur.

Waar het mogelijk was, deed men de weer afgedichte, maar nog onder water staande polders afspuien langs de niet-vernietigde duikers. Elders werden pompen geplaatst om het gebied zo snel mogelijk droog te krijgen. De meeste polders, op deze van Berendrecht en Zandvliet na, kwamen weldra droog en vanaf maart of april kon met omploegen en bezaaien begonnen worden.

Gelukkig was maart 1953 een droge maand, zodat de bovenafvoer van de beken, die in de polders aflopen, gering was en geen al te grote bijkomende onkosten voor bemaling vergde. Ongunstig was echter het feit dat vele van deze afvoerbeken door het slib dermate verstopt waren, dat nu meer landinwaarts overstromingen ontstonden, die onder meer tram- en wegverbindingen onmogelijk maakten.

Achteraf beschouwd, is het van groot belang geweest dat de Gemeentedijk en de Zwanendijk, op enkele bressen na, behouden bleven, zoniet zouden nog grotere oppervlakken grond maanden lang met het dagelijks tweemaal in- en uitdrendend water af te rekenen hebben gehad.

Nadat stabilisatie van de toestand was ingetreden door de inundatiezone te beperken tot de polders van Zandvliet en Berendrecht, stelde men vast, dat dit overstromingsgebied meer en meer het aspect aannam van een slikkelandschap. Overal had zich een dikke laag slib afgezet (ook op de wegen en in de ondergelopen woningen), waarvan de dikte eind maart 15 cm en eind april 20 cm bedroeg. Bij ieder hoogtij werd een belangrijke hoeveelheid nieuw slib aangevoerd. Eind april kon de totale hoeveelheid slib, die de Zandvliet-Berendrecht-polder was ingevoerd, geschat worden op 1,2 miljoen m³. Ook werden bij elk hoogwater nog een weinig voek en talrijke veenklompen meegesleurd in de polder.

Bij laag water vloeiende de overstroomde polder niet volledig af; er bleef een gedeelte water achter ten gevolge van de vertraging, veroorzaakt door de trechterwerking van het

stroomgat. Terwijl het water bij vloed reeds aan het stijgen was in het zuidelijk deel van de polder (het dichtst bij de bres), vloeiende het nog af van noord naar zuid in het noordelijk deel. In werkelijkheid had men te doen met een interferentieverschijnsel tussen de getijdebewegingen in de rivier en in de polder. Men zou dit verschijnsel kunnen gaan bestuderen om de zones te voorspellen waar een bepaalde grondsoort is afgezet.

Zolang de ringdijk rond de bres (zie verder) niet aangelegd was, liep de inbraakgeul telkens tot op laagwaterpeil af met het gevolg dat het polderwater zich onder de vorm van watervallen met soms meer dan 2 m valhoogte in de geul stortte, zodat deze langzaam vormveranderingen onderging. Rond de afgezette turfblokken vormden zich ondiepe spoelkommen.

Het zoutgehalte in de overstroomde zone bereikte 7g/l bij vloed en 3g/l bij eb. De invloed van het verzilten van de grond op de plantengroei was karakteristiek: terwijl begin mei alle bomen in de bladeren (de ooftbomen in bloei) stonden, werd vanaf einde mei de eerste zout- of verstikkingschade waargenomen. Naarmate de lente en de zomer vorderden, bleken meer en meer boomsoorten dood te staan. Natuurlijk was de ramp voor de vegetatie groter in de polder van Zandvliet-Berendrecht dan in de andere polders, waar de zoutconcentratie nooit het peil bereikt heeft van beide voornoemde polders.

§ 6.- De definitieve herstellingswerken.

De kleine beschadigingen aan de Schelddedijken werden op het grondgebied van Antwerpen hersteld door de stadsdiensten met grond uit de schorre en graszoden uit de aanpalende weiden.

De grotere bressen te Antwerpen werden door de stadsdiensten en het leger gedicht met dammen uit zakjes zand. De herstelling van de bres nabij Fort St. Filip en van de overige bressen werden door private firma's verricht.

Dit alles betrof het grondgebied van de stad Antwerpen. De werken in de polders ten N. van 's Hertogendijk hadden tot doel:

- 1) het beperken van de verdere afbrokkeling der uiteinden van de dijkbreuk aan Fort Frederik door storting van zware breuksteen en het leggen van geballaste zinkstukken.
- 2) het bouwen van een binnendijkse ringdijk aldaar om de beide uiteinden der dijkbreuk te verbinden. 26000 m² zinkstukken werden gekonstrueerd om als zate voor de ringdijk dienst te doen. De ringdijk bevindt zich op ongeveer 115 m achter de bres. Hij werd opgetrokken uit breuksteen en loodslakken met een totaal gewicht van 40.000 ton. De ontwikkelde lengte van de dijk bedraagt ongeveer 400 m. Daar er aanvankelijk nog water over de kruin stroomde bij hoog tij (toen de kruin ervan nog maar tot het peil (+ 4,50) reikte) diende men een stortebel aan te leggen, bestaande uit "schanskorven". De korven bestaan uit parallellepipedische kooien uit metaalgaas, gevuld met stenen en loodslakken. Half mei had de kruin van de ringdijk het peil (5,75) bereikt, met daarboven een zandzakkenkroon tot het peil (+ 6,50). De invloed van de doorlatende ringdijk op het getijde in de polder is voorgesteld op de figuren 46 en 47.
- 3) het dichten van deze ringdijk, die oorspronkelijk waterdoorlatend was om het waterdrukkenverschil te verminderen. Deze dichting gebeurde door het storten van grint en het aanspuiten van zand en slib. Deze aanspuiting had beurtelings voor en achter de dijk plaats, respektievelijk bij vloed en eb, met de bedoeling dat de specie door de stroming doorheen de dijk zou worden meegevoerd en zich in de holten ervan zou afzetten. De ringdijk was waterdicht op 3 juni. Van dan af was het regime der polderwaterlopen tot het normale teruggebracht en konden de noodbemalingsinrichtingen uit de overstromingszone wor-

den weggenomen, alsook de voorlopige dichtingen van de doorbraken in de slaperdijken.

- 4) het wederopbouwen van de oorspronkelijke Schelddedijk, tussen Fort Frederik en het Stoofgat; deze rekonstruktie gebeurde echter volgens een verzwaard profiel (fig. 48). Ook dienden de schorrerand en het buitenbeloop beschermd te worden tegen afslag met een loodslakkenstapeling.

De uitwoelingsschade aan de grote bressen ten noorden van de doorbraak werd hersteld door aanspuiting van zand achter de dijk (door middel van een binnendijkse perskade, waarvan de kruin (+ 6,50) bereikte). Voorlopig is men er echter niet toe overgegaan het kruinpeil van de dijk te verhogen; wel besloot men het profiel te verzwaren, daarbij bedenkend dat het overlopen van water over een verzwaarde dijk minder risico's inhoudt dan bij een lichte dijk.

Een der besluiten die men uit de ramp van 1953 kan trekken, is dat dijken met bre de binnenbermen goed stand houden, ook als heeft er een zekere uitwoeling plaats gehad. De dijk van de Hagemanspolder was hersteld begin augustus, terwijl de grote doorbraak van Fort Frederik en de zwaar gehavende dijk tussen deze plaats en het Stoofgat einde september klaar kwamen, dus nog juist op tijd voor de herfststormen.

- 5) het herstel van het landschap. Vermelden we onder meer:

- ontslijken van geheel- of gedeeltelijk dichtgevloeide watergangen, greppels en grachten.
- dempen van uitschuurgeulen.
- verwijderen van zandige afzetlagen (slib daarentegen was eerder gunstig !).
- herstellen van duikers, bruggen, vloedmuren...
- opruimen der turfblokken, die niet door bloemtelers of andere personen (voor brandstof) waren weggehaald.

- vrijmaken en herstellen van wegen.

- 6) het reinigen, herstellen en ontsmetten van de ondergelopen gebouwen.
- 7) het bewerken en bezaaien van het land. De weinig getroffen polders konden nog in 1953 worden uitgebaat dank zij het toedienen van gips en stikstofmeststoffen. De oogst in deze gebieden was bovendien bevredigend. In de polder van Zandvliet kon einde juni begonnen worden met het breken van de 20 cm dikke sliblaag en het vermengen van deze laag met de bestaande polderklei.
- 8) er werd tevens besloten de binnendijken opnieuw weerstandbiedend te maken door ze een versterkt profiel te geven.

Merken we nog op dat het transport van materialen, alsook het uitpeilen van de diepten in de bres van Fort Frederik in het begin aanzienlijk gehinderd werden door de aanwezigheid van een breed slik vóór de dijk.

Aanvankelijk moest alle transport bovendien te water geschieden via twee haventjes. Achteraf kon ook gebruik gemaakt worden van de inmiddels herstelde landverbindingen.

De ringdijk had tot gevolg dat de watersnelheid eromheen sterk afgeremd werd zodat sterke sedimentatie optrad. Waar men in de geul aanvankelijk nog (- 17,00) peilde, was deze cota einde april reeds teruggebracht tot (- 14,00), op 18 mei tot (- 9,00) en op 11 juni tot (- 4,00)

§ 7. De vastgestelde schade in de polders van Zandvliet en Berendrecht na hun drooglegging.

Deze schade kan als volgt worden samengevat :

- a) honderde turfblokken van alle grootte en vorm waren over het grootste deel van de polder verspreid.
- b) een gelaagde afzetting van zand, zandige klei, en slib. De grofste materialen werden nabij de geul

aangetroffen, terwijl de fijnste in het oosten en noorden van het overstromingsgebied terecht gekomen waren. Deze verdeling is gemakkelijk te verklaren door het verloop van de watersnelheden in de polder. Ook waren er in de polder enkele zandtongen zichtbaar.

Een ver van de inbraakgeul genomen slibmonster vertoonde een volumevermindering van 45% na volledig luchtdroog te zijn gemaakt. Bij warm en droog weer vertoonde de verharde sliblaag de typische door barsten gevormde veelhoekige dambordstructuur.

Proeven met het toestel van Attenberg gaven volgende resultaten :

- specie genomen op 2650 m van het stroomgat: zandfractie ($\phi > 20 \mu$): 35%
- specie genomen op 960 m van het stroomgat: zandfractie ($\phi > 20 \mu$): 62%
- specie genomen op 300 m van het stroomgat: zandfractie ($\phi > 20 \mu$): 94,5%

hetgeen een voorgaande opmerking bevestigt.

Zoals reeds hoger werd aangestipt, was de aanspoeling van slib veelal in het geheel niet nadelig: er werd namelijk slib met aanzienlijk Ca-gehalte vastgesteld. De met zand bedekte gronden verloren echter een aanzienlijk deel van hun waarde, zolang de zandlaag niet was verwijderd.

- c) de na de bouw van de ringdijk steeds maar opvullende erosiegeul. Vóór de bouw van de ringdijk bleek deze geul te streven naar een evenwichtstoestand; ze nam geleidelijk de configuratie aan van een getijderekreek zoals in de schorregronden.

§ 8.- Slotbeschouwing.

In voorgaande paragraaf werd reeds gewezen op de onenigheid die er tussen de verantwoordelijken bestond aangaande het al dan niet ophogen van de te herstellen dijken. Een faktor, die spreekt in het voordeel van een dergelijke ophoging, is het reeds lang aan de gang zijnde proces van de relatieve daling van het vasteland ten opzichte van de zeespiegel: bij het inzien van de tabellen der waterpeilen uit de vorige decennia, valt het op dat de top der stormvloedkromme geleidelijk hoger reikt : 1825 (+ 6,42), 1906 (+ 7,40), 1953 (+ 8,00). De wakerdijken moesten in het verleden herhaaldelijk opgehoogd worden: vele der oude verwaarloosde slaperdijken zijn nu zelfs niet meer in staat een normaal springtij te keren.

Deze vloedpeilrijzing verloopt echter niet kontinu en lineair: in grafiek voorgesteld, vertoont ze horizontale dremfels en zelfs hier en daar licht dalende perioden om dan weer plots een steile onverwachte sprong in de hoogte te maken.

Alhoewel de periode, waarin men over gegevens beschikt, eerder beperkt is, toch is het (relatief) rijzingsproces van het zeewater een algemeen aanvaard verschijnsel: de beschikbare gegevens zijn zonder meer sprekend.

Over vroegere tijden kan men nochtans een en ander te weten komen door onderzoek van het veen in onze polders. Een dergelijk onderzoek in de omgeving van de huidige Kruisschanssluis wijst erop dat een aanvankelijk moerasstadium werd gevolgd door een stilstand van de waterspiegelrijzing, waardoor een bosvegetatie in droger milieu kon ontstaan, waarna opnieuw door een plotse waterverhoging dit bos werd weggeveegd en weer door een moeras- en waterflora vervangen.

Ook de voortdurende verzilting van de gronden in het Nederlandse Grote Rivierengebied wijst in deze richting.

De relatieve rijzing van het zeewaterpeil t.o.v. het vasteland wordt op 20 tot 25 cm per eeuw geschat.

Het gaat dus om een verschijnsel, dat niet geleidelijk verloopt, maar met "schokken". De evolutie van de veenvorming heeft dan ook een verloop dat nagenoeg dezelfde gedaante vertoont als deze der peilschaalwaarnemingen (niet lineair, doch onregelmatig toenemend).

We zien dus dat de zee af en toe door de mens veroverd gebied tracht terug te nemen. Over de oorzaak van waterspiegelrijzing bestaan slechts hypothesen. Volgens sommigen houdt deze rijzing verband met de vermindering van de bergingscapaciteit der zeeën en oceanen door de enorme massa's materiaal, die door de grote rivieren naar de lage landen worden afgevoerd. Een andere oorzaak zou de ontbossing van hele gebieden zijn : de transgressiesprong, die duurt van de 10e tot de 14e eeuw, viel samen met de grootscheepse woudverwoesting in het bovengebied der grote rivieren ten gevolge van de bevolkingsaanwas. Het is ook in deze periode dat op grote schaal met dijkenbouw moest begonnen worden. Dit erosieverschijnsel duurt nog steeds voort en houdt grote gevaren in voor de wereldhuishouding.

Ook inpoldering van schorren betekent vermindering van de noodzakelijke bergingskommen. Nederland stond aldus voor de keuze : ofwel 1000 km dijken met 1 m ophogen, ofwel het Deltaplan ten uitvoer brengen, dus de zeegaten afsluiten. Om verschillende redenen, waarop we hier niet verder zullen ingaan, werd voor de tweede oplossing geopteerd.

Een andere mogelijke verklaring voor de relatieve zeespiegelrijzing is de smelting van het poolijs, waardoor meer en meer ijsvlakten de plaats moeten ruimen voor watervlakten, waarop de wind dan zijn opstuwende werking kan gaan uitoefenen. Anderzijds wordt door de regressie van het poolijs de temperatuurgradiënt kleiner, zodat de kans op zware stormen eerder vermindert; als staving van deze bewering wordt aangehaald dat er in de ijstijden heviger en veelvuldiger stormen voorkwamen.

Een laatste opvatting is de volgende : het is een bekend feit dat de opwaaiing het sterkst is in ondiep water, doordat er dan geen voldoende ruimte is voor het terugvloeien langs onder van het opgestuwde water. De redenering door-

trekkend, komt men dan tot het besluit dat een breed voorland vóór de dijken, veroorzaakt door een eeuwenlange afzetting van door de rivier meegesleurde materialen, eerder nadelig dan gunstig is. Een voorbeeld hiervan zou de dijk van de Hagemanspolder zijn; alhoewel hij ver van de Schelde verwijderd ligt en door de potpolder van Zandvliet wordt beschermd, liep hij zeer zware schade op. Wellicht hebben we hier met zulk verschijnsel te doen.

Uit de gebeurtenissen rond de bres van Fort Frederik kunnen tot slot volgende besluiten getrokken worden :

- 1) vergelijking van de morfologische kenmerken van de inbraakgeul van Fort Frederik en het grote weel aan de Wilmarsdonkse Dijk, wijst erop dat dit laatste weel niet kan ontstaan zijn door een gewone dijkbreuk.
- 2) het diep gedeelte van een weel is niet groter dan een goede honderd meter in doorsnede; vanuit deze put vertrekken een of meer ondiepere en trechtervormige uitlopers, die het achterland doorkerven. Deze kenmerken doen zich slechts voor indien de inundatiegebieden voldoende uitgestrekt zijn en de overstroming lang genoeg heeft geduurd.
- 3) de grootste diepte van een weel of inbraakgeul wordt aangetroffen in het vertikaal vlak doorheen de dijkskruin.
- 4) de welen, die bij een overstromingsramp ontstaan, kunnen weer met slib dichtvloeien, indien na de eigenlijke dijkbreuk de polder nog een zekere tijd onder water blijft. Ook in de Antwerpse Noorderpolders kon men waarnemen dat de diepe watergangen na een viertal maanden geheel met slib gevuld waren en nog enkel van de omgeving te onderscheiden waren door een grote inklinking.



Het stroomgat van Wintham
(Foto's Min. Openb. Werken)

HOOFDSTUK IV : HET STROOMGAT VAN WINTHAM (Hingene).

=====

Het stroomgat te Wintham had ongeveer 80 m lengte en 8 m diepte onder het gewoon laagwaterpeil. De oppervlakte van de bestendig onder water komende gronden bedroeg 1200 ha.

Figuur 49 geeft enkele bijzonderheden aangaande de veranderingen van het lengteprofiel van de bres.

Daar het dichten van het gat zelf op bepaalde moeilijkheden stuitte en de verantwoordelijken er niet absoluut zeker van waren met de dichting met caissons bij de eerste proef te slagen, werd een kunstmatige en voorlopige aarden dam in het midden van de overstromingszone opgericht om deze laatste terug te brengen op ongeveer 600 ha.

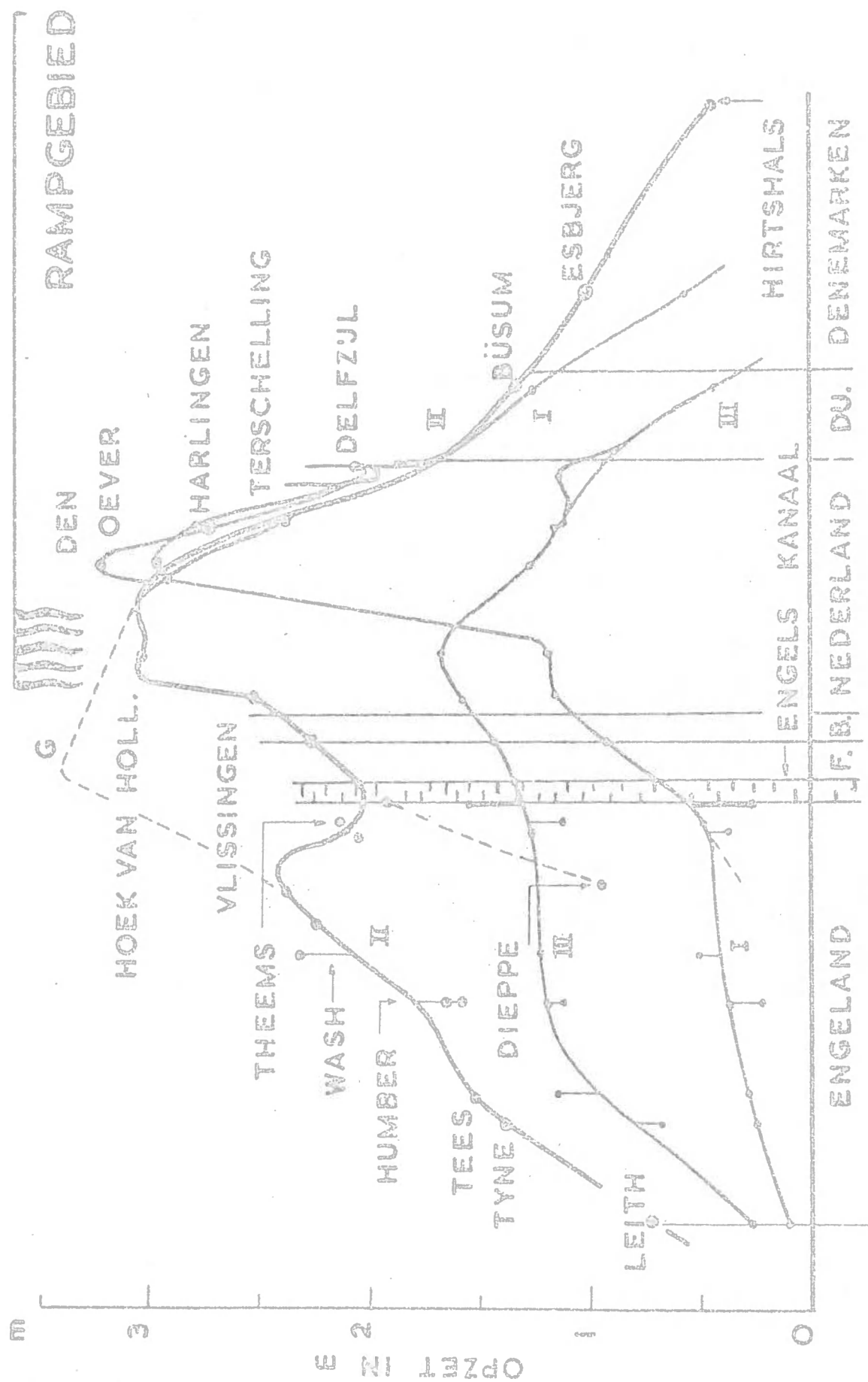
Deze kunstmatige dijk- de Notelaarsdam- vergde het verplaatsen van ongeveer 50.000 m³ grond, welke op ongeveer 9 km afstand moest gehaald worden.

De totale lengte van de Notelaarsdam bedroeg 1300 m.

De sluiting van het stroomgat zelf verliep nochtans normaal en gans in het raam van de opgelegde timing.

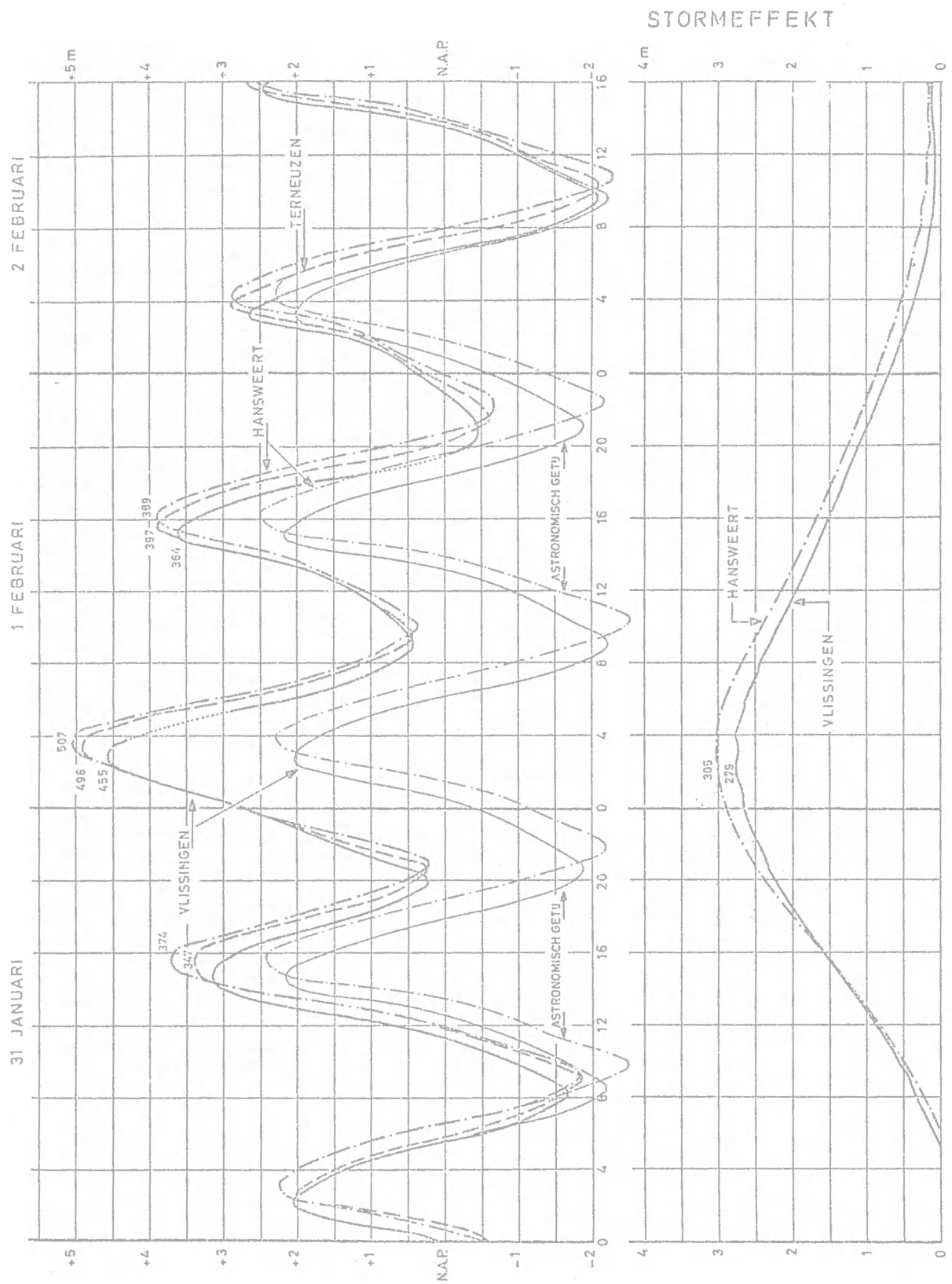
Deze sluiting noodzaakte het gebruik van 250.000 rijsbossen, 40.000 ton breuksteen, 30.000 m² zinkstukken van 90 cm dikte en 200.000 zandzakken.

Fig. 16



Opzetten van hoogwaters I, II en III langs de kusten van de Noordzee.

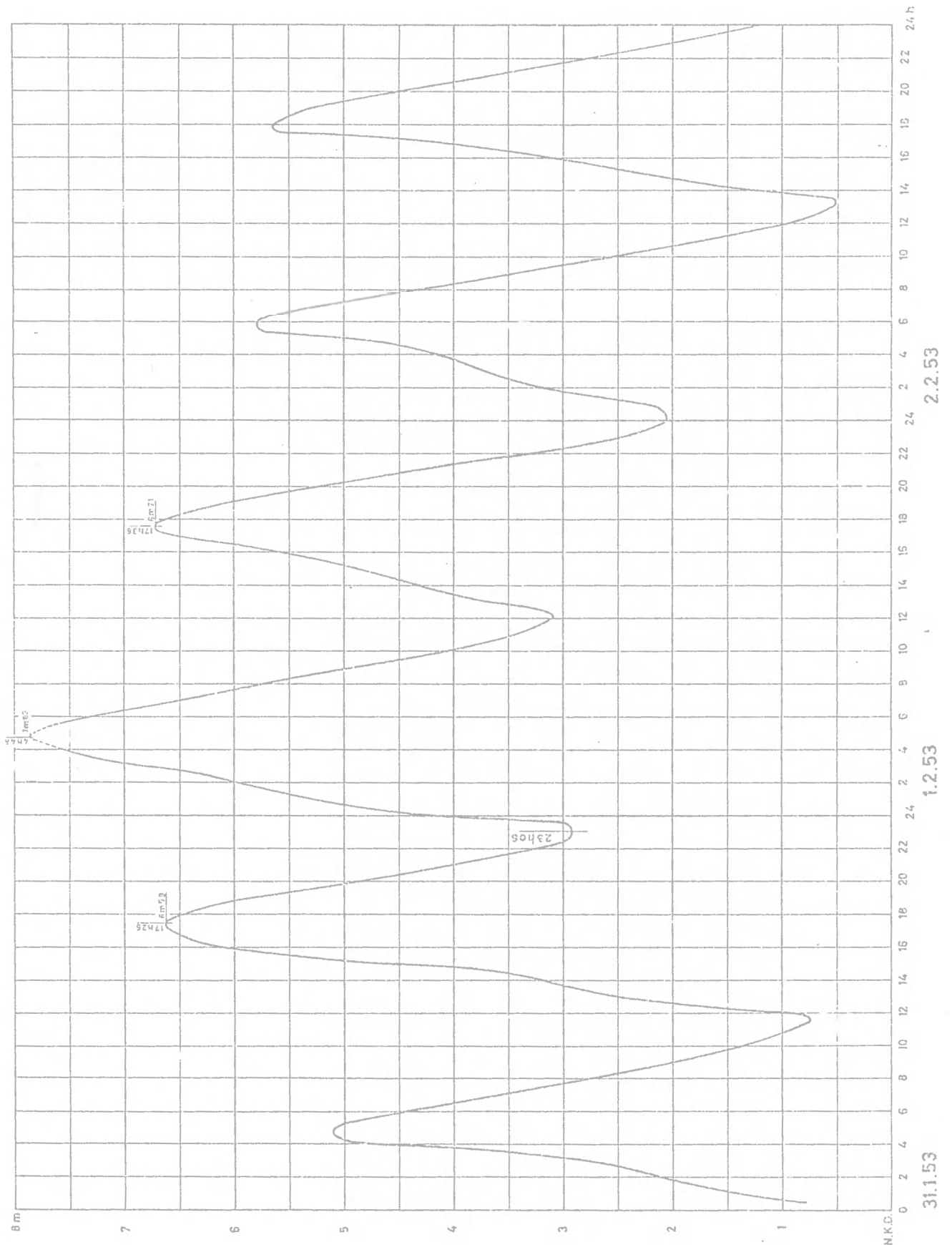
Fig. 17



Getijkrommen afwaarts Antwerpen.

Fig. 18

GETUJKROMME TE ANTWERPEN



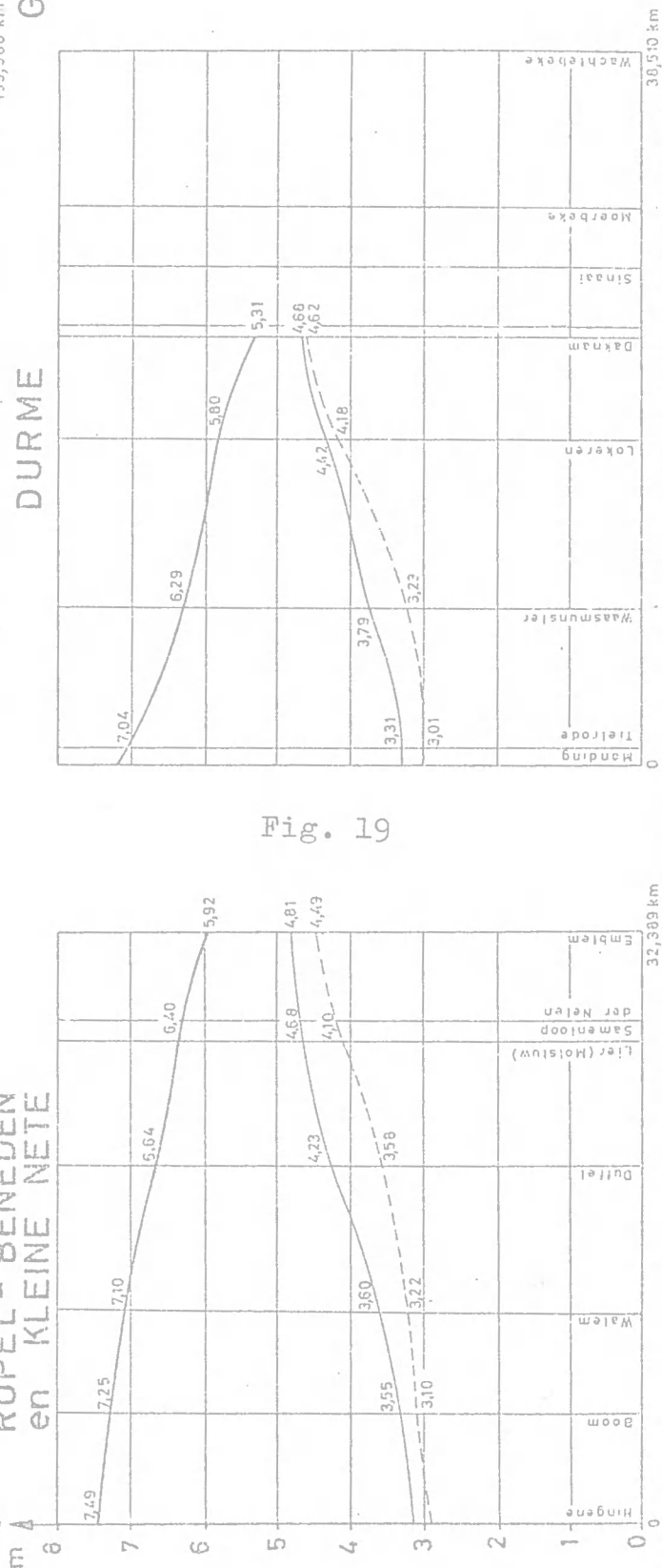
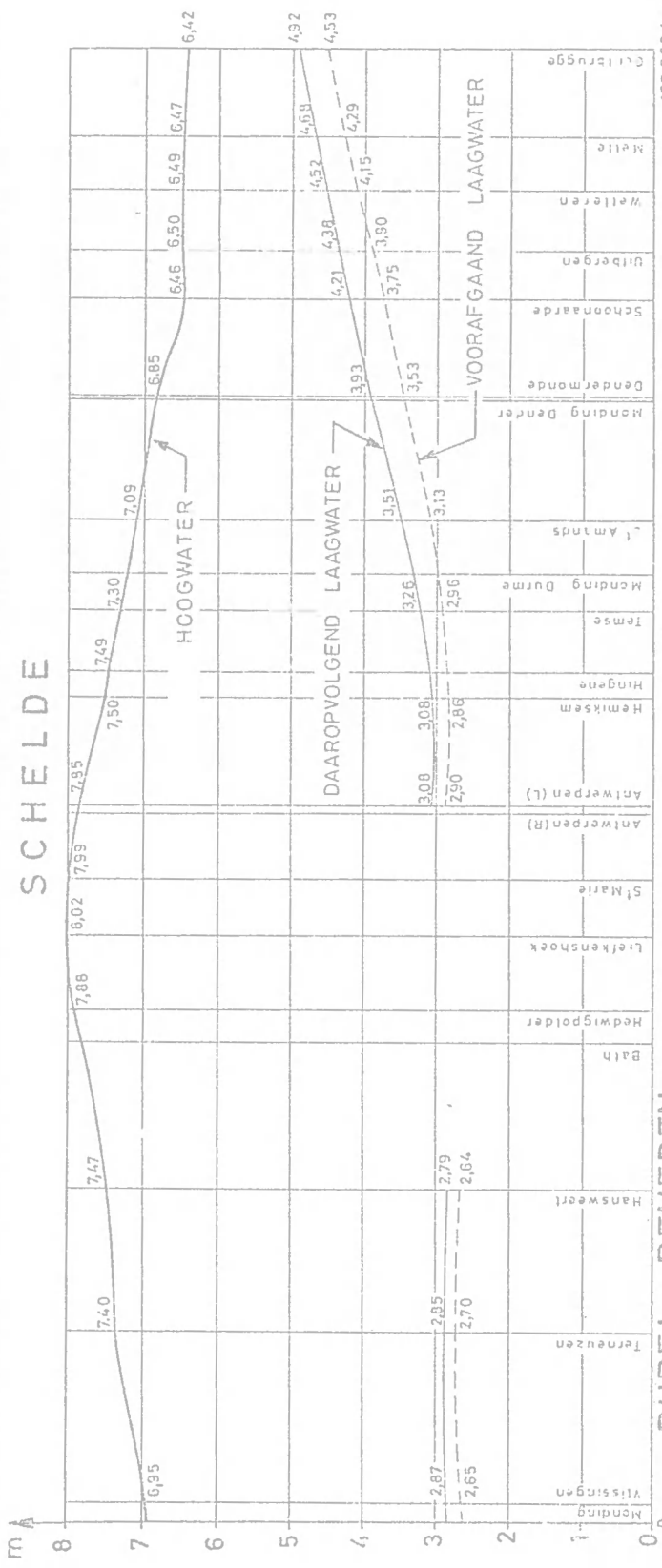
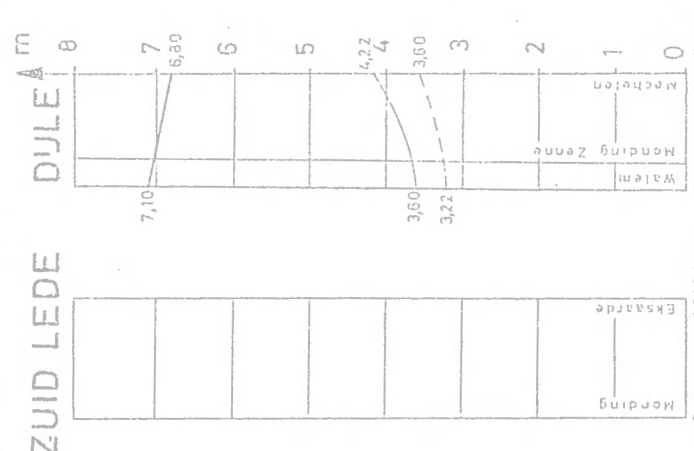


Fig. 19





STORMVLOEDSTANDEN 1/2/53
 Vergeleken met
 HOOGST GEKENDE STANDEN

Fig. 21

m + N.K.D.

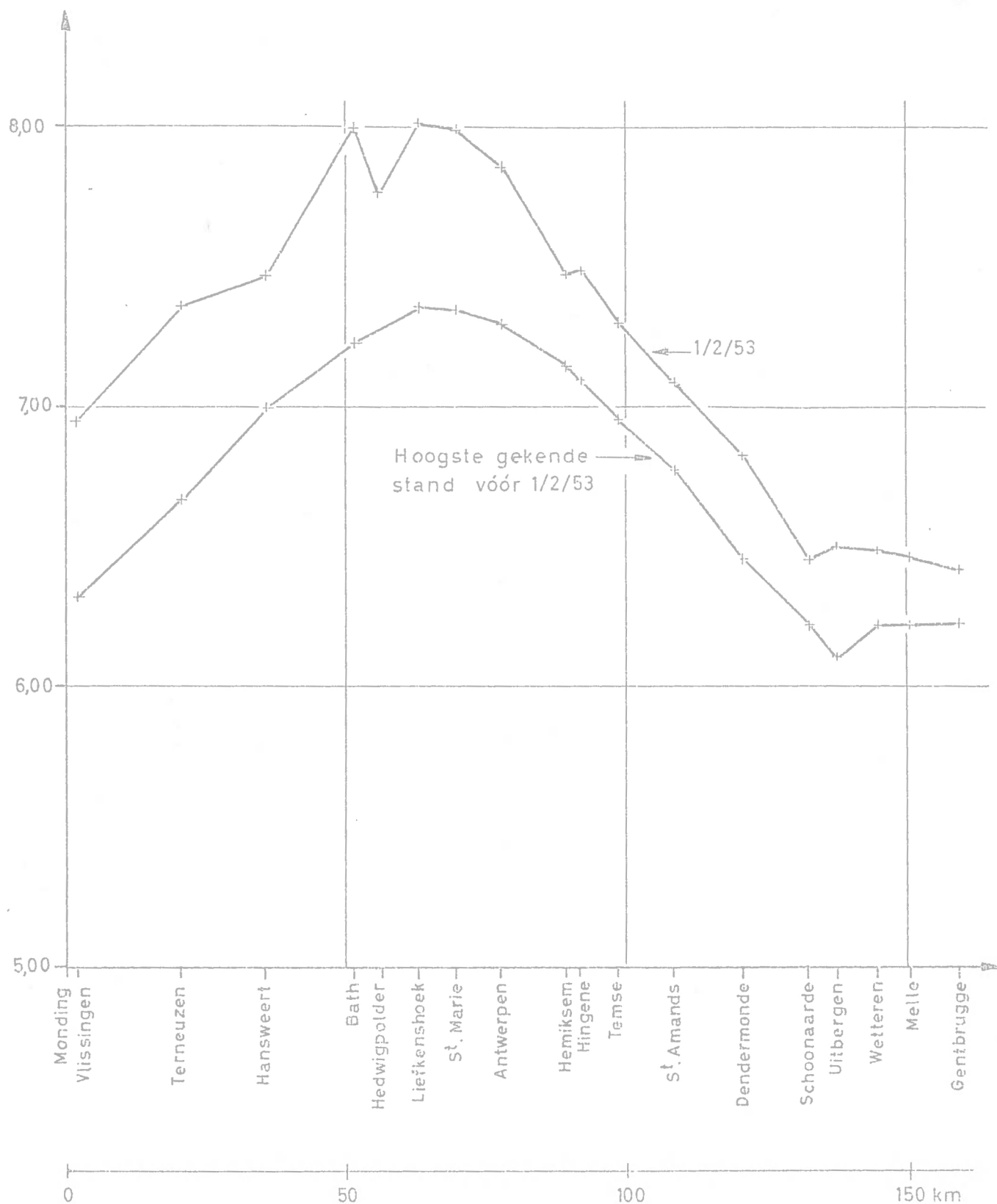
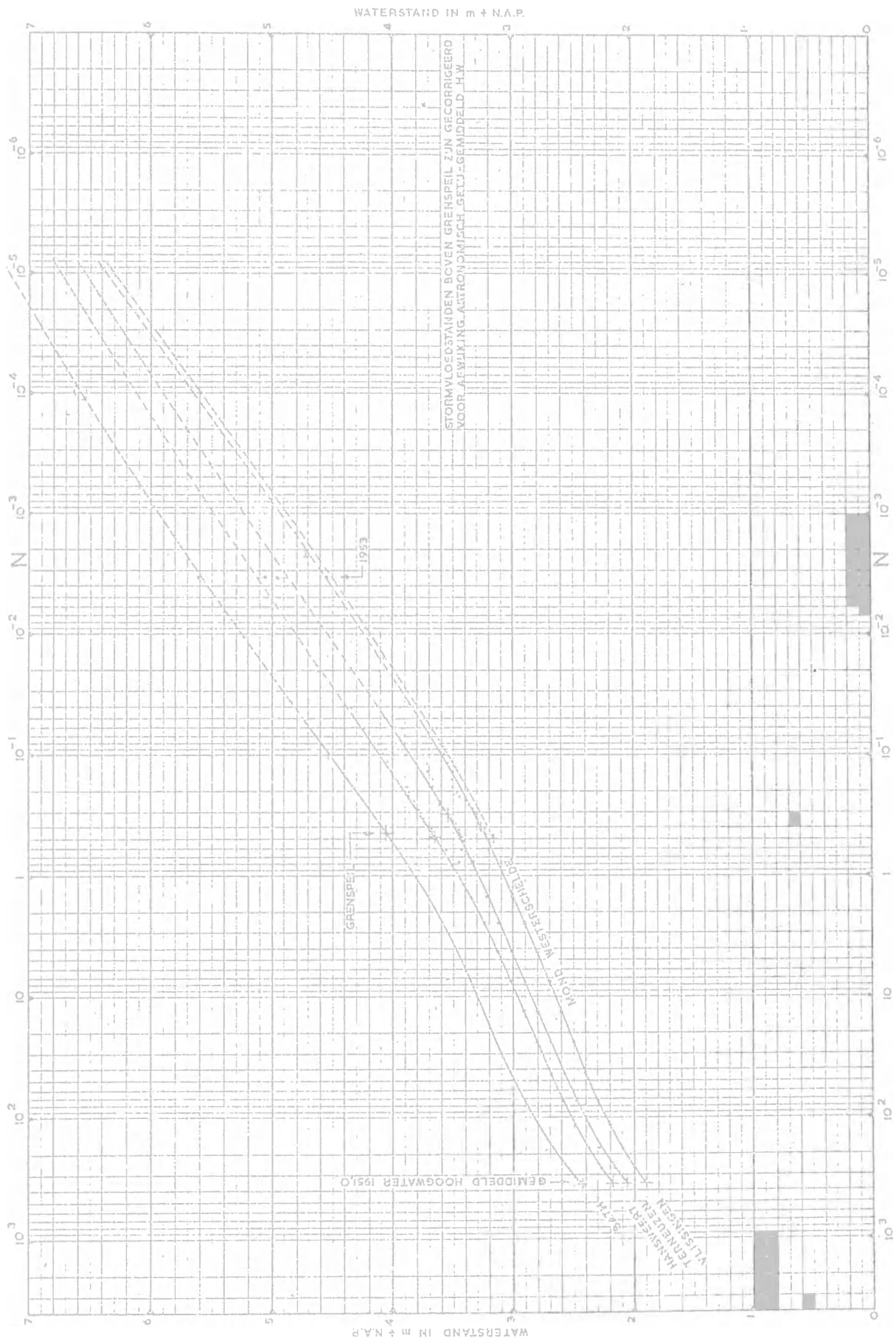


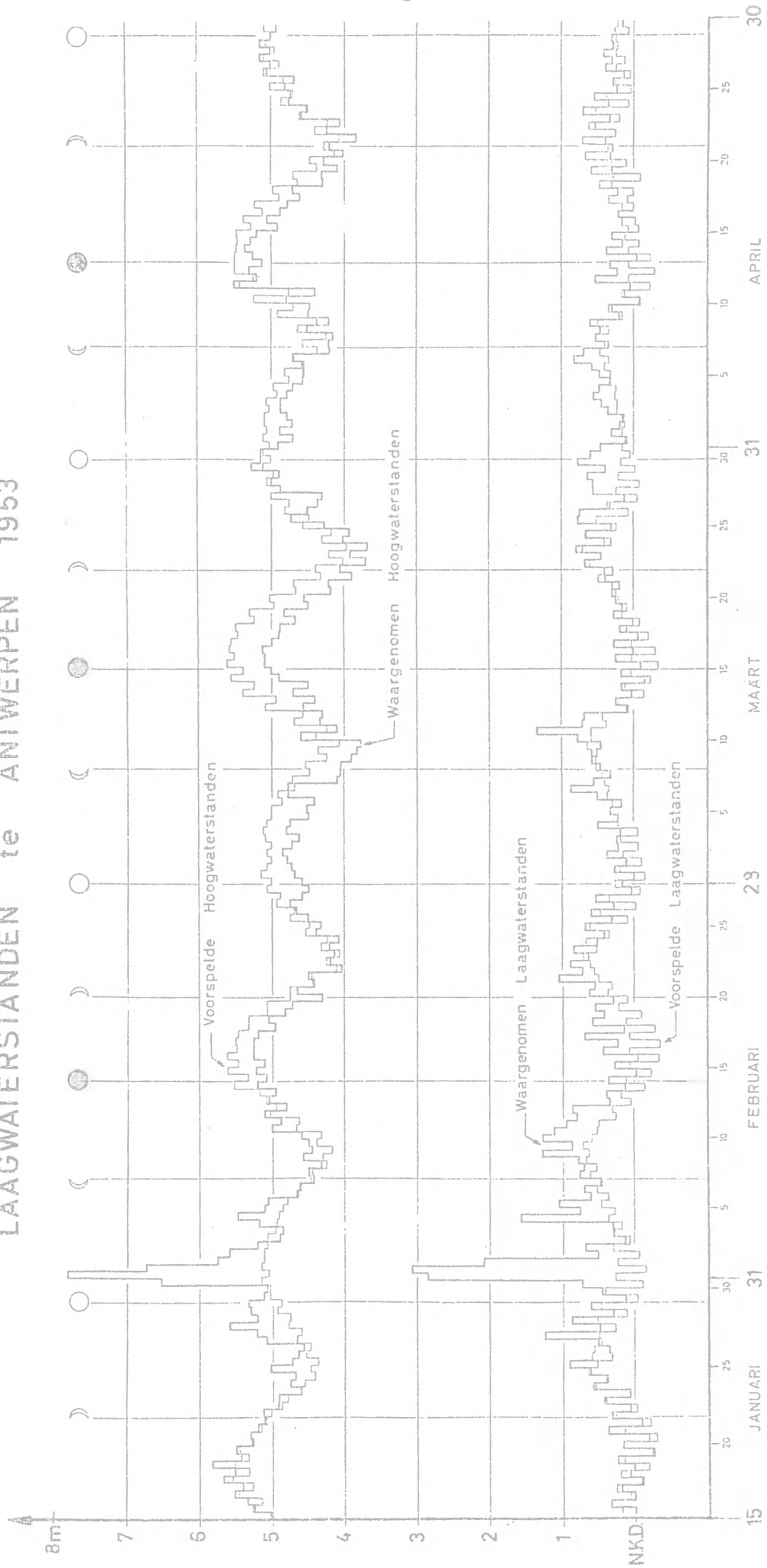
Fig. 22

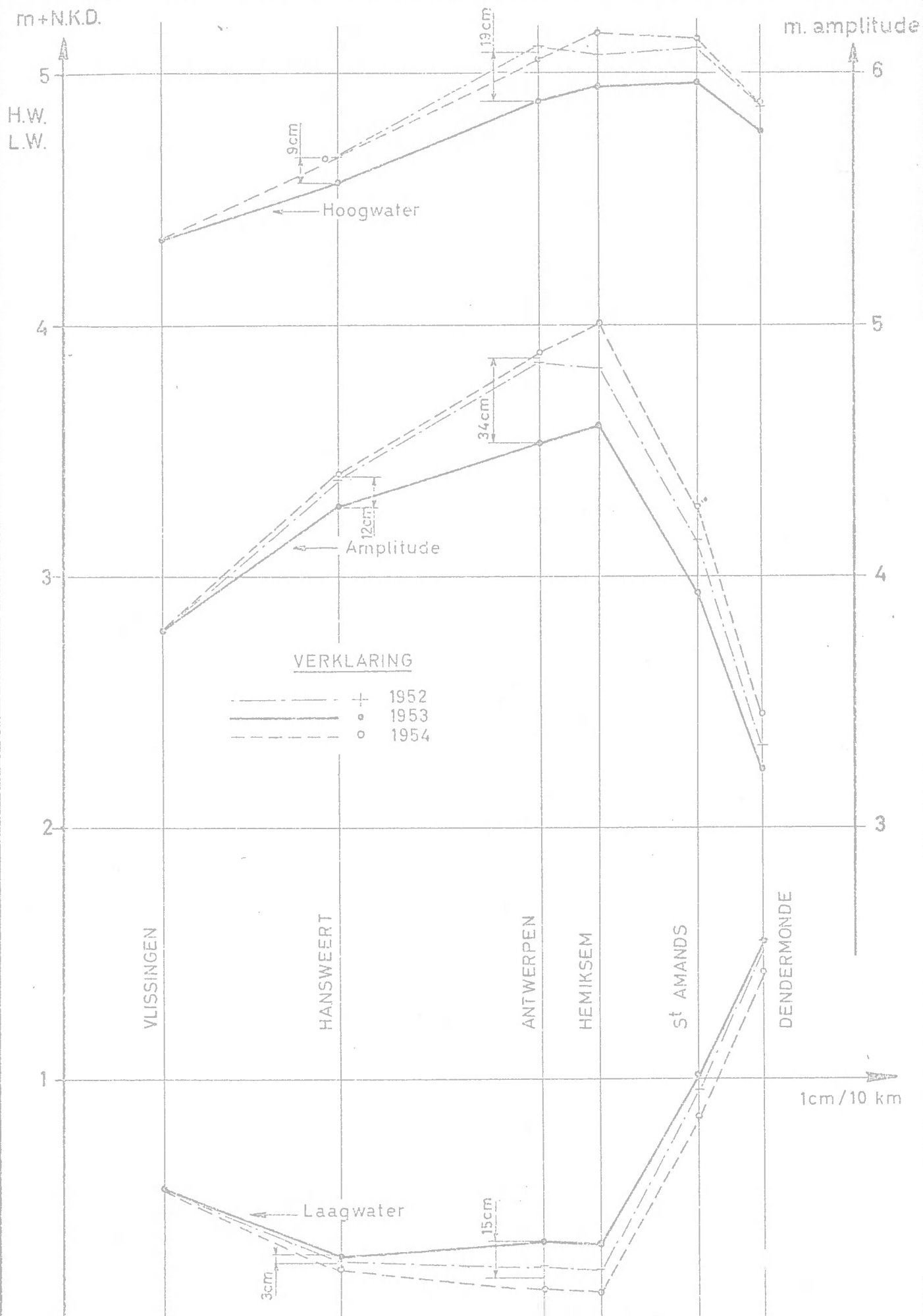


Overschrijdingstlijn langs Westerschelde.

Fig. 23

VOORSPELDE en WAARGENOMEN HOOG- en LAAGWATERSTANDEN te ANTWERPEN 1953







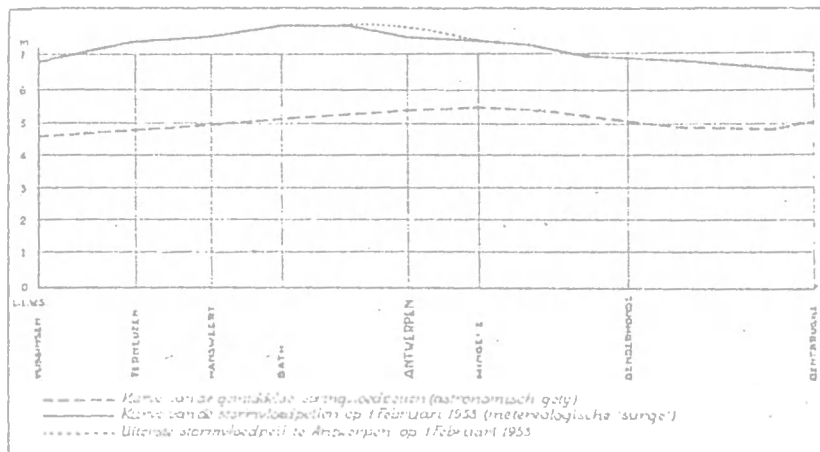
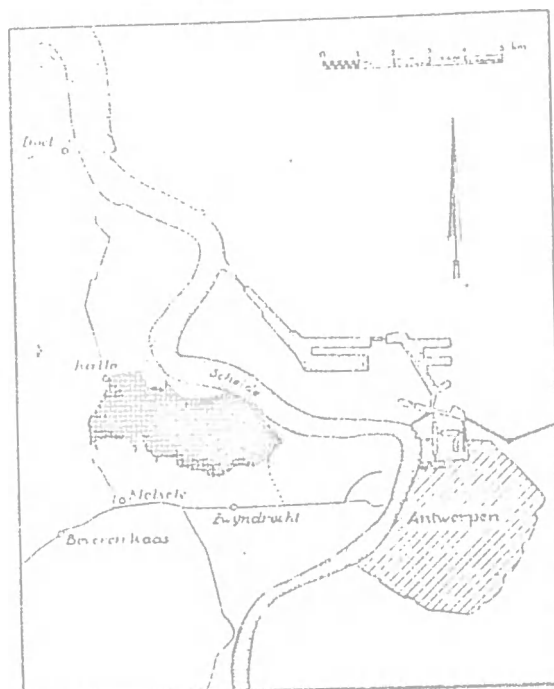


Fig. 26



Ligging van de Melselepolder

Fig. 30

Fig. 27

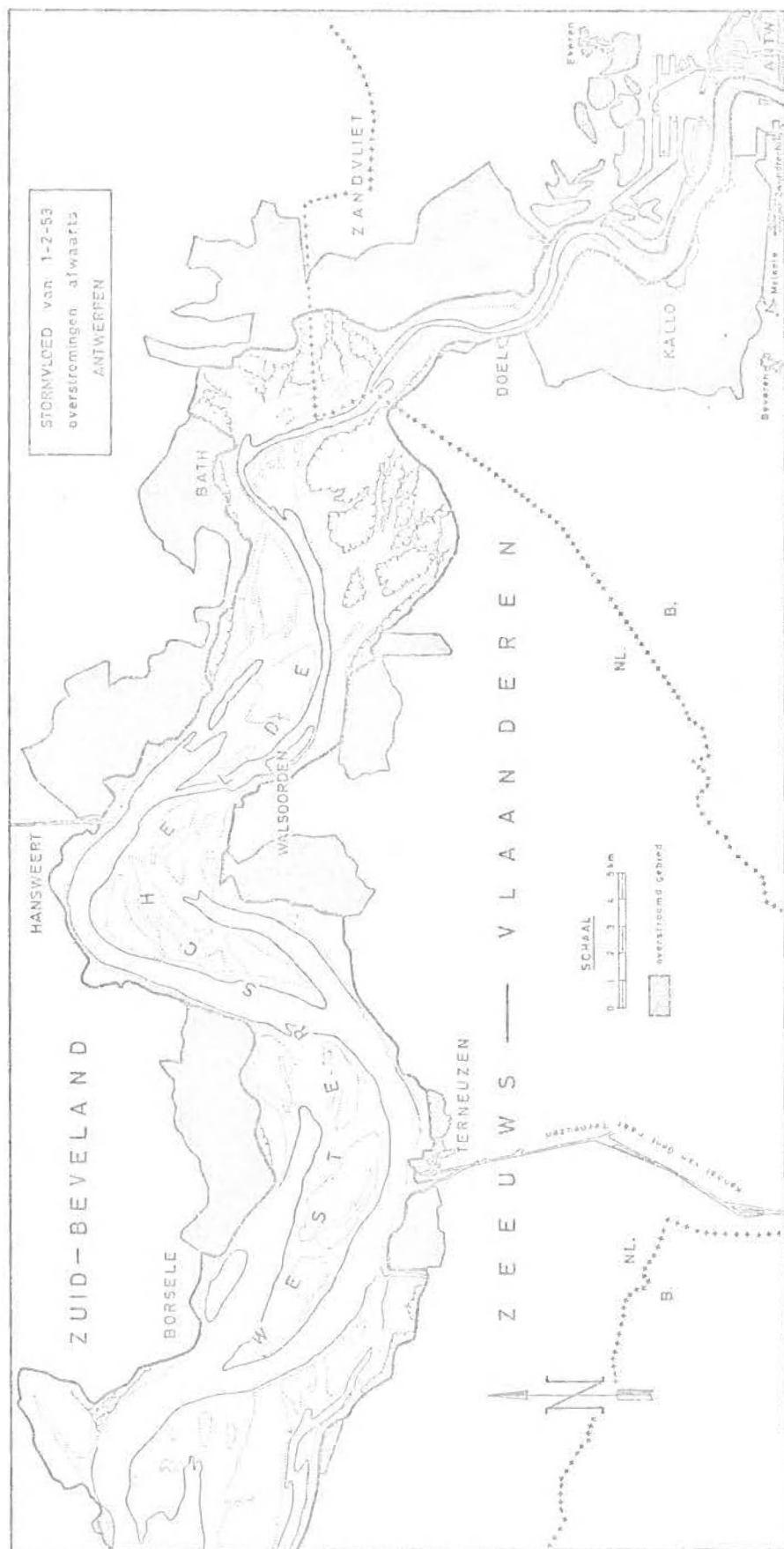


Fig. 28

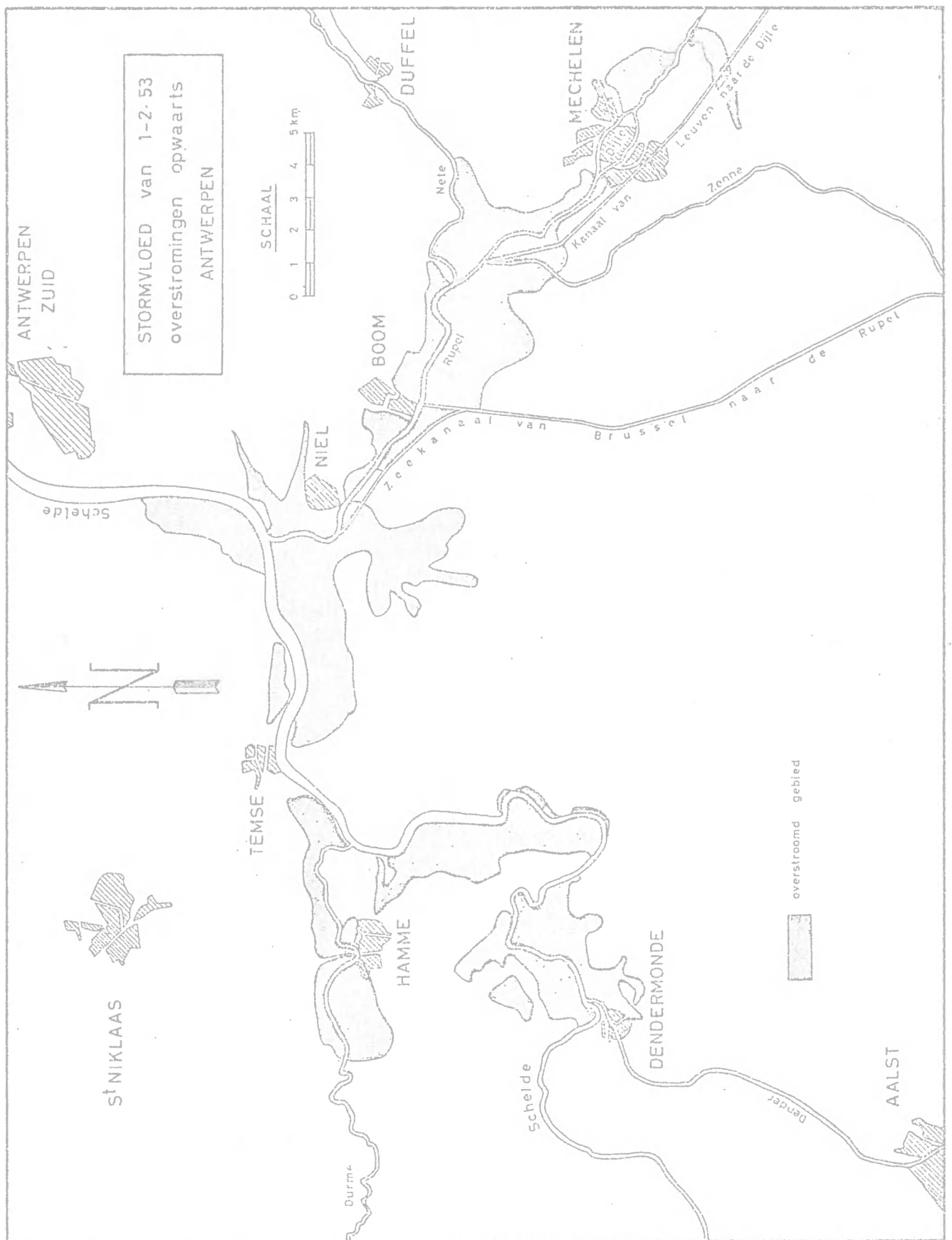
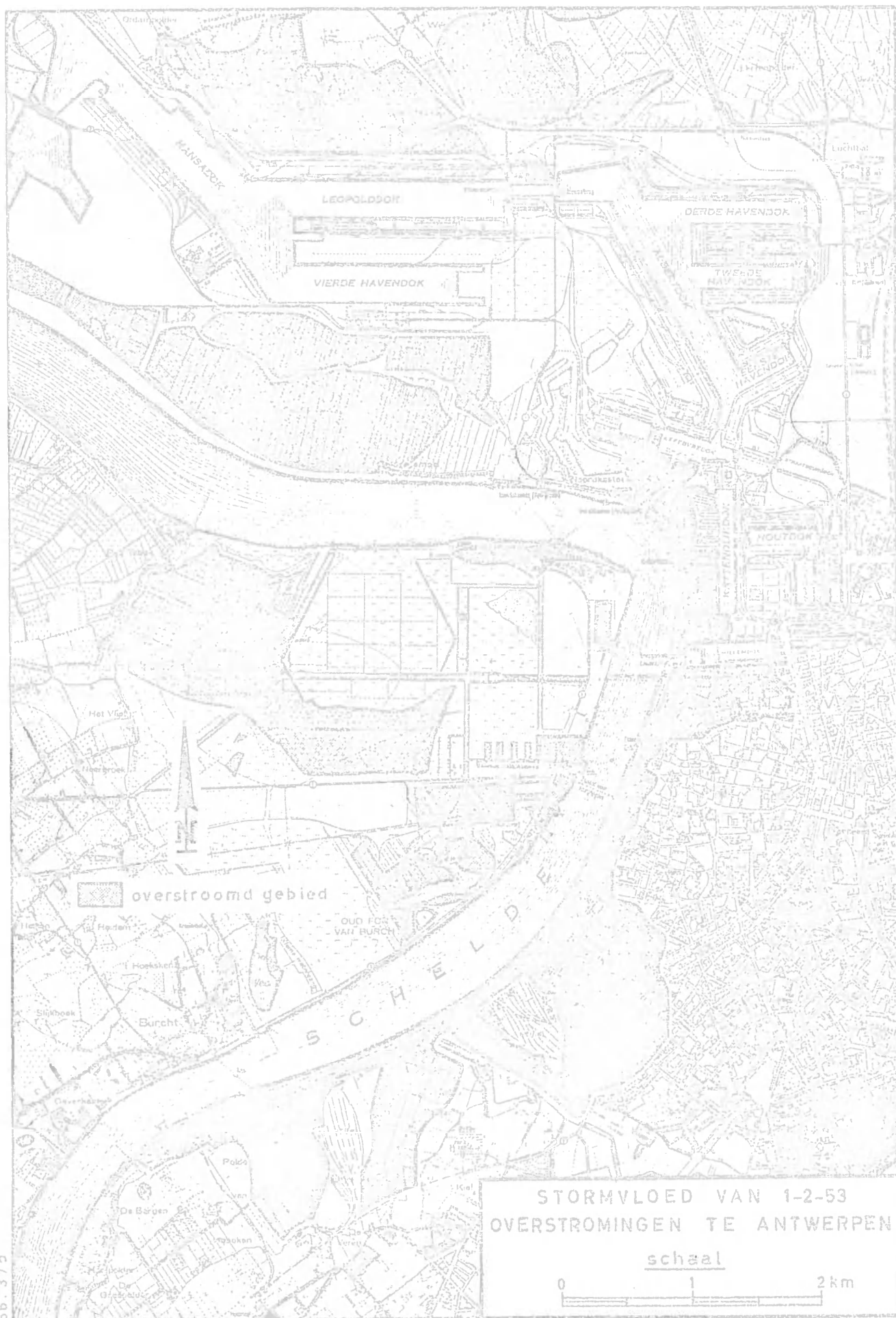
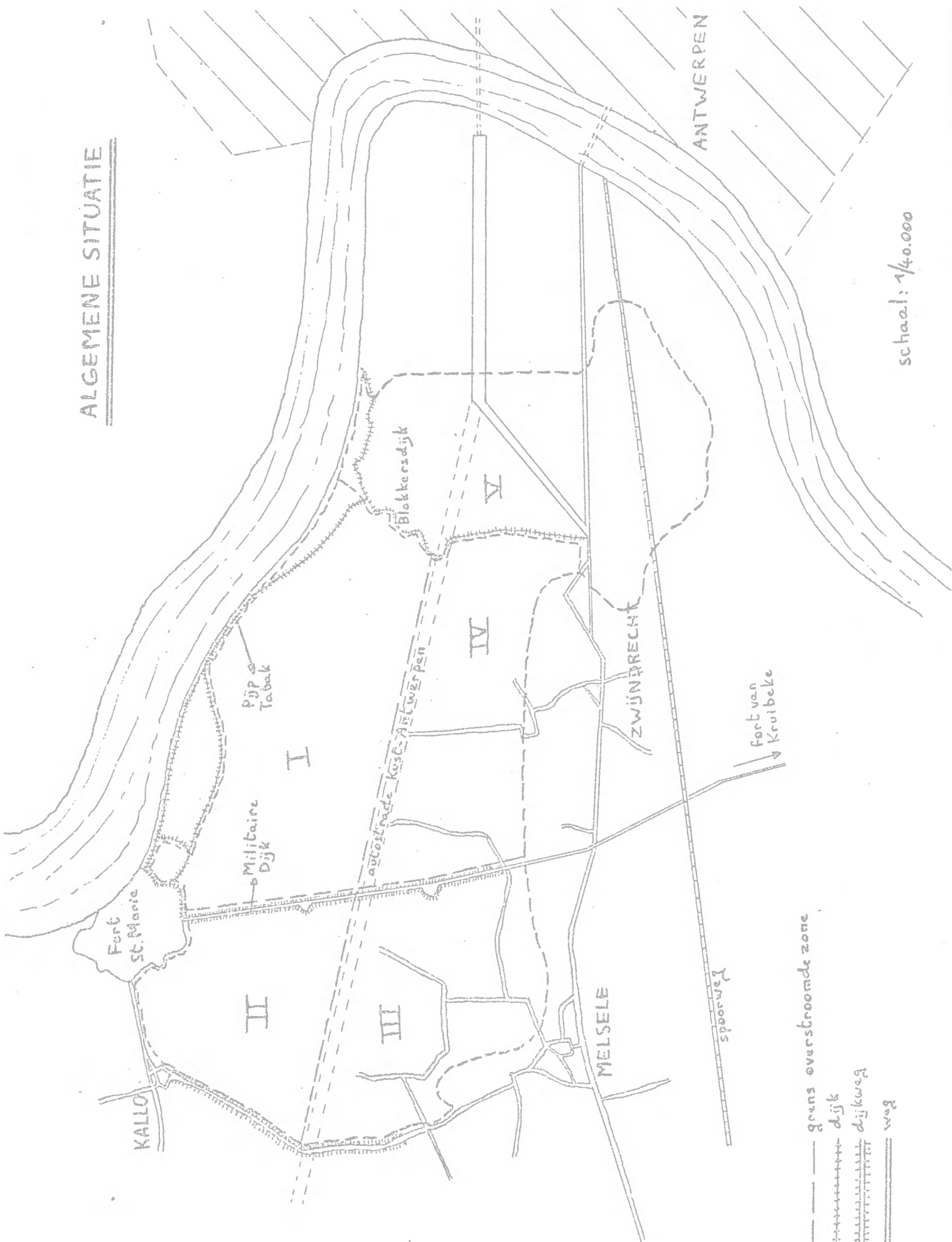


Fig. 29



ALGEMENE SITUATIE



legende: — grens everstroomde zone
 +++++ dijk
 ===== dijkweg
 ===== weg

schaal: 1/40.000

Fig. 31

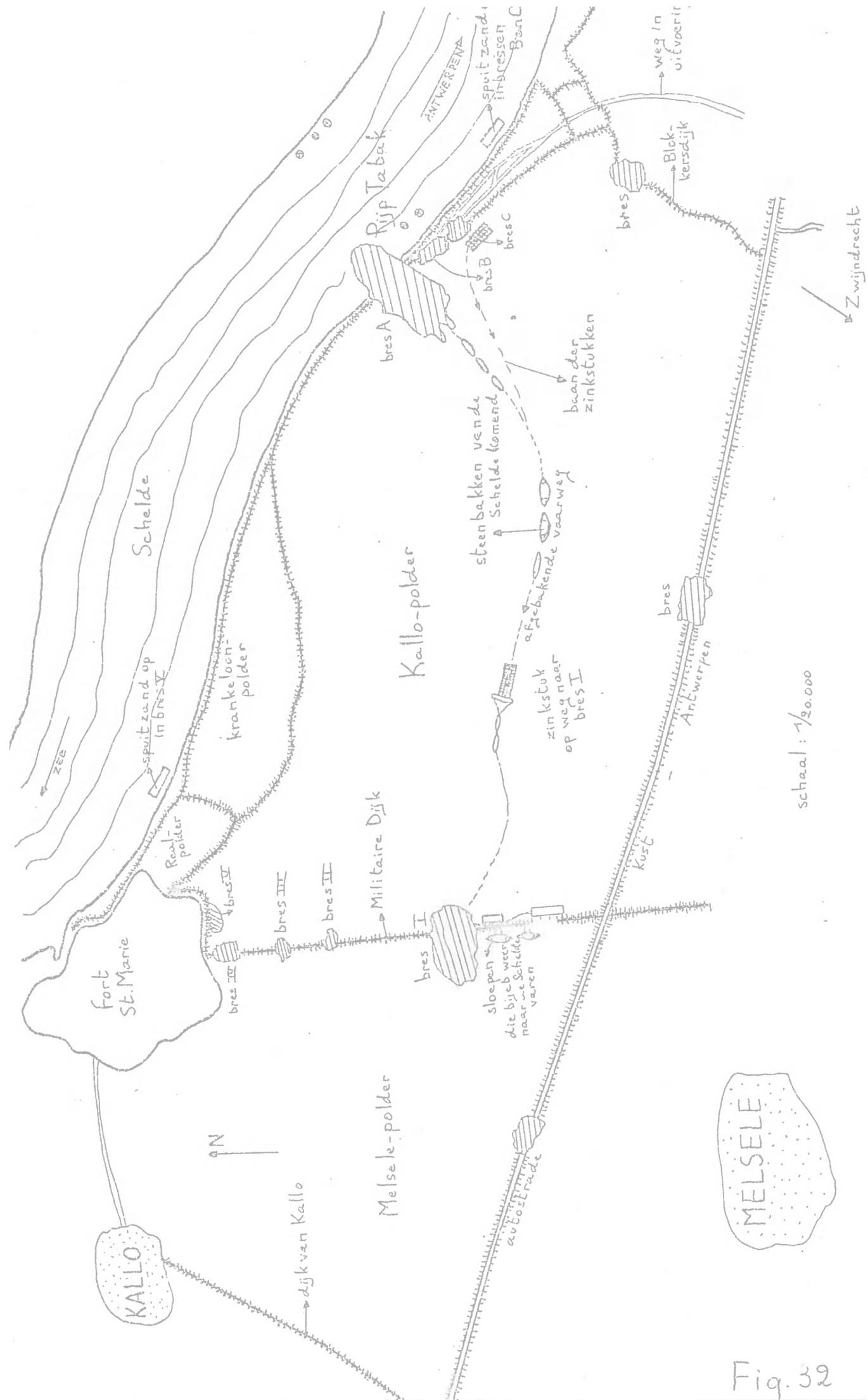


Fig. 32

TOESTAND DER BRESSEN - SCHEMATISCH PLAN DER WERKEN

DE WATERSNELHEDEN BIJ DE SLUITING VAN BRES A

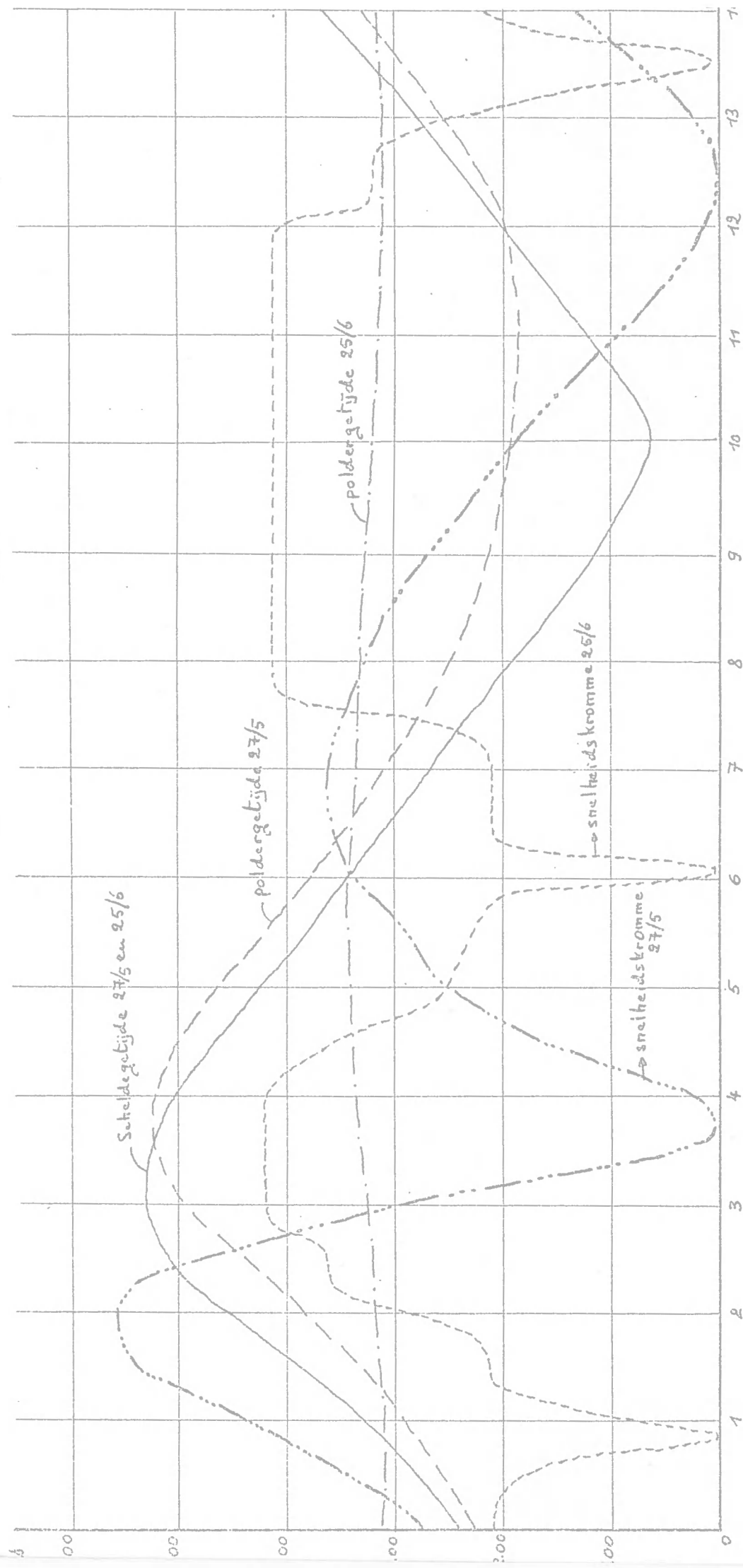


Fig. 33

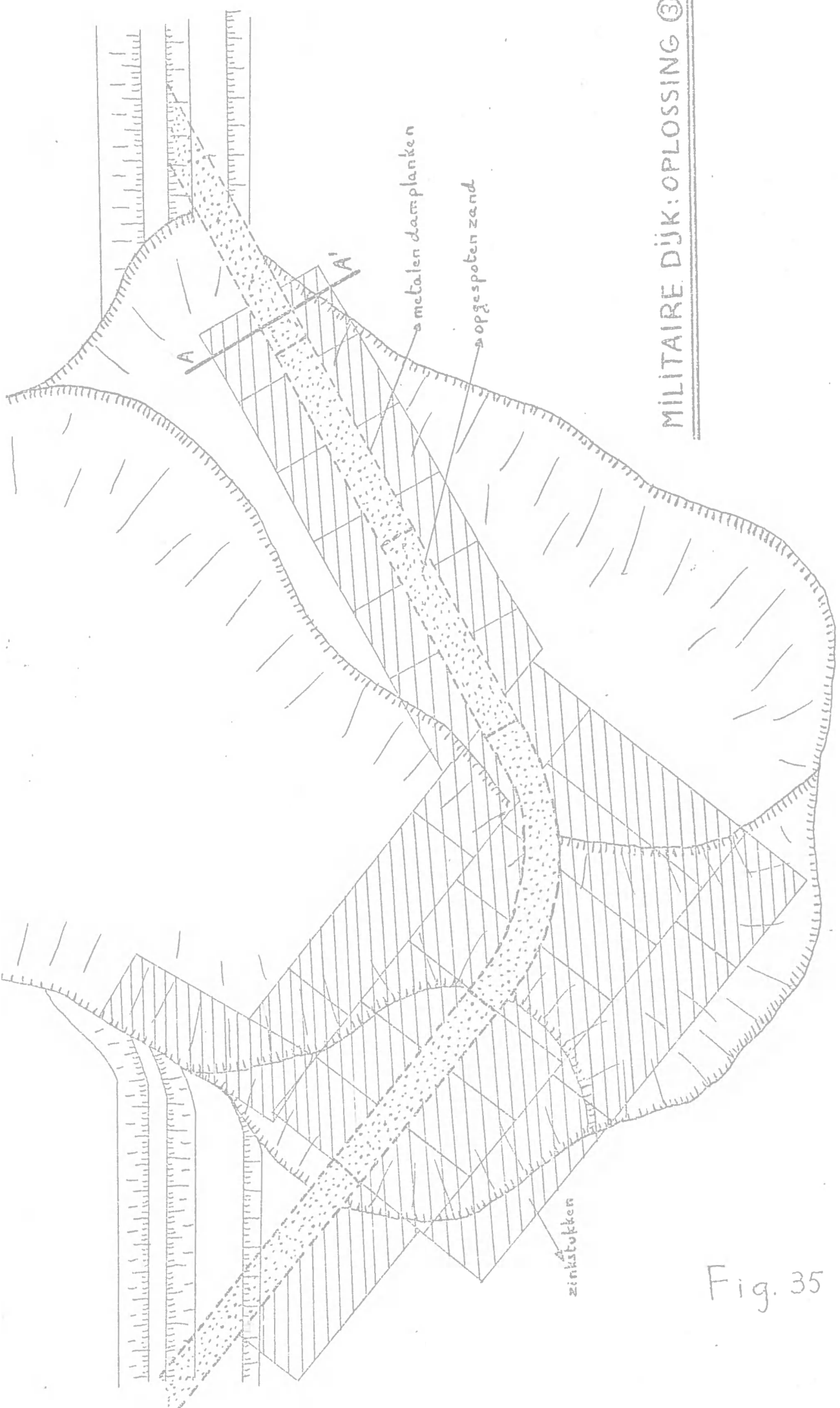
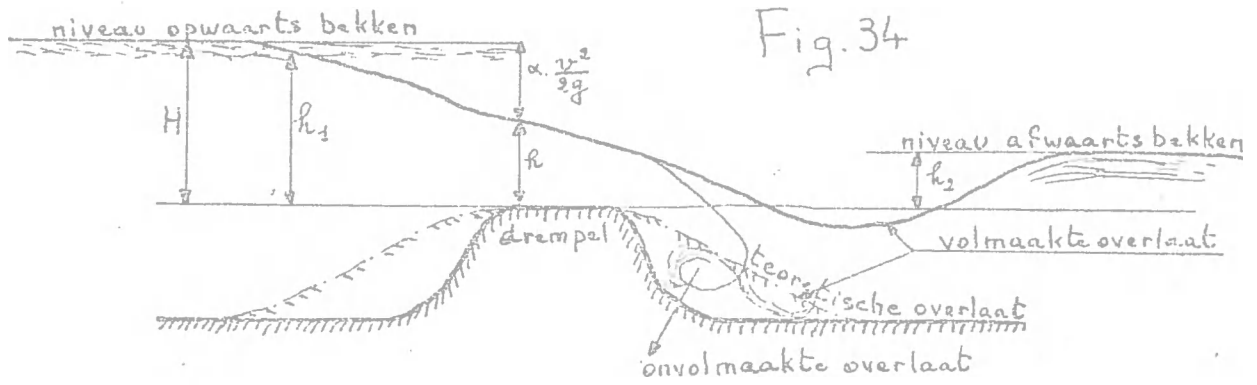


Fig. 35



③: DOORSNEDE AA'

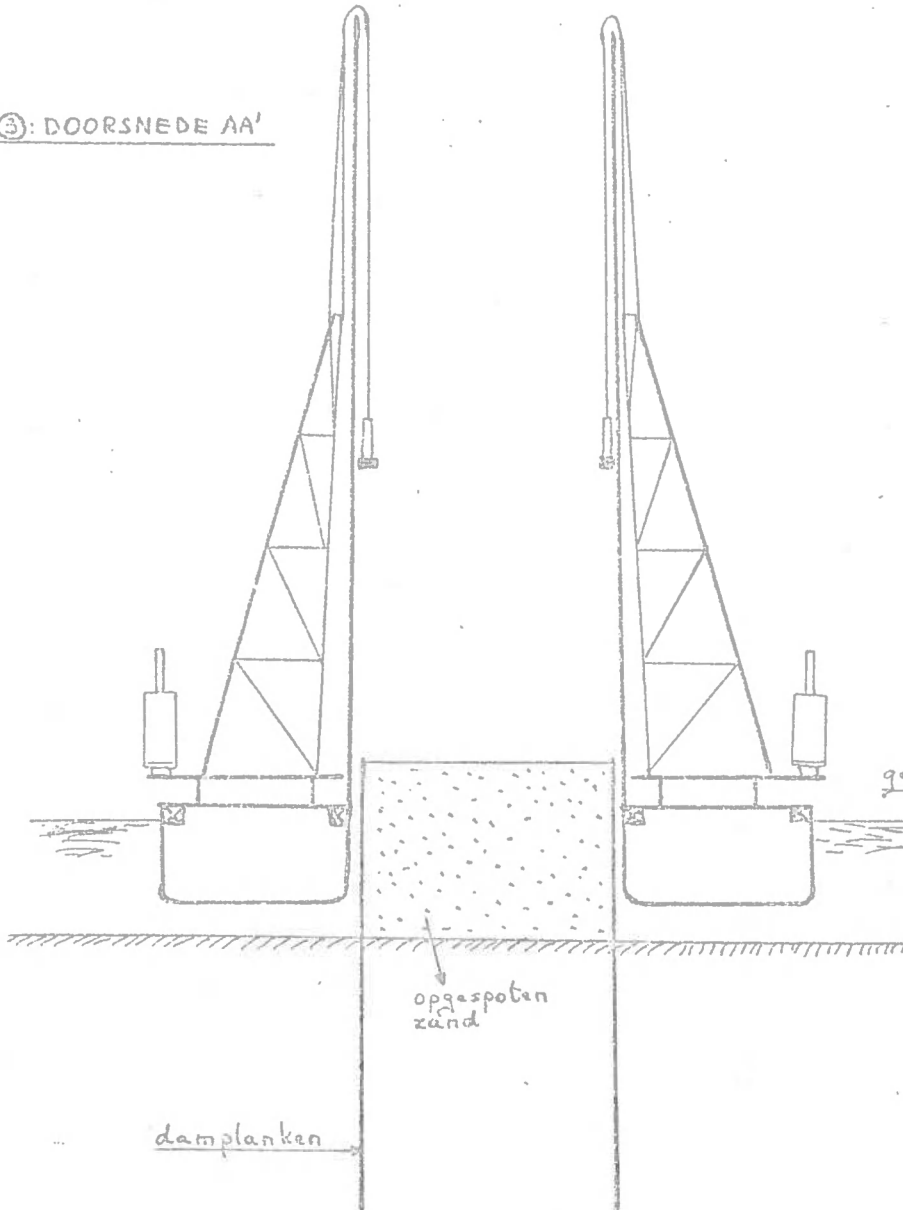


Fig. 35 bis

④: DOORSNEDE AA'

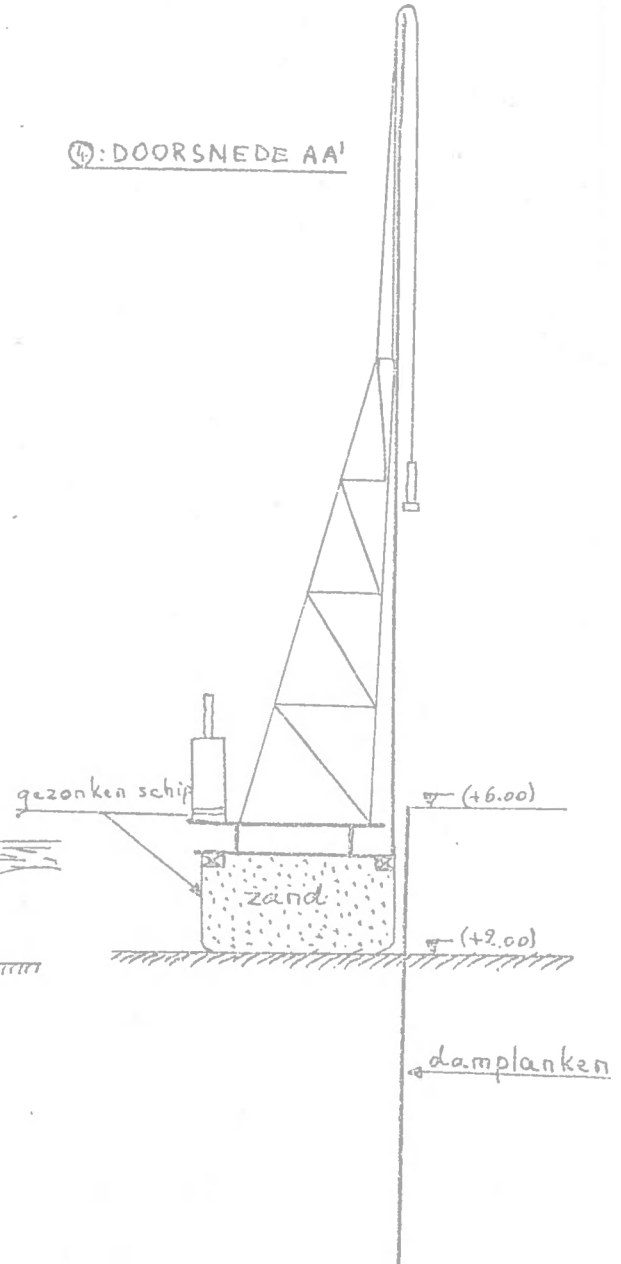
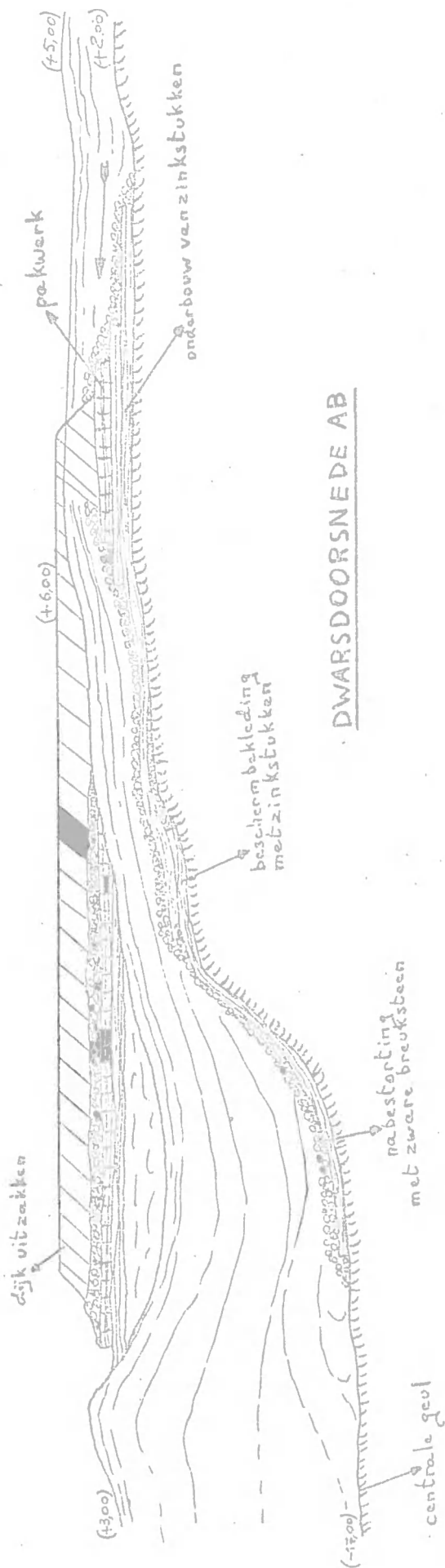


Fig. 36 bis

schaal: $1/250$

MILITAIRE DIJK: PASSAGE VAN DE VLOEDSTROOM



DWARSDOORSNEDE AB

schematisch planzigt:

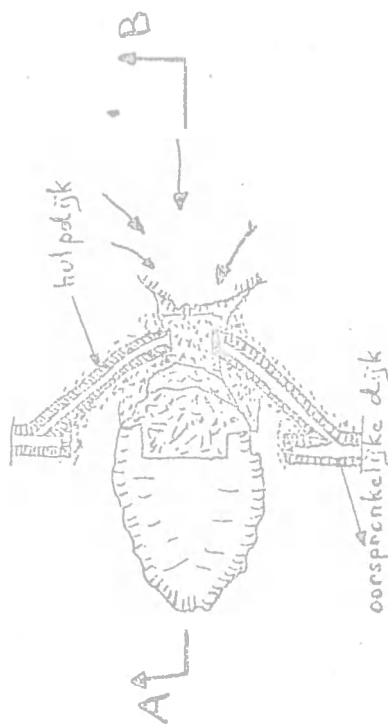


Fig. 37

NEERLATEN VAN EEN ZINKSTUK

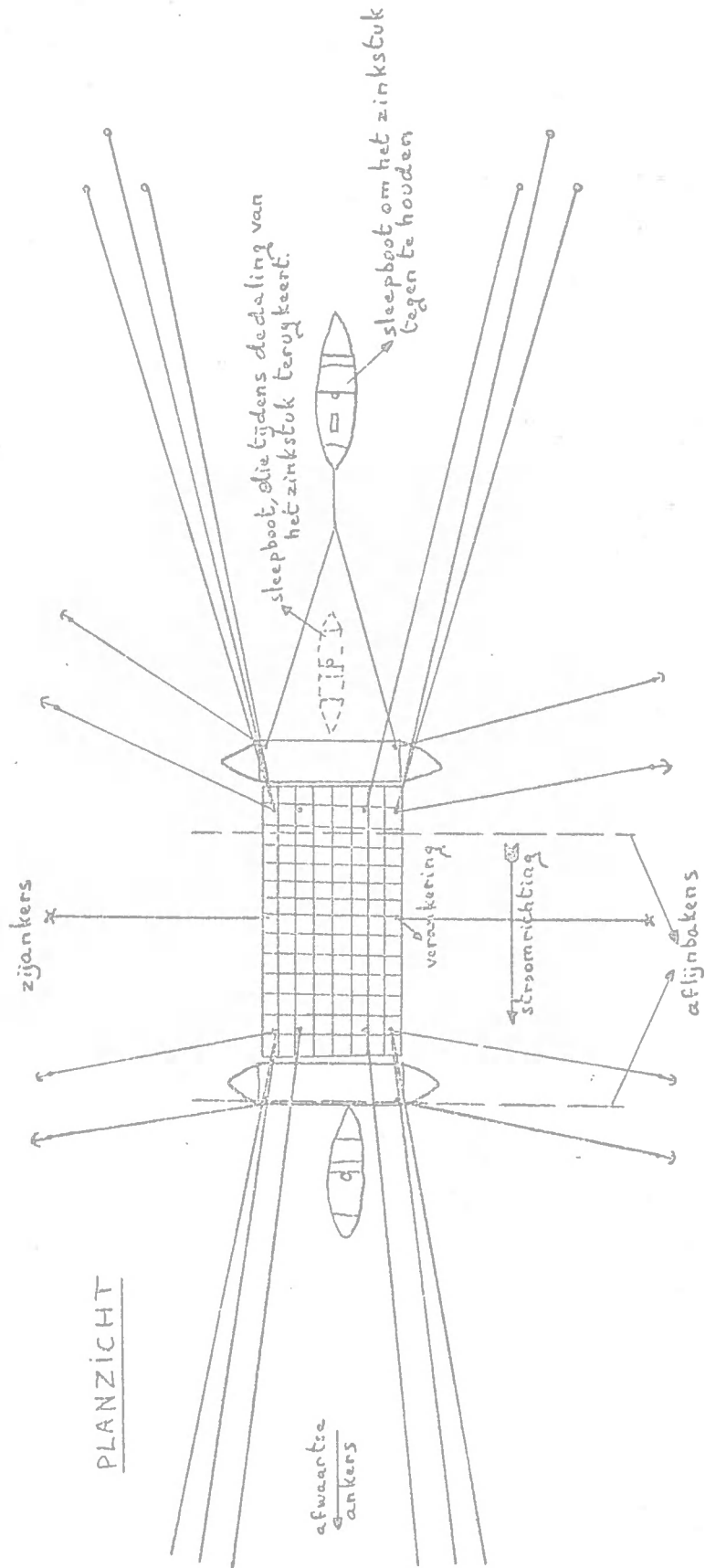
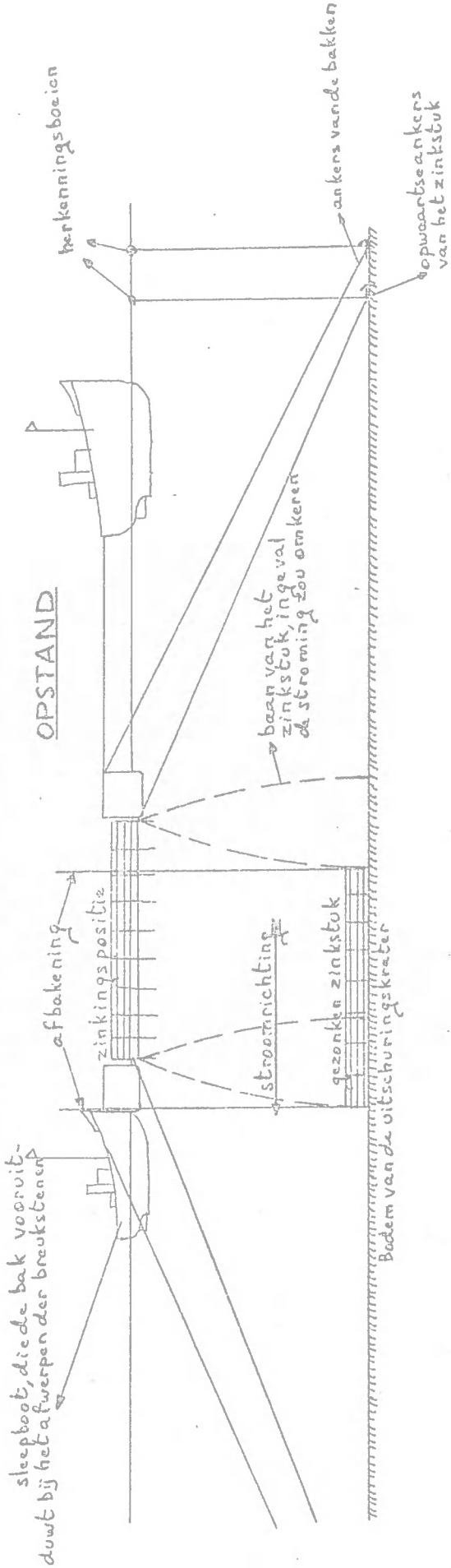


Fig. 38

Schelde

PIJP TABAK: VOOROP- GESTELDE OPLOSSINGEN

adijk van opgespoten zand

schaal: 1/2000

konstruktie uit breuksteen en klei

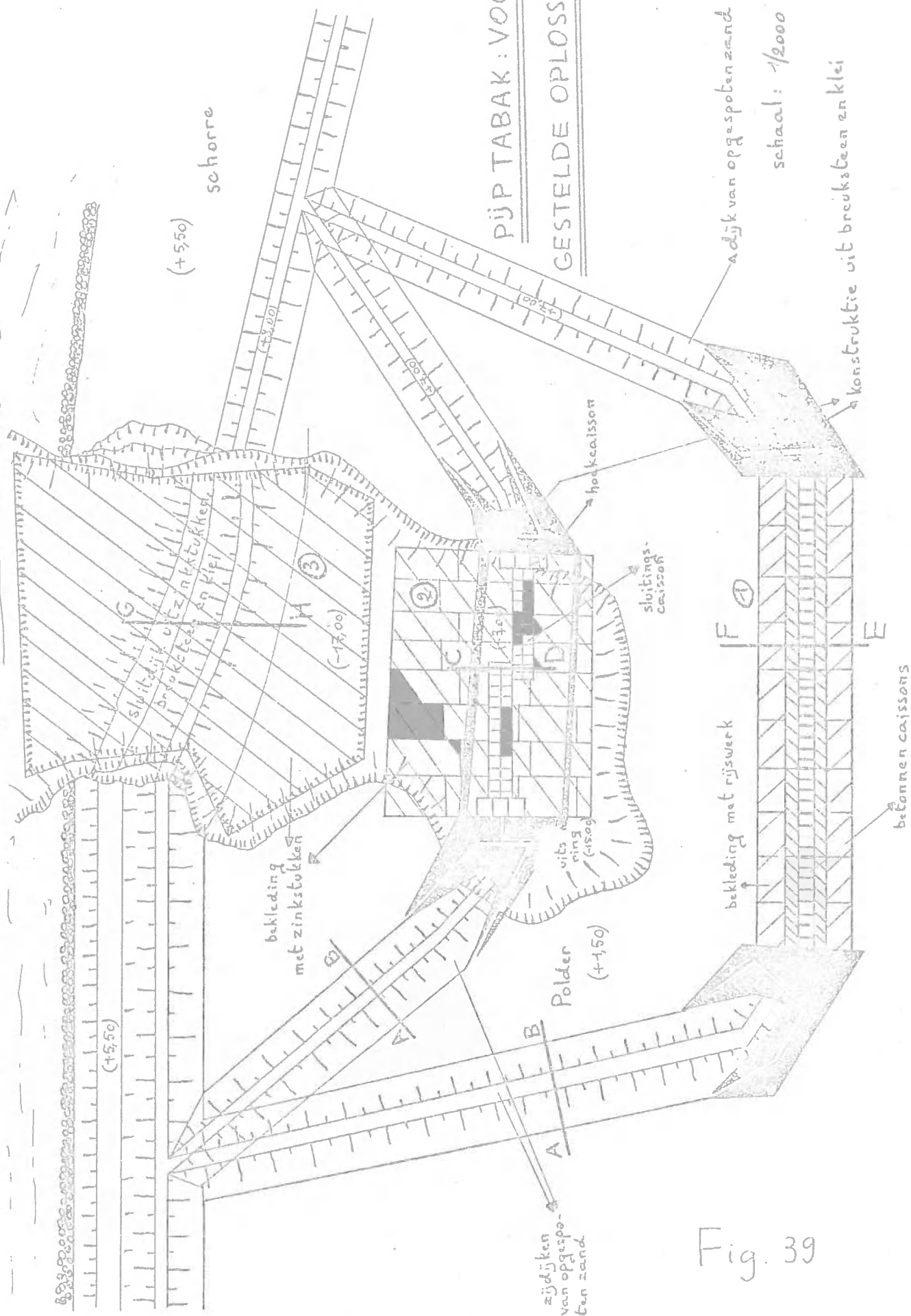
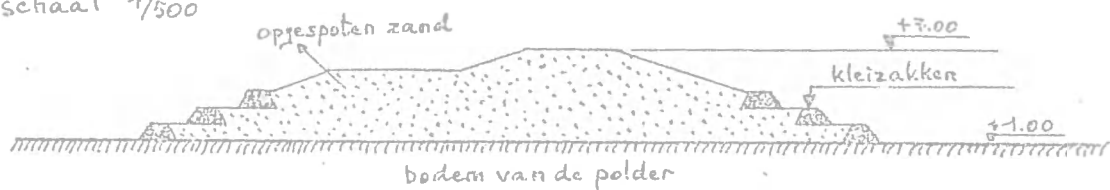


Fig. 39

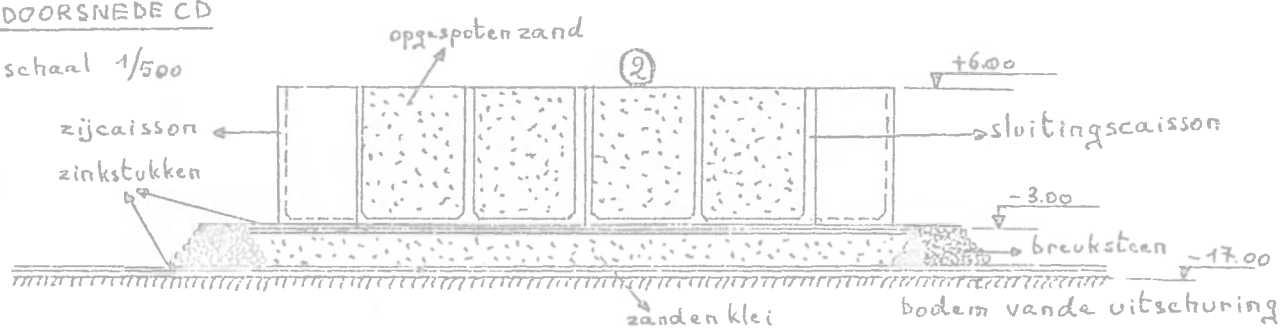
DOORSNEDE AB

schaal 1/500



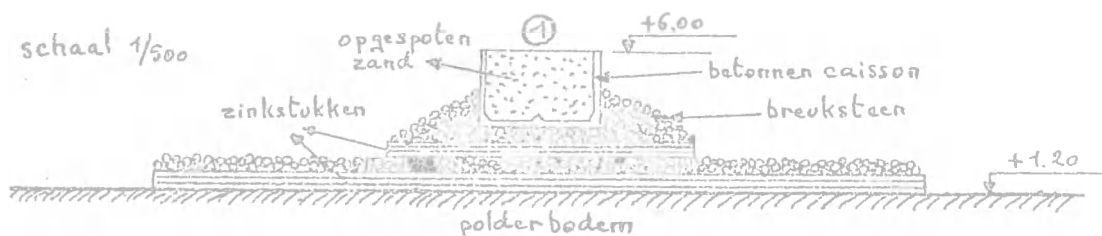
DOORSNEDE CD

schaal 1/500



DOORSNEDE EF

schaal 1/500



DOORSNEDE G-H

schaal 1/1000

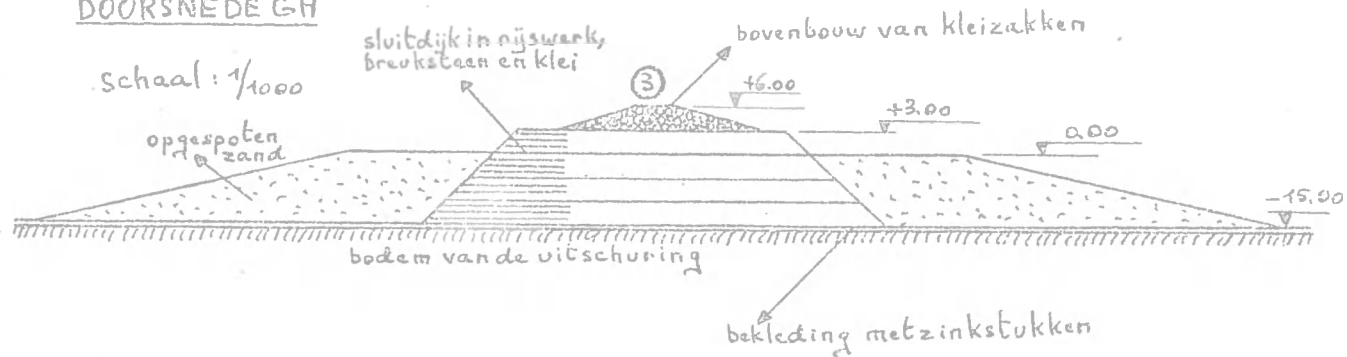


Fig. 40

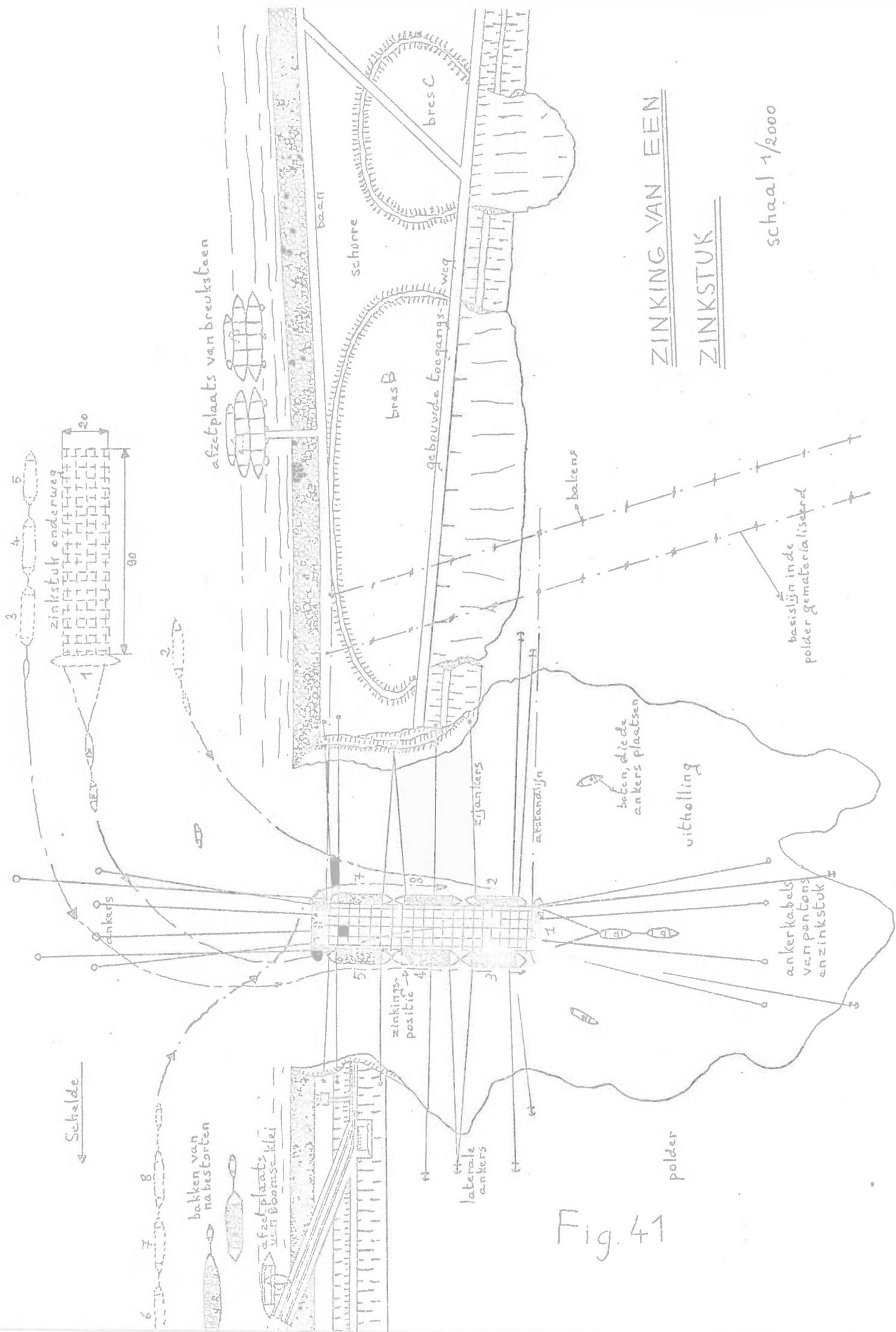


Fig. 41

LANGSDOORSNEDE VAN DE SLUITDIJK

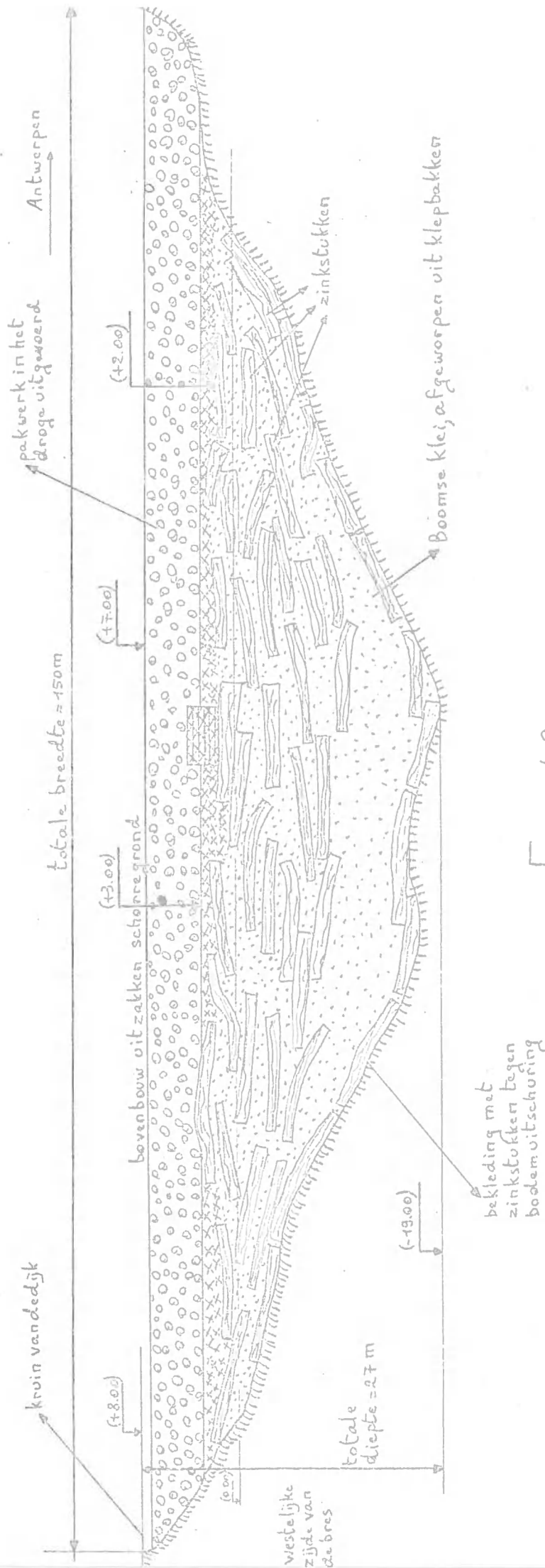
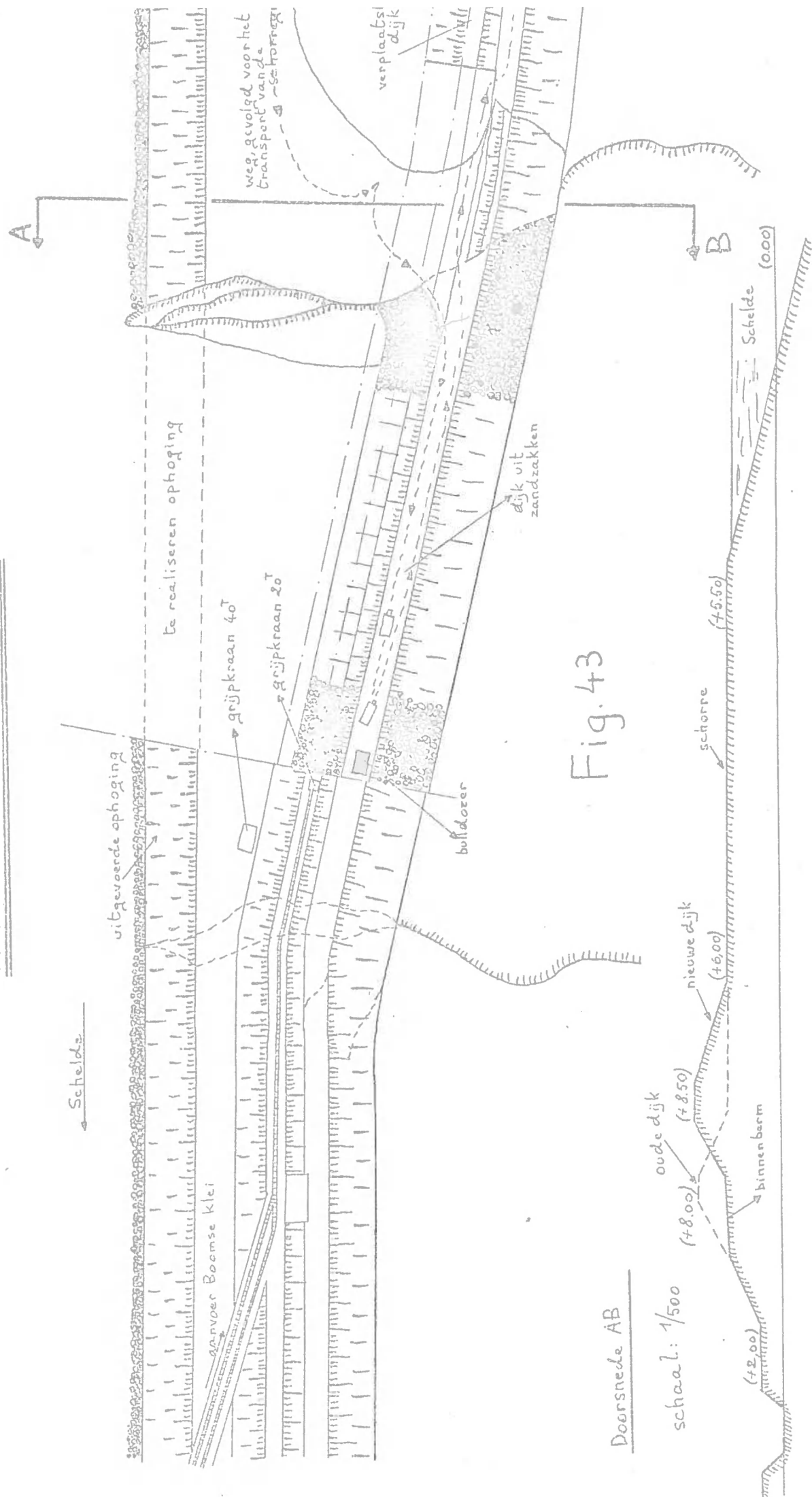


Fig. 42

schaal: 1/200

HERSTEL VAN DE DIJK



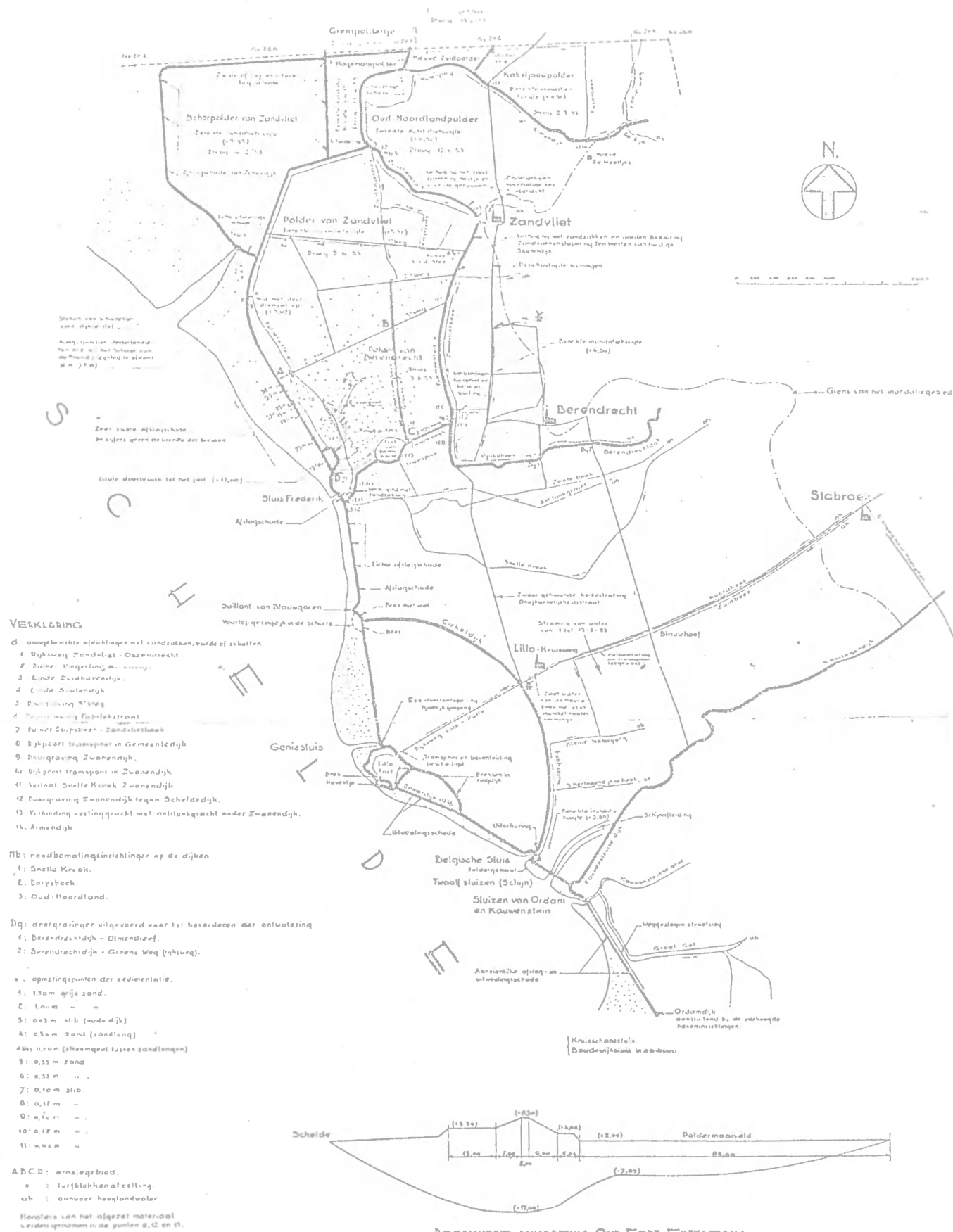
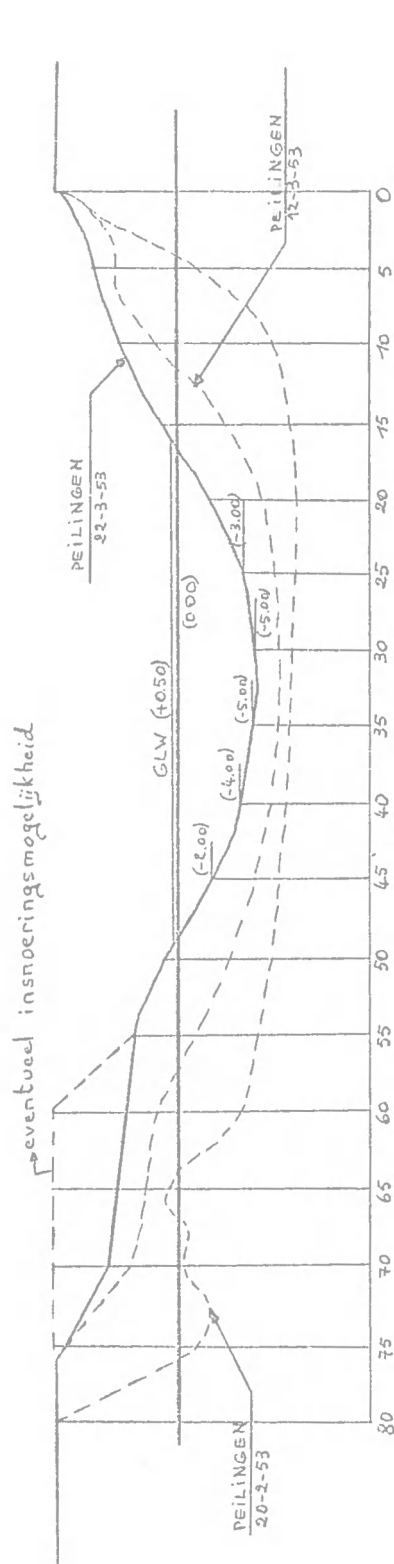


Fig. 44

TOESTAND: 23-3-1953

AFWAARTS



49

D E E L I I I .

=====

HOOFDSTUK I : I N L E I D I N G .

=====

=====

Nog vóór de schade, veroorzaakt door de stormvloed van 1 februari 1953, helemaal hersteld was, begonnen de verantwoordelijke diensten zich te beraden omtrent de mogelijkheden, die er zijn om het stormvloedgevaar te keer te gaan. Een Deltaplan zoals in Nederland is bij ons ondenkbaar.

Bij de keuze van een afweerplan, mag ook de financiële zijde van het probleem niet uit het oog verloren worden: de goedkoopste oplossing zal ongetwijfeld al veel duurder uitvallen dan de vóór 1953 geplande dijksverhoging (alles werd gerefereerd t.o.v. de dijkshoogte die in het jaar 2000 moest bereikt worden). De stormvloed van 1953 had op de meeste plaatsen het voor het jaar 2000 veilig geachte peil in niet onaanzienlijke mate overschreden.

De oplossing zal in grote lijnen van tweeërlei aard zijn :

- 1) de uitvoering van zekere werken, die zodanig zijn dat een voldoende zekerheid gewaarborgd is ten aanzien van overstromingen: vooral dichtbewoonde streken en centra (Antwerpen) dienen beschermd te worden.
- 2) een alarm- en mobilisatiesysteem, dat toelaat gevaarlijke waterstanden enkele uren voor het hoogwater te voorspellen en de nodige maatregelen (o.a. dijkbewaking) te treffen om schade te vermijden of te beperken.

Wat de uitvoering van werken betreft, hiervoor werden vier mogelijke oplossingen weerhouden :

- a) de dijken verhogen, zodat ze praktisch gesproken on-
overstroombaar worden.
- b) in de Schelde, afwaarts Antwerpen, een beweegbare
stormvloedkering bouwen, die zou gesloten worden,
wanneer een stormtij aangekondigd wordt.
- c) potpolders (overstromingsbekkens) voorzien.
- d) de dijken niet meer verhogen, maar ze zó versterken
dat ze tijdelijk aan overlopen kunnen weerstaan zon-
der gevaar voor het ontstaan van bressen en stroom-
gaten.

HOOFDSTUK II : HET ALARM- EN MOBILISATIESYSTEEM. =====

§ 1. Inleiding.

Het mobilisatiesysteem heeft in de eerste plaats tot doel een nauwgezette en doelmatige koördinatie in het leven te roepen van de akties van de verschillende verantwoorde-lijke personen en diensten (bestuur der Waterwegen, provin-
ciale diensten, leger, rijkswacht, gemeentebesturen, polder-
besturen) in geval van een dreigende ramp, alsook na het
eventuele onheil.

Het systeem omvat twee fazen :

- 1) het in werking stellen van het alarmstelsel.
- 2) de automatische organisatie van het verweerstelsel.

Voor de organisatie van het verweerstelsel worden twee
welbepaalde gebieden van het land onderscheiden : de kust
en het Zeescheldebekken. Dit is noodzakelijk doordat de
zeedijken voor 95% de Belgische Staat toebehoren en door
hem dienen onderhouden te worden, terwijl de dijken van de
Schelde en haar bijrivieren grotendeels eigendom zijn van
private organismen en personen. Bijgevolg moet het alarm-
plan aan de kust anders opgebouwd worden dan in het Schelde-
bekken. Het alarmstelsel is echter in beide gevallen het-
zelfde.

§ 2. De Inrichting van het mobilisatieplan in het Zeeschel- debekken.

1.- Het alarmstelsel.

De bestendige wacht van de Hydrografische Dienst van de
Kust te Oostende kan door vergelijking van de krommen van de
optredende waterstanden en de astronomisch voorspelde water-
standen, 3 tot 4 uur op voorhand met goede benadering de
cota van het komend hoogwater voorspellen. Indien dit peil

(+ 5,50) overtreft, zonder evenwel (+ 5,75) te bereiken, dan worden door de vermelde dienst bepaalde bevoegde instanties hiervan door middel van een diensttelegram op de hoogte gebracht. Dit telegram vermeldt : "Hoog Tij". Dit telegram is bedoeld als een waarschuwing en geldt als dusdanig slechts voor het komende hoogwater. Er wordt echter geen mobilisatieplan op touw gezet. De bevoegde diensten worden er enkel van verwittigd dat een zwaar stormtij op komst is.

Indien het geëxtrapoleerde peil de zeer hoge cota van (+ 5,75) bereikt of overschrijdt, wordt een tweede telegram met de vermelding : "Gevaarlijk Stormtij" gezonden naar al de instanties, die reeds het telegram "Hoog Tij" ontvingen. Dit tweede telegram brengt automatisch het verweerstelsel in werking.

Vanzelfsprekend gebeurt het maar zelden dat een telegram "Gevaarlijk Stormtij" niet voorafgegaan wordt door een telegram "Hoog Tij".

De gewone gang voor een buitengewone storm is dus : eerst een telegram "Hoog Tij" en indien de wind aanhoudt, is er veel kans dat het hoogwater een "Gevaarlijk Stormtij" zal zijn.

Het binnenlopen van elk der telegrammen heeft dus zijn betekenis : "Hoog Tij" : verwittiging (wordt verstuurd 6 à 7 uur voor het hoogwater te Antwerpen).

"Gevaarlijk Stormtij": het mobilisatieplan wordt automatisch opgebouwd.

2.- Het verweerstelsel.

De bedreigde gebieden zijn verdeeld in een zeker aantal zones, waarin telkens een "waakpost" opgericht wordt. Deze waakposten winnen alle mogelijke inlichtingen in nopens de toestand van de dijken uit hun zone gedurende het stormtij en houden hun oversten (de Gouverneurs van Oost-Vlaanderen en Antwerpen en het hoofd van de Dienst der Zeeschelde) voortdurend op de hoogte van de ontvangen inlichtingen. Elke zone wordt op haar beurt verdeeld in een aantal bewa-

kingssektoren om de doorstroming van gegevens op de meest efficiënte wijze te coördineren: de centra van de bewakingssektoren zijn veelal de gemeentehuizen van de door in de zone gelegen gemeenten. In elke waakpost is een persoon aanwezig, die vertrouwd is met de topografie van de wachtpost afhankelijke zone.

Door elk betrokken gemeentebestuur en door elke polder wordt een hulpkern ingericht, die, behoorlijk uitgerust, bij machte moet zijn kleine, herstellings- en beveiligingswerken uit te voeren : deze kernen moeten aldus beschikken over voldoende vervoermiddelen en materieël (schoppen, bijlen, zandzakjes, koorden, staken...).

3.- De werking van het systeem.

Bij het ontvangen van het telegram "Hoog Tij" houden alle betrokken personen zich klaar om zich naar hun welbepaalde post te begeven. Bij ontvangst van "Gevaarlijk Stormtij" moeten zij onmiddellijk naar die post vertrekken. Zo worden o.a. alle nodige verbindingen door de Regie van Telegrafie en Telefonie verwezenlijkt; de onderhoudsaannemers moeten materieël en werklieden klaar houden.

Al spoedig zal uit de binnengekomen berichten blijken of er zich schade heeft voorgedaan en hoe groot ze is. Drie gevallen zijn te onderscheiden :

- 1) de schade is zeer beperkt : in dit geval worden de polder- en gemeentekernen ingezet; voor de Staatsdijken echter ook de onderhoudsaannemers.
- 2) de schade is belangrijk : hier kunnen ook andere aannemers dan de onderhoudsaannemers worden ingezet. Tevens kan een beroep gedaan worden op het leger.
- 3) de gebeurtenissen tekenen zich af als een ramp: in dit geval komt het verweerstelsel ten volle in werking. Sterke coördinatie is hier vereist om geen nutteloze krachtverspillingen te doen. Alle beschik-

bare personen en materieel worden nu ingezet: onderhoudsaannemers, leger, gemeentediensten,...

De duur van het instandhouden der waakposten is afhankelijk van de omvang van de schade en wordt in geen overleg bepaald door de hoofden van de verschillende verantwoordelijke Diensten.

Dit alarm- en mobilisatiesysteem, dat na de ramp van 1953 door het Ministerie van Openbare Werken ontworpen werd, heeft zijn degelijkheid o.m. bewezen tijdens de stormvloed van 30 november 1965 en 12 december 1965.

HOOFDSTUK IIJ : ALGEMENE DIJKSVERHOOGING.

=====

Om de zeer hoge stormvloedwaterstanden te keer te gaan, zou een algemene dijksverhoging op het eerste gezicht een voor de hand liggende oplossing uitmaken. Ten einde in de toekomst een voldoende veiligheid tegen overstromingen te kunnen waarborgen, is het echter nodig de dijkskruin 2 meter hoger te brengen dan nu het geval is.

Praktisch gezien is deze oplossing echter veelal onmogelijk door de aanwezigheid van nijverheidsinstellingen of woningen langsheen de huidige dijken.

De dijksverhoging zou tevens voor gevolg hebben dat het hoogwater in het opwaarts gedeelte van het bekken nog hoger zou worden, met het gevaar dat de opwaarts gelegen steden, zoals Lier, Mechelen, Lokeren en Gent, waar deze algemene dijksverhoging meestal onmogelijk is, zouden worden overstroomd, vooral wanneer het stormhoogwater samenvalt met een grote bovenafvoer van de rivier.

In het Belgisch deel van het Zeescheldebekken is een algemene dijksverhoging dus uitgesloten. Op Nederlands grondgebied zijn er echter maar weinig obstakels om tot een dergelijke oplossing over te gaan; daar het Deltaplan bovendien het afsluiten van de Westerschelde niet mocht inhouden wegens de havenbelangen van Antwerpen (cfr. de Nieuwe Waterweg i.v.m. de havenbelangen van Rotterdam), besloot de Rijkswaterstaat tot een algemene dijksverhoging aldaar.

N.B : merken we nog op dat de stelselmatige indijking van de rivieren in de vorige eeuwen tot gevolg had dat de kombergingsoppervlakte daardoor aanzienlijk inkromp, waardoor de stormvloedcota's steeds hoger werden en de stormvloeden steeds dieper het vasteland konden binnendringen. In zekere zin bleef het overstromingsgevaar bestaan en hield het gelijke tred met de uitbreiding van de beveiligingswerken.

HOOFDSTUK IV : EEN EVENTUELE STORMVLOEDKERING AFWAARTS ANTWER- ===== PEN. =====

Een tweede, zeer radikale oplossing zou erin bestaan afwaarts Antwerpen een reusachtige stormvloedkering te bouwen. Deze kering zou natuurlijk slechts dan gesloten worden, wanneer een stormtij verwacht wordt.

Een eerste probleem, dat bij het opmaken van het voorontwerp rijst, is de plaats waar de stuw zal gebouwd worden. Om kostelijke kaaimuurverhogingen te Antwerpen te omzeilen, verdient het aanbeveling de kering afwaarts van de stad te bouwen. Anderzijds is het wenselijk de grote zeescheepvaart zo min mogelijk te hinderen door de vaste konstrukties in de rivier, die bij een dergelijke kering horen. Bijgevolg moet de stuw zich opwaarts van de Van Cauwelaertsluis bevinden. Beide eisen in acht nemend, komt men tot het besluit dat de geschikte plaats voor een stormvloedkering de omgeving van Oosterweel is (fig. 50). In het voorontwerp, opgemaakt door het Waterbouwkundig Laboratorium, werd een doorvaartopening van 125 m aangenomen.

Een andere reden voor de keuze van Oosterweel als plaats voor een eventuele stormvloedkering, is het feit dat de Schelde aldaar een vrij recht tracé heeft. De doorvaargeul dient zich immers daar te bevinden, waar de grootste diepten aanwezig zijn, maar waar dus ook de grootste watersnelheden zullen optreden. Grote watersnelheden zijn echter niet gewenst omwille van de moeilijkheden, die zouden optreden bij het dichtmanoevreren van de beweegbare stuw bij dreigend stormtij. Daarom werd de plaats van de stormvloedkering gekozen bij een buigpunt in het tracé van de Schelde, namelijk in de omgeving van Oosterweel.

Afwaarts van de stuw moeten dijksverhogingen uitgevoerd worden als gevolg van de verhoging der waterstanden bij gesloten stuw. Hieraan is geen enkel bezwaar verbonden daar dit reeds een noodzaak is langs de rechteroever en dit ook

het geval zal zijn voor de linkeroever door industrievestiging en havenuitbreiding in de nabije toekomst. Bovendien stuit deze dijksverhoging op geen enkele praktische moeilijkheid.

Opwaarts van de stuw dienen verder geen andere werken aan de bestaande dijken uitgevoerd te worden in het maritiem gedeelte van het Scheldebekken. In het semi-maritiem gebied (d.i. waar de invloed van de bovenafvoer overwegend is ten aanzien van de getijdeninvloed) zullen plaatselijke dijkversterkingen en -ophogingen moeten uitgevoerd worden om overstromingen te vermijden in geval een stormvloed zou samenvallen met een opperwas van de rivier.

Voor het tot stand brengen van een stormvloedkering werden twee voorontwerpen weerhouden:

- 1) een hefstuw zoals op de Hollandse IJssel in Nederland (fig 51). Voor Oosterweel zijn alle afmetingen echter merkkelijk groter.
- 2) een Scherzer-stuw, zoals afgebeeld op fig. 52.

Berekeningen en modelproeven hebben uitgewezen dat we waterstanden afwaarts van dergelijke stormvloedkering met enkele dm. verhogen.

Ongetwijfeld zou de bouw van zulk een gigantische konstruktie enorme bedragen vergen. Tevens zouden, wegens de buitengewone afmetingen, grote extrapolaties moeten doorgevoerd worden bij het toepassen van gelijkaardige reeds uitgevoerde keringen. De stormvloedkering afwaarts Antwerpen zou ongetwijfeld het grootste beweegbaar kunstwerk ter wereld zijn.

HOOFDSTUK V : HET AANLEGGEN VAN POTPOLDERS.

=====

Onder potpolders verstaan we laag gelegen, met dijken omrande gebieden langsheen de rivier, waarin tijdelijk aanzienlijke hoeveelheden water kunnen geborgen worden om aldus de hoogwaterstanden bij stormvloed te doen dalen. Om dit doel te bereiken, wordt de rivierdijk van een potpolder over een zekere lengte voorzien van een overstroombare kruin; en binnentalud, het peil van de kruin wordt door verscheidene factoren bepaald.

Zodra het water in de rivier hoger komt dan de kruin van de overlaat, zal water in de potpolder geborgen worden tot het ogenblik waarop het waterpeil in de rivier weer tot onder de kruin gedaald is. Wanneer het waterpeil in de rivier dan verder zakt tot onder het peil van de waterspiegel in de potpolder, kan het water langs uitwateringssluissjes terug in de rivier vloeien.

Potpolders werden reeds met sukses toegepast langs de Durme om de gemeenten, gelegen langs deze bijrivier van de Schelde, bij stormvloed van overstromingen te vrijwaren.

De gebieden, die in aanmerking komen om als potpolder dienst te doen, zijn het Verdrongen Land van Saaftinge en de polders op de linker Scheldeoever. De oppervlakte, die benodigd is om potpolders te kreëren, die een voldoende peilverlaging te Antwerpen tot gevolg hebben bij stormvloed, is echter zo groot, dat de vereiste terreinen niet meer kunnen gevonden worden op de linkeroever, gezien de te verwachten industrievestiging en havenuitbreiding aldaar.

Uit berekeningen blijkt dat door het gebruik van het Verdrongen Land van Saaftinge als potpolder, de hoogwaterstand te Antwerpen voor een stormvloed als in 1953 met ruim 20 cm kan verlaagd worden. Hiertoe dient de randdijk langs de Schelde voorzien te worden van een overlaat van 5700 m

lengte met kruin op het peil NKD + 6,50 m. In dit geval zou ongeveer 75 miljoen m³ water in deze potpolder geborgen worden.

In de bovenloop van de rivieren oefent het bovendebiet een grote invloed uit op de hoogwaterstanden. Wanneer een stormtij samenvalt met een was van de rivieren, dan stijgen de hoogwatercota's aanzienlijk. Om deze stijging tot een minimum te beperken, zouden daar waar het mogelijk is, speciaal daarvoor ingedijkte inundatiebekkens moeten voorzien worden om het bovendebiet gedurende een zekere tijd op te vangen. Deze inundatiebekken vervullen dus dezelfde rol als de potpolders in het maritiem riviergedeelte. In deze bekkens zou alleen zoet water geborgen worden.

Aangaande het effect van de potpolders op de daling van het rivierwaterpeil te Antwerpen, kan men uit de verschillende ondernomen studies volgende belangrijke besluiten trekken :

- 1) om de grootste daling van de hoogwaterpeilen te Antwerpen te bekomen, is het nodig de overlaat te Antwerpen zelf aan te leggen; de invloed neemt immers af met de afstand tot die stad.
- 2) een potpolder afwaarts Antwerpen is doorgaans efficiënter dan een potpolder opwaarts gelegen op dezelfde afstand van de stad.
- 3) potpolders op Nederlands grondgebied hebben nog slechts minieme invloed op de hoogwaterstand te Antwerpen; hetzelfde geldt voor potpolders op Belgisch grondgebied opwaarts van Hingene.
- 4) voor het uitbaten van een welbepaalde potpoldercapaciteit is het voordeligst de polder te laten volstromen via een overlaat op de hoogst mogelijke kruinoota. De formule van Bélanger voor overlaten $q = 0,385 \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \cdot \psi$ doet dit dadelijk inzien. In deze formule is h het hoogteverschil tussen waterpeil en kruincota, l de overlaatlengte en ψ een debietskoëfficiënt die doorgaans gelijk aan 0,85 genomen wordt.

Figuur 53 illustreert de eerste drie bovenvermelde besluiten: de drie erop vermelde krommen gelden, gaande van boven naar onder, voor overlaten met een lengte van 8 km, 4 km en 2 km. De gemeentenamen naast de krommen betreffen de plaatsen, waar de overlaat aangebracht wordt. Op de figuur kan men dus in functie van de plaats en de lengte van de overlaten zowel het overgestroomd volume als de daling van het hoogwaterpeil te Antwerpen afleiden. Figuur 54 illustreert besluit 4).

Het is moeilijk zich a priori een idee te vormen van de grootteorde van de daling der hoogwaterpeilen of van het overgestort volume wegens de sterke afhankelijkheid van de tijd.

Om toch over een zekere grootteorde te beschikken, kunnen we volgende redenering maken :

We nemen aan dat er te Antwerpen op een of andere manier 100 miljoen m³ water aan de Schelde onttrokken wordt via een overlaat op het peil (+ 6,50). Als gevolg hiervan ontstaat er in de rivier aan weerszijden van de overlaat een negatieve translatiegolf met hoogte η . Het in de potpolder stromend debiet is dan gelijk aan het gezamenlijk debiet der twee translatiegolven en wordt gegeven door de formule :

$$Q = 2 B \eta \sqrt{gh}$$

B = breedte van de rivier

h = gemiddelde diepte van de rivier

Voor een stormtij als dat van 1953 is de overlooptijd nageenog 4 uur.

Het gemiddeld debiet (per seconde) bedraagt dan :

$$\frac{100 \cdot 10^6}{4 \times 3,6 \cdot 10^3} = 7.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nemen we voor de gemiddelde diepte $h = 14 \text{ m}$ (rekening houdend met het feit dat het fenomeen zich voordoet op het peil (+ 7,00), dan is $\sqrt{gh} = 11,6 \text{ m/s}$.

Stellen we de kop van de getijdekromme in eerste benadering gelijk aan een parabool, dan is het maximum debiet :

$$q_{\max} = \frac{3}{2} q_{\text{gem}} \quad \text{dus} \quad \frac{3}{2} \cdot 7000 = 10500 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nemen we de rivierbreedte B gelijk aan 500 m, dan is de maximale zakking te Antwerpen :

$$\eta_{\max} = \frac{10500}{2 \times 500 \times 11,6} = 0,86 \text{ m}$$

Indien het ongestoord peil te Antwerpen bv. 8,18 m bedraagt, dan is de cota bij gebruik van de potpolder van 100 miljoen m³ gelijk aan 8,18 - 0,86 = 7,32 m. Daar de kruinhoogte van de overlaat (+ 6,50) is, bedraagt de dikte van de overstortlaag boven de overlaat 7,32 - 6,50 = 0,82 m.

Hierop de formule van Bélanger toepassend, vinden we voor het debiet per strekkende meter (per seconde) :

$$0,385 \times 0,85 \times 0,82^{3/2} \times \sqrt{2 \times 9,81} = 1,08 \text{ m}^3/\text{s.m.}$$

Daar $q_{\max} = 10500 \text{ m}^3/\text{s}$, krijgt men voor de overlaatlengte :

$$l = \frac{10500}{1,08} = 9720 \text{ m} \approx 10 \text{ km}$$

Aan de hand van deze berekening blijkt het dus mogelijk de hoogwaterstand te Antwerpen met ongeveer 85 cm te verlagen op voorwaarde dat de nodige potpolderoppervlakte voorhanden is.

Om dit resultaat te bereiken, zou men echter het Verdrongen Land van Saaftinge dienen in te dijken tot het peil (+ 6,50) en het daarna als potpolder gebruiken, terwijl tevens op de Belgische linker Scheldeoever een oppervlakte van nagenoeg 2500 ha zou moeten prijsgegeven worden om alleen maar als potpolder dienst te doen. Neemt men aan dat ook deze dijk op het peil (6,50) overstortbaar wordt gemaakt, dan zou deze polder in de periode 1951-1960 niet minder dan zeven maal onder water zijn gekomen. Indien deze fiktieve polder van 2500 ha in 1953 reeds aanwezig zou geweest zijn, dan zou het water in dit overstromingsbekken 4 m hoog hebben gestaan.

Indien alleen op Belgisch grondgebied (het Verdrongen Land van Saafting, dus niet gebruikend) potpolders - met een totale oppervlakte gelijk aan deze van het Verdrongen Land van Saaftinge plus 2500 ha - aangelegd worden, dan volgt uit berekeningen dat het absoluut maximum van de daling van het stormhoogwater 1 m bedraagt. Gezien het opgeven van vele duizende ha grond, die wellicht in de nabije toekomst voor industriële doeleinden zullen worden gebruikt, niet opweegt tegen de relatief kleine waterdaling van 1 m te Antwerpen, is ook deze oplossing niet integraal toepasbaar. Niets be-
lot echter potpolders aan te wenden maar dan gekombineerd met andere doeltreffende methoden om de stormvloedpeilen te verlagen.

HOOFDSTUK VI : VERSTERKING DER DIJKEN.

=====

=====

Een overstroombare dijk met brede kruin of een dijk met een brede berm in het binnentalud ondergaat geen noemenswaardige beschadigingen en er doen zich noch bressen, noch stroomgaten voor gedurende een stormtij. Door de korte overloopduur anderzijds zijn de in de polder ontstane waterhoogten gering, zodat men maar moeilijk van een ramp kan gewagen - dit in tegenstelling met het geval dat er zich bressen of zelfs stroomgaten vormen, waardoor grote watermassa's meestal weken of maanden lang met het getijde in en uit de polder vloeien.

Hieruit volgt dat het behoorlijk versterken der dijken om aan overlopen te kunnen weerstaan een goede methode is om rampen bij hoge waterstanden te voorkomen. Het versterken kan op verschillende wijzen gebeuren naargelang de omstandigheden (fig. 55).

- is er langs de rivierzijde voorland aanwezig, dan kan de dijk verbreed worden zoals aangegeven is op de eerste schets van (fig 55). Ook de oplossing van de tweede schets kan toegepast worden: de nieuwe dijk wordt op het voorland aangelegd en de oude dijk wordt afgegraven om aldus een berm aan de binnenzijde te vormen en om het hoogteverschil tussen dijkskruin en polderpeil in twee delen te splitsen.
- is geen voorland aanwezig, dan dient de versterking uitgevoerd te worden langs de polderzijde door het aanleggen van een berm (schets 3).

Uiteindelijk heeft de Kommissie van Advies voor de Bestrijding van het Overstromingsgevaar de versterking der dijken als basis vooropgesteld voor het toekomstig dijkenbeleid, terwijl de andere oplossingen (dijksverhoging, stormvloedkering en potpolders), hoewel niet volledig afgeschreven, dan toch op dit moment niet verkieslijk geacht worden boven de versterking der dijken.

Opmerking : een probleem apart (bij het versterken der dijken) vormen de kaaimuren in de havengebieden; hier zal van het principe van de overloopbaarheid noodzakelijkerwijze moeten afgeweken worden. Ook ter plaatse van de uitwateringsluizen der polders moet de kruin der dijken lokaal onoverstroombaar gemaakt worden.

De kaaien langs de Schelde te Antwerpen liggen lager dan de Schelddedijken. Hier moeten speciale maatregelen getroffen worden om de stad te beschermen. Drie oplossingen zijn mogelijk :

- 1) de kaaimuur langs de rivierzijde op een zekere breedte uitbouwen tot boven de hoogste te verwachten cota bij stormtij : fig.(56)
- 2) het verhogen van de deksteen : fig.(57).
- 3) een waterkerende muur bouwen, ongeveer 1,50 m hoog, tussen de straat en de afdaken, ter plaatse van de bestaande afsluithekkens en voorzien van beweegbare afsluitingen aan de toegangswegen tot de kaaien.

De beste oplossing bestaat er wellicht in voorstel 1) uit te voeren; het uitbouwen van een voldoende hoge kaaimuur naar de rivierzijde toe. Daardoor is immers het overstromingsgevaar voor stad en kaaien definitief geweken en wordt de rentabiliteit van de uitbating der kaaien gevoelig verhoogd, o.a. door de grotere waterdiepte, die naar het midden van de rivier toe voorhanden is. Een groot nadeel van deze oplossing vormen echter de enorme bedragen, die voor een dergelijke aanpassing vereist zijn.

Het technisch minder interessante voorstel 3) kan dan ook aangezien worden als de oplossing, die in de praktijk zal worden uitgevoerd. Alhoewel op deze wijze een zeker risico voor wateroverlast (door spleten in, of door te laat sluiten van de beweegbare delen aan de toevoerwegen) blijft bestaan en de waterkerende muur maar weinig esthetisch is, zal deze oplossing toch wellicht worden aanvaard, omdat de

kostprijs veel lager is dan voor het uitbouwen en verhogen van de bestaande kaaimuur. Bovendien zal de uitvoeringstermijn voor deze waterkerende muur belangrijk korter zijn dan voor het uitbouwen van de huidige kaaimuur. De mogelijkheid blijft bestaan om dit laatste werk achteraf uit te voeren.

ZANDVLIET

Blauwvaren

Rechteroever
Rive droite

Lillopolder

SCHAAL : 1/50.000

ECHELLE : 1/50 000



Mercator's projectie op de parallel van Antwerpen
Europese coördinaten
Peilingen in decimeter, herleid tot het plaatselijk
reductievlak : G.L.L.W.S.

Projection Mercator sur le parallèle d'Anvers
Coordonnées européennes
Sondages en décimètres, réduits à la surface de référence
locale : M.B.B.M.V.E.

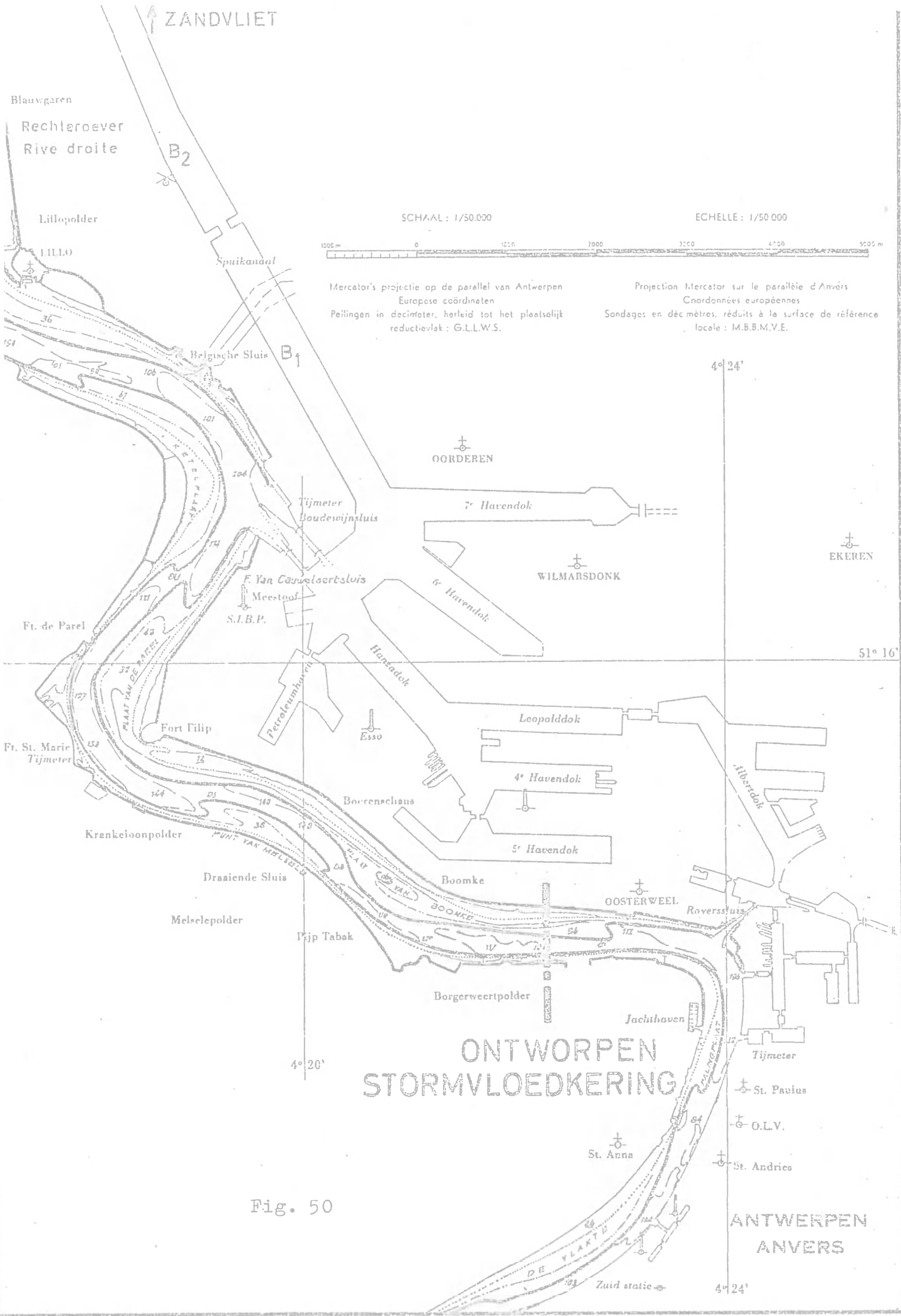
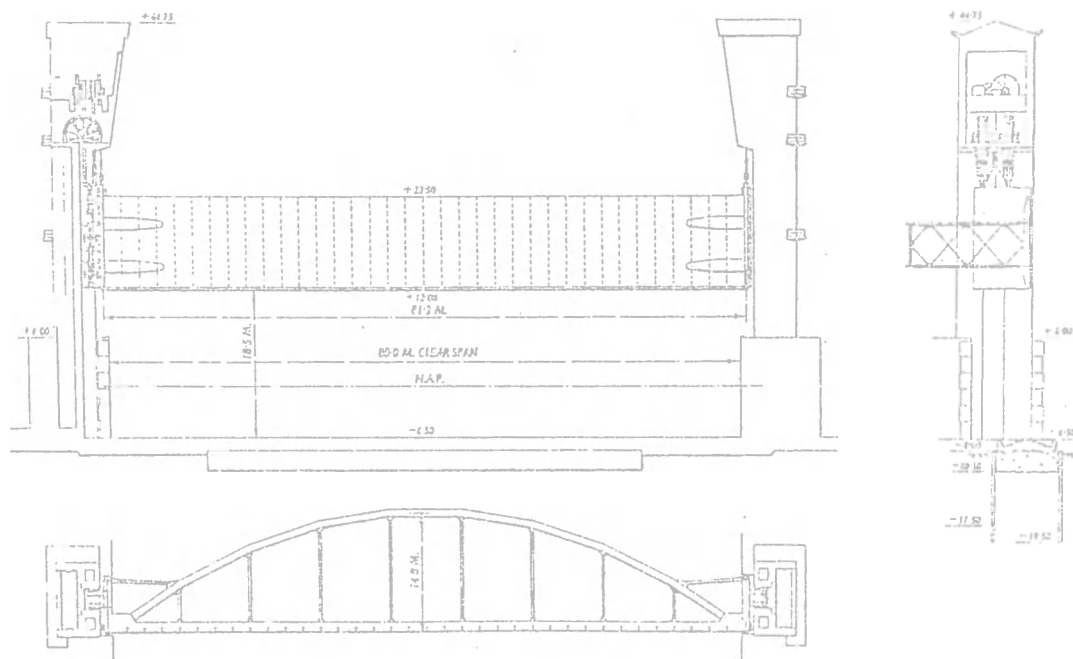


Fig. 50

ANTWERPEN
ANVERS

STORMVLOEDKERING HOLLANDSE IJSSEL

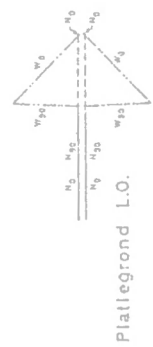
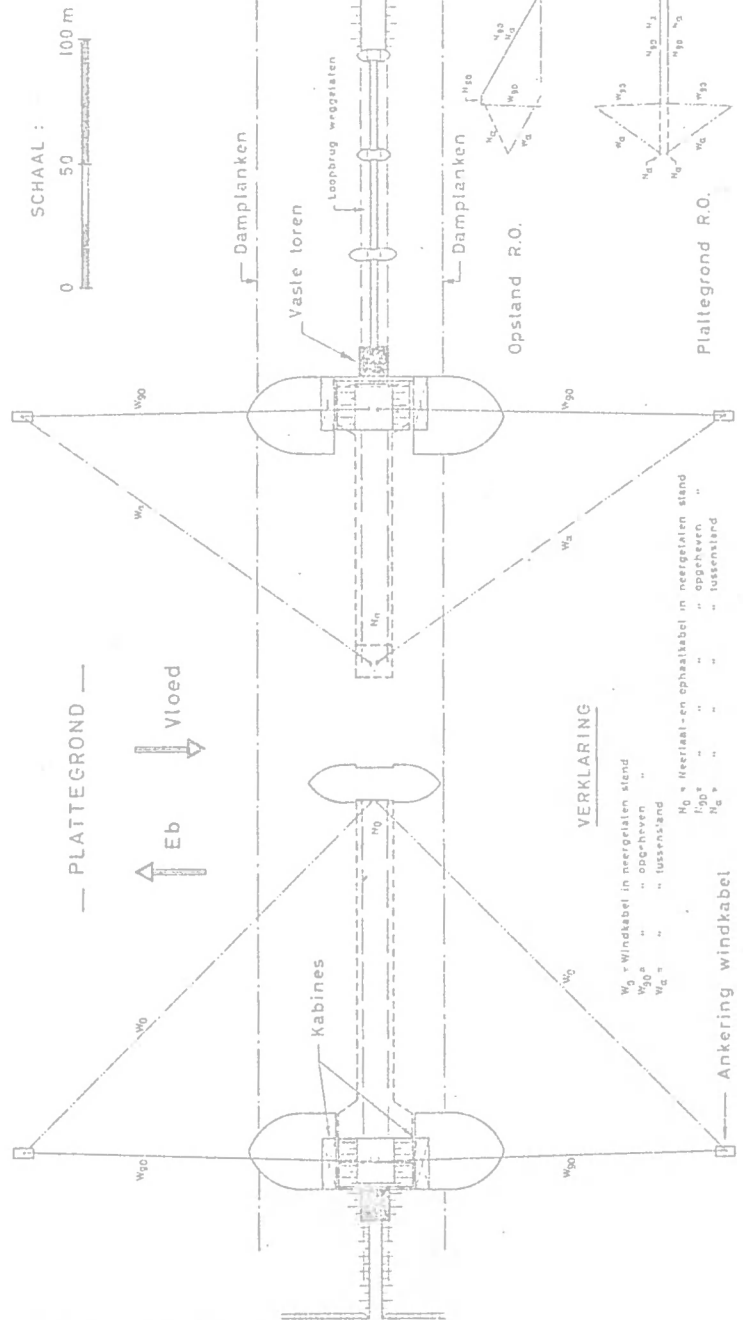
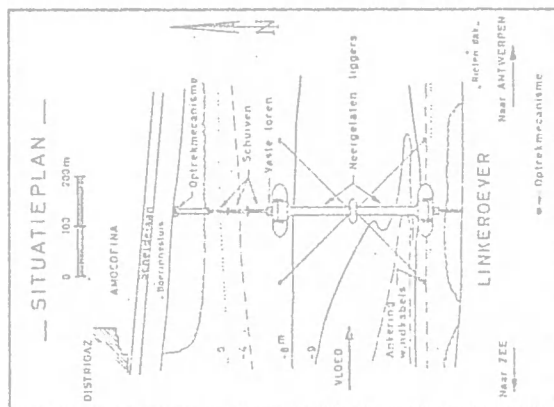


Clear span: vrije doorvaartopening.

Overgenomen uit "The Engineer" van 2 oktober 1959.
 Artikel: "The Dutch Deltaplan: the Surge Barrier."

Fig. 51

Fig. 52



VERBAND TUSSEN HET OVERGESTROOMD VOLUME EN DE
DALING VAN HW TE ANTWERPEN

Fig. 53

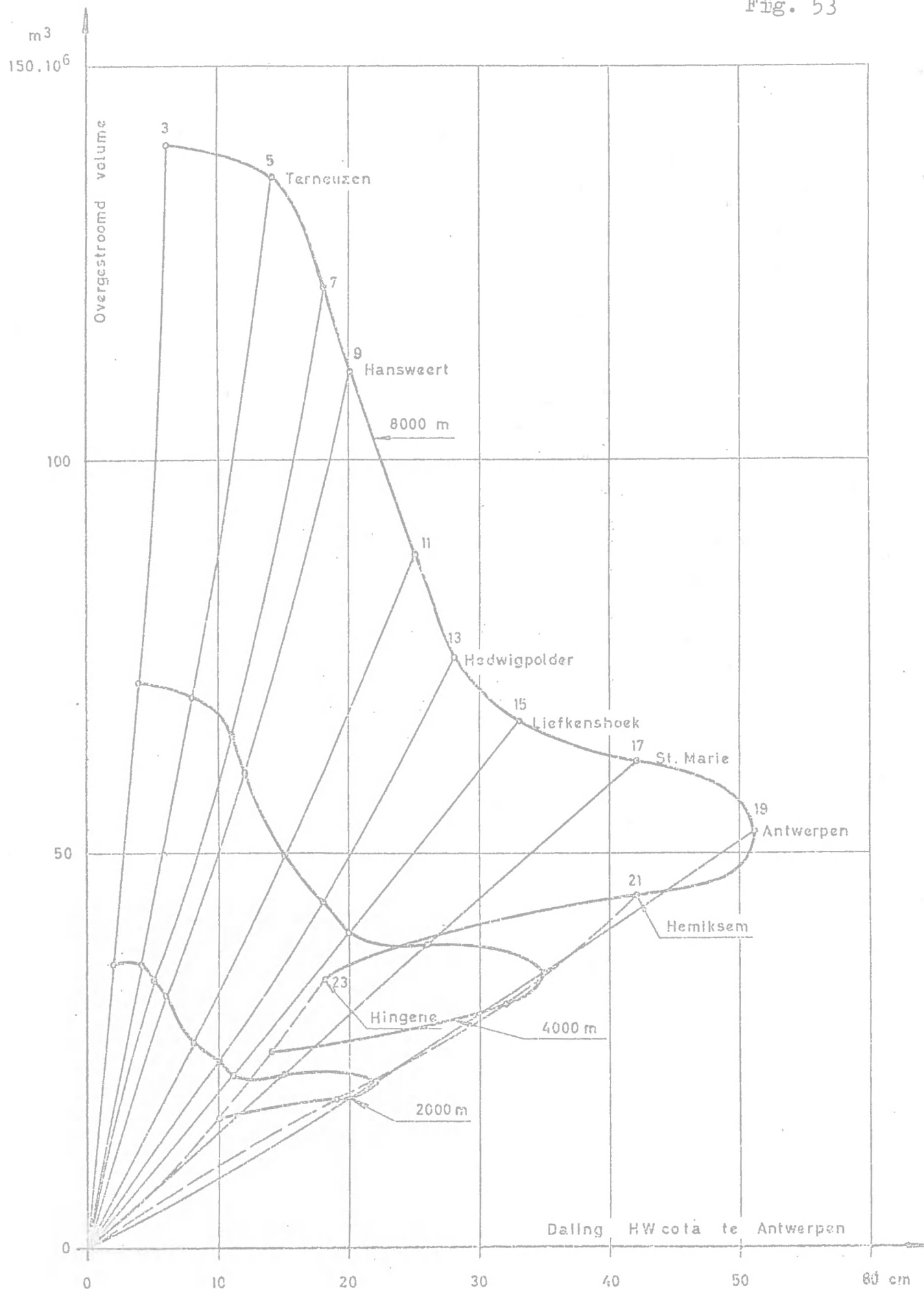


Fig. 54

INVLOED VAN DE KRUINCOTA VAN DE OVERLAAT OP HET HOOGWATERPEIL TE ANTWERPEN
VOOR EEN OVERGESTROOMD VOLUME VAN $40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$



Fig. 55

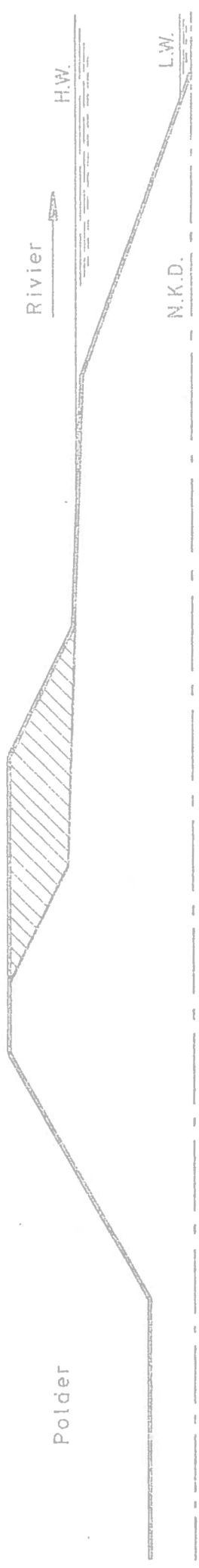


Fig. 1



Fig. 2

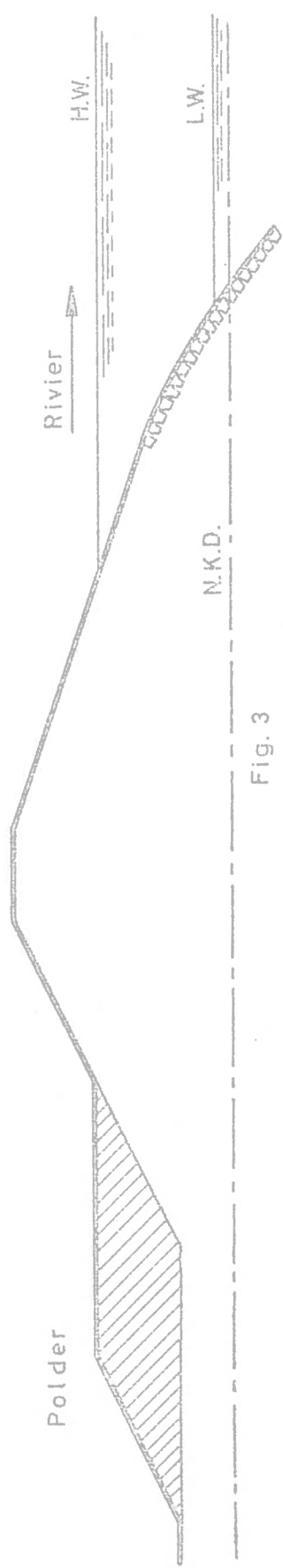


Fig. 3



SCHAAL :

REDE VOOR ANTWERPEN

ONTWERPEN TOT AANPASSING DER SCHELDEKAAIEN

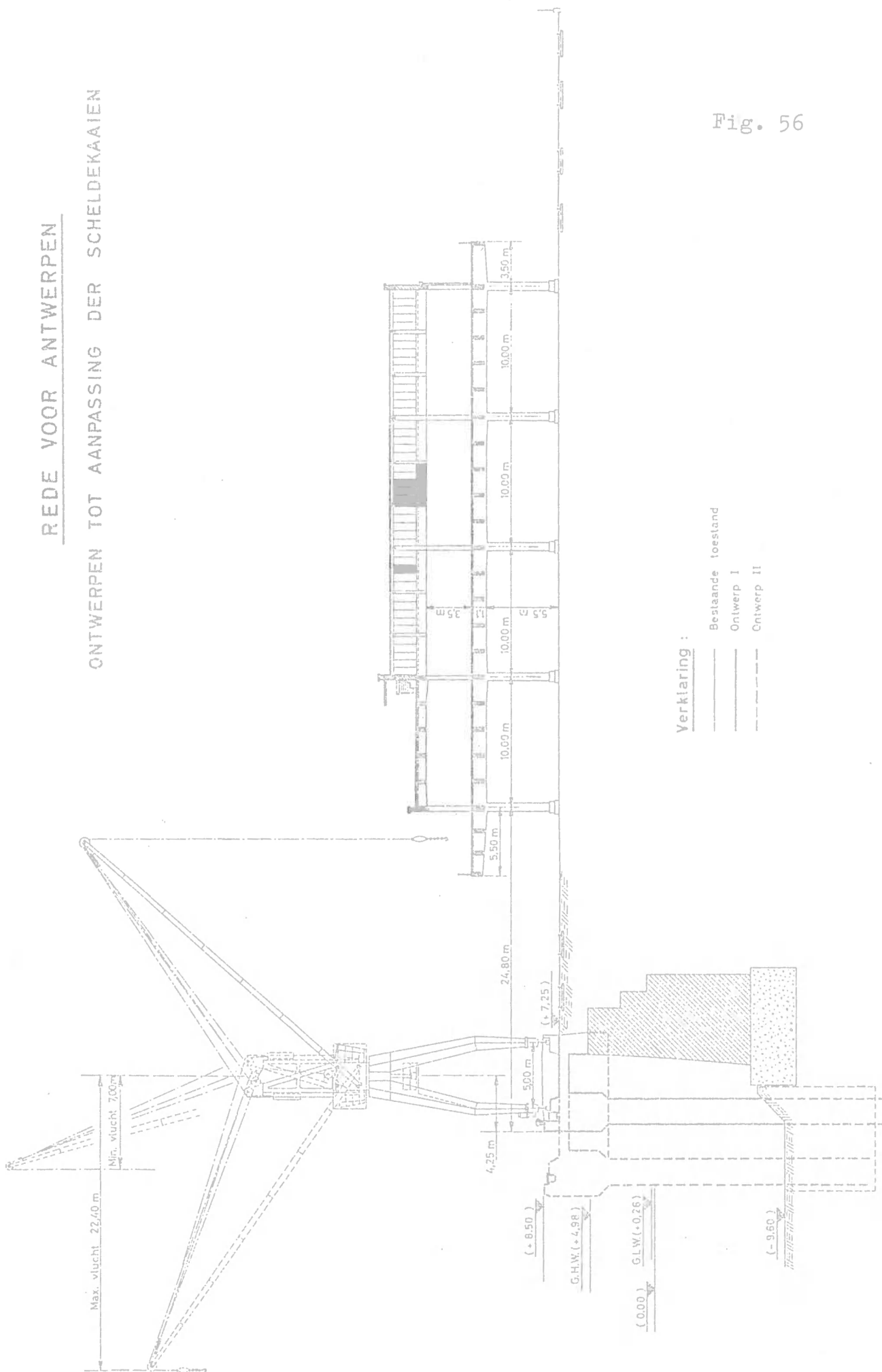
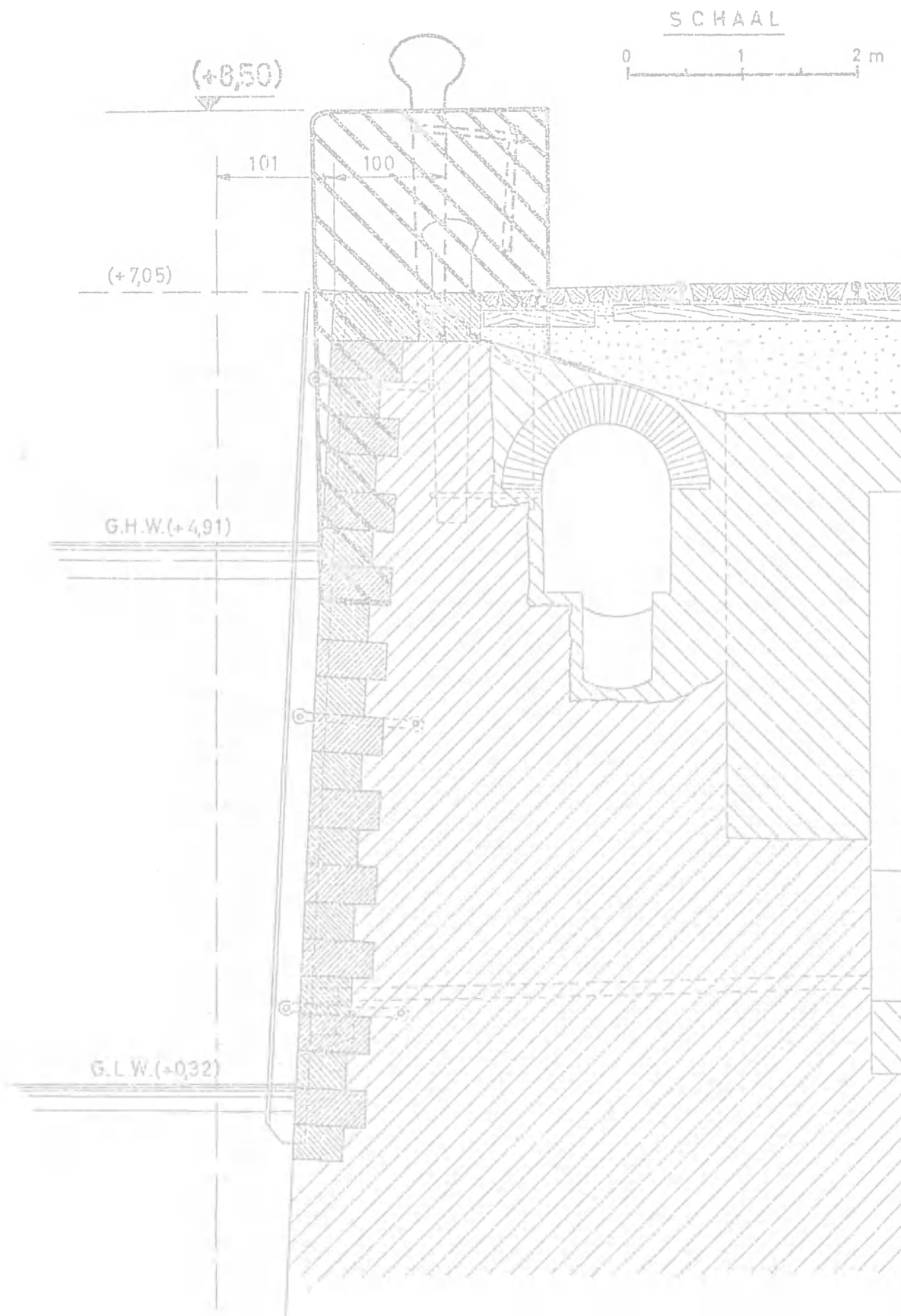


Fig. 56

REDE VOOR ANTWERPEN
VERHOGEN VAN KAAIMUUR

Fig. 57



BIBLIOGRAFIE.

=====

- 1) ALEN, J. : De overstromingen van februari 1953.
Het Loger - De natie - 15/12/1953 nr 12.
pp. 1-12
- 2) BECAN, R. : Travaux de Pijp Tabak (Bibl. Waterbouwkundig Laboratorium - Borgerhout).
- 3) BROOKS, C.E.P. en CARRUTHERS, N. : Handbook of Statistical Methods in Meteorology, London 1953.
- 4) DECLERK, R.: De stormvloed van 1 februari 1953 (Bibliotheek Waterbouwkundig Laboratorium).
- 5) GROEN, P. : Storm en Stuwning: Techn. Wetenschappelijk Tijdschrift, Jg. 22 (1953) nr. 12, pp. 259-268.
- 6) GROEN, P. : Storm en Stuwning: Techn. Wetenschappelijk Tijdschrift, Jg. 23 nr. 2 (1954)
- 7) GUILCHER, A.: Les inondations marines du 31 janvier et du 1^{er} février 1953 sur les bords de la mer du Nord. (Rev. pour l'étude des Calamités, Genève, t. 13 nr. 30-31, 1952-53 pp. 3-19).
- 8) HAVERMANS, R.: De stormvloed in de Antwerpse polders - 1 februari 1953. (Natuur- en Stedenschoon, Antwerpen - jg. 27 - 1954 nr. 2)
- 9) HAVERMANS, R.: De stormvloed van 1 februari 1953 in de Antwerpse Noorderpolders. (Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardr. Studies jg. 22 - 1953 nr 2) pp. 360-406.
- 10) HAY, R.F.M. & LAING, J. : Le raz de marée du 31 janvier, 1^{er} février 1953. The Marine Observer. April 1954, pp. 87-91. Vol XXIV.
- 11) HUITEMA, T. : Dijken.
- 12) LARUELLE, J.: Enkele beschouwingen over de stormvloed van 1 februari 1953. (Natuurwetenschappelijk Tijdschrift 37, 1955 pp. 177-188) Gent 29/2/1956.
- 13) MUNK, W.H. & ARTHUR, R.J. : Forecasting Ocean Waves in Compendium of Meteorology van T.J. Malone, Boston 1951.
- 14) MUNK, W.H. : Ocean Waves as a Meteorological tool - Comp. of Meteor.
- 15) PONCELET, L.: Aperçu des circonstances météorologiques et climatologiques de la tempête des 31 janvier et 1^{er} février 1953. (Annales des Travaux Publics de Belgique, tome LV 1954, pp. 883-926) 6^e aflevering (december).

- 16) PONCELET, L. : A propos du "Raz de marée" du 1^{er} février 1953. (Inst. Royal Mét. de Belgique - Contributions nr. 10).
- 17) POSTMA, K.R. : Storm en stormvloedprognose. (Technisch Wetenschappelijk Tijdschrift jg. 23 nr. 1 1954). pp. 1-8.
- 18) ROSSITER, J.R. : Le raz de marée de la Mer du Nord des 31 janvier et 1^{er} février 1953. Phil. Trans. Roy. Soc. Series A, Vol 246 pp. 371-400, 1954.
- 19) SCHALKWIJK, W.F. : A contribution to the study of storm surges on the Dutch coast, 1947. Mededelingen en Verhandelingen, reeks B, publikatie nr. 7 van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut te De Bilt.
- 20) SNACKEN, F. : De stormvloed van 1/2/1953 in het Land van Waas. De Melsele polder voor en na de overstroming. (Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, Gent. jg. 37, 1955 nr. 7-8). pp. 189-201.
- 21) SNEYERS, R. : La tempête et le débordement de la mer du 1^{er} février 1953. (Inst. Royal Mét. de Belgique - Contributions nr. 11).
- 22) STUVEL, H.J. : Het Deltaplan.
- 23) SVERDRUP, H.V. & MUNK, W.H. : Theoretical and empirical relations in forecasting breakers and swif. Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 27, nr IV, dec. 1946, p. 828.
- 24) SVERDRUP, H.V. & MUNK, W.H. : Empirical and theoretical relations between wind, sea and swell, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol 27, nr. VI, dec. 1946.
- 25) THORADE, H. : "Probleme der Wasserwellen" in de verzameling "Probleme der Kosmischen Physik" Vol. XIII en XIV, Hamburg 1931.
- 26) TISON, G. : Aanvullingen der Hydraulika (kursus R.U.G.)
- 27) TISON, L.J. : Cours d'Hydraulique (tome I et II) : (kursus R.U.G.)
- 28) VAN CAUWENBERGE, M. : Waterwegen (kursus R.U.G.)
- 29) VAN CAUWENBERGE, M. : Zee- en Havenbouw (kursus R.U.G.)
- 30) VAN CAUWENBERGE, M. : Stuwdammen (kursus R.U.G.)
- 31) VANDERLINDEN, E. : Chronique des événements météorologiques en Belgique jusqu'en 1834 : Mémoires de l'Académie Royale de Belgique, 1924, nr. 1325.

- 32) WILLEMS, G. : De stormvloed van 1/2/1953. (Technisch Wetenschappelijk Tijdschrift 1953. December pp. 260-262.
- 33) MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN : Stormvloed op de Schelde (uitgave : Waterbouwkundig Laboratorium).

+++++

