

DI: 17743

WATERLOOPK. AFD.
DELTADIENST

RIJKSWATERSTAAT
STUDIEDIENST
VLISSINGEN

ONTWIKKELING VAN HET ZUPE
VAN 1951 - HEDEN

NOTA
74.4

~~WATERLOOPK. AFD.~~

Di: 17743

WATERLOOPK. AFD.
DELTADIENST

RIKSWATERSTAAT
STUDIEDIENST
VLISSINGEN

ONTWIKKELING VAN HET ZUPE
VAN 1951 - HEDEN

NOTA
74.4

Rijkswaterstaat
Studiedienst Vlissingen
en
Waterloopkundige Afdeling
Deltadienst.

Nota 74.4
met 12 bijlagen
en aparte bijlagenserie
1 t/m 25^c van par. 6

Ontwikkeling van het Zijpe
van 1951 - heden.

Onderzoek ontwikkeling
van het Zijpe in
relatie tot de sinds
1962 genomen maat-
regelen.

Vlissingen, mei 1975.

INHOUD.

- par. 1 Inleiding.
- par. 2 Korte samenvatting tot 1962.
- par. 3 De ontwikkeling sinds 1962 en de gevolgen daarvan.
- par. 4 Grondmechanische aspecten en criteria.
- par. 5 Geologische aspecten; vallen en afschuivingen.
- par. 6 De invloed van de Deltawerken en Schelde-Rijnwerken op de getijbeweging in het Keeten, Mastgat en Zijpe.
- par. 7 Toetsing aan de criteria.
- par. 8 Samenvatting en conclusies.

Geraadpleegde literatuur.

Lijst van bijlagen.

par. 1 Inleiding.

Op de vergadering van de werkgroep Schouwen-Duiveland van 22 augustus 1973 is op voorstel van het Hoofd van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst ir. J.F. Agema overeengekomen, dat een nota zal worden opgesteld inzake de ontwikkeling van het Zijpe, waarin de oevers ter weerszijden van deze geul zullen worden betrokken. Na deze inleiding (par. 1) bevat de nota een korte samenvatting van de ontwikkeling van het Zijpe tot 1962 (par. 2) samengesteld door ing. M.H. Wilderom evenals par. 3 waarin aan de hand van de adviezen, die sinds 1962 door de Studiedienst Vlissingen aan het Arrondissement Goes van de Rijkswaterstaat over het Zijpe zijn uitgebracht een samenvattend verslag van de ontwikkeling na 1962 is gegeven.

Par. 4 waarin een aantal grondmechanische zaken en de criteria worden behandeld kwam tot stand na overleg in een werkgroep waarin zitting hadden: ir. J.W. Boehmer en ir. T. Boon (sectie Grondmechanica Waterloopkundige Afdeling Deltadienst), ir. W.J. v.d. Ree (Waterloopkundige Afdeling Zierikzee) en ir. W.Th.J.N.P. Bakker en ing. M.H. Wilderom, Studiedienst Vlissingen. Enige gegevens over de geologische gesteldheid en over de langs het Zijpe opgetreden ontgrondingen volgen in par. 5. De facetten, die betrekking hebben op de waterbeweging zijn behandeld door ing. H.Y. Schaap van de Waterloopkundige Afdeling Deltadienst Zierikzee, in par. 6, die als deel-nota afzonderlijk hierbij is gevoegd.

De nota wordt afgesloten met par. 7 waarin de criteria worden getoetst aan de hand van de ontworpen criteriakaart. Tenslotte volgt een samenvatting met conclusies in par. 8 terwijl bovendien een lijst van geraadpleegde bronnen en een staat van bijlagen is toegevoegd.

Volledigheidshalve zij vermeld dat de nota werd afgerond nadat een 1^e en een 2^e concept aan de leden van de werkgroep Schouwen-Duiveland was uitgereikt en de inhoud ter discussie was gesteld.

par. 2 KORTE SAMENVATTING VAN DE ONTWIKKELING TOT 1962.

In de 14^e eeuw bestond het huidige Zijpe-gebied en omgeving uit een complex van slikken en schorren met de namen Rumoirt, Nicke, Voxdal en Malland, die door een aantal geulen werden doorsneden. Bedijking en overstroming speelden beurtelings een rol van betekenis in de ontwikkeling van dit gebied. In de 15^e eeuw werden de Bruinispolder en het vroegere St. Philipsland bedijkt. Bij de stormvloed van 1530/32 ging het oude St. Philipsland door overstroming verloren.

Maar ook op dit overstromde gebied werd geschiedenis gemaakt. In 1575 presteerden de Spanjaarden het om met 1500 man onder bevel van Mondragon via de ondergelopen landen van St. Philipsland, het toen zeer ondiepe Zijpe, door te waden, Oost-Duiveland te bezetten, daarna het Dijkwater over te trekken en Zierikzee te belegeren.

Voorts werd in de geulen tussen dit schorren- en slikkengebied in 1631 de bekende zeeslag in het Slaak geleverd waarbij graaf Johan van Nassau de Spanjaarden versloeg.

In 1645 werd een deel van de geïnuundeerde landen herdijkt (Oude polder van St. Philipsland), zie bijlage 1. Een geul (het oude Zijpe) onderhield de verbinding tussen Slaak en Krabbenkreek, maar onderging het lot van vele stromen en verzandde. De westelijk van de oude geul ontstane tweederangsgeul "het Wijdtaers" ontwikkelde zich tot het tegenwoordige Zijpe. Dat Zijpe was overigens in 1705 aan de noordzijde ter hoogte van de Stoofpolder¹⁾ nog doorwaadbaar. Op de bijlage 1 is die ontwikkeling tussen 1645 en 1964 in een viertal fasen aangegeven (lit. 1). Meer oostwaarts kwam tijdelijk een nieuwe kreek tot ontwikkeling die met de naam Bruintjeskreek werd aangeduid en als nevengeul functioneerde. In 1847 was die kreek zover verland dat ze kon worden afgedamd voor de bedijking van de Anna Jacoba- en Kramerspolder. Vanaf die tijd vormden het Zijpe in het westen en het Slaak in het oosten de twee verbindingen van de zuidelijke met de noordelijke deltawateren. In 1846 maakten o.a. de stoomboten, die tussen Rotterdam en Antwerpen voeren, gebruik van het Slaak, maar enkele jaren later was men al bezig met plannen voor afdamming. Het Slaak was toen overigens reeds ver achteruitgegaan, zodat in 1858 een vaste verbinding (slikdam of gronddam) tussen Brabant en St. Philipsland werd gelegd. Die dam gaf vele moeilijkheden; een definitieve oplossing kwam eerst toen in 1884 de tegenwoordige Slaakdam werd gelegd.

¹⁾ (bijlage 2)

De waterbeweging tussen zuid en noord had dus feitelijk reeds vanaf 1858 alleen plaats via de dwarsverbinding het Zijpe, uiteraard beïnvloed door de getijbeweging in de noordelijk daarvan gelegen zeearmen.

In de vorige eeuw is het Zijpe dan ook van een betrekkelijk ondiepe geul ontwikkeld tot een hoofdgeul van betekenis, die in hoofdzaak tegen de oever van Bruinisse leunt; over ongeveer 2 km is daar een schaaroever ontstaan. Zolang de invloed van de uitvoering der Deltawerken niet merkbaar was kon deze oever zich met de bestaande verdediging in stand houden. Die situatie was tot 1961/62 zo dat zich voor de noordoosthoek van de Stoofpolder een trog van ong. 30 m diep had gevormd.¹⁾ Deze trog, die overigens reeds in de periode 1954/59 was verdiept van ong. 25 m tot ong. 31 m onder N.A.P. werd door een drempel op N.A.P.-ong. 15 m (liggende voor de ingang van de Vluchthaven Zijpe) gescheiden van een veel grotere trog, die in de loop der jaren was ontstaan tussen de tramweghavens aan het Zijpe en aan de Anna Jacobapolder. Laatstgenoemde trog reikte tot N.A.P.-ong. 30 m (maar verdiepte in 1965/67 tot N.A.P.-ong. 40 m). Verder zuidwestwaarts loopt die trog over ongeveer 1,5 km uit in een drempelgebied met een diepte van 10 à 12,5 m onder N.A.P. Dat drempelgebied vormt de scheiding met het Mastgat en het Keeten, beide geulen, die tegen de Thoolse oevers aanleunen.

De verdediging van de oevers.

Langs de Duivelandse kant is de oever langs de ca 2 km lange schaaldijk aaneengesloten verdedigd. Toen in 1959 de aanleg van de Grevelingendam aanstaande was werd een onderzoek ingesteld naar de gesteldheid van die oeverwerken. In het kort samengevat luiden de bevindingen toen als volgt:

- a. De oeververdediging langs de n.o.hoek van de Stoofpolder bestaat uit een bijna 400 m lange bezinking, aangebracht in 1897-1916 bestort met ca 1 ton afval en gewone stortsteen per m². De gesteldheid werd redelijk goed geacht maar bij een sterkere stroomaanval werd gerekend op rivierwaartse uitbreiding der verdediging.

- b. -

1) (Bijlage 2)

- b. Tussen de hoek van de Stoofpolder en de Tramweghaven is de oever over ong. 900 m lengte (behoudens enkele voorzieningen aan de koppen der havendammen van de Vluchthaven) voorzien van een verdediging bestaande uit: een 10-tal in 1825/38 aangelegde rijshoofden (in 1886/88 verlaagd) en een hoogstens 40 m brede laagwater-randverdediging, bestaande uit een lichte puinbestorting aangebracht in 1825/30 en die in 1890/97 is bijgestort met puin en afval van stortsteen, variërend van 0,6 ton tot 1,25 ton /m².
- c. Voor de Rijkstramweghaven (aangelegd in 1900 is een verdediging aanwezig overeenkomstig de onder b genoemde werken, doch die in 1901/03 met belangrijke zink- en bestortingswerken zijn uitgebreid.
- d. Ten zuiden van de Tramweghaven bevindt zich nog ca 800 m verdediging, grotendeels aangebracht in de vorige eeuw, doch in 1902, 1924, 1928 en 1951 uitgebreid (in dat laatste jaar voor de kop van de Zijpsche Bout).
Totaal werd over 2 km oeverlengte bijna 19 ha oeverwerk aangelegd waarvan de helft met zinkwerk; totaal werd ongeveer 184 000 ton bestorting aangebracht.

Verder zuidwestwaarts is overal enig voorland aanwezig ter breedte van minstens 80 m, plaatselijk verdedigd met enkele (niet veel betekende) rijshoofdjes en een simpel oeverwerkje aangelegd in 1882. Voorts vormt de Blinde Dam bij dijkpaal 80 de laatste jaren een hinderlijk vooruitstekend punt in de rivier. De IJwaardendam, die tussen de dijken 85 en 86 ligt heeft, waterloopkundig gezien, weinig of geen invloed.

De oever aan de zijde van St. Philipsland is (behalve aan de veerhaven) van de zeevering gescheiden door een vrij brede (ca 300 m) strook schorren en slikken, die aan de noordoostzijde over enkele honderden meters lengte is voorzien van een schorrandverdediging.

Toen in 1899 de Tramweghaven Anna Jacobapolder werd aangelegd werden ter verdediging vóór de havendammen oeverwerken aangebracht waarmee in feite het Zijpe plaatselijk een symmetrisch geulprofiel verkreeg.

De conclusie van het in 1959 ingestelde onderzoek was dat de toen aanwezige werken in het algemeen juist voldoende werden geacht om de bestaande stroomaanval te keren, maar dat bij versterkte stroomaanval in het Zijpe aanvullende verdedigingen langs de Duivelandse oever dienden te worden aangebracht. Overeenkomstig deze uitspraak werd door het toenmalige hoofd van de Studiedienst Vlissingen geadviseerd aan het hoofd van het arrondissement Goes van de Rijkswaterstaat bij brief nr. 2618 d.d. 18 december 1959.

In een bespreking op 26 juni 1961 tussen het arrondissement Goes van de Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst" werd overeengekomen, aanvullende metingen te verrichten (parallel lopend met een onderzoek betreffende het noordelijk sluitgat van de Grevelingendam) om te kunnen aantonen dat de ebsnelheden dicht onder de Duivelandse oever van het Zijpe tengevolge van de afsluiting van de Grevelingen zouden toenemen. De reeds eerder getrokken conclusies (toeneming ebsnelheden) werden door de resultaten van die metingen gestaafd.

De capaciteit en bevaarbaarheid van het Noorder Slaak had rond 1956-1957 een hoogtepunt bereikt, mede door zandwinning en door het verder westwaarts trekken van de Plaat van Oude Tonge (lit.4). Door de afsluiting van de zuidelijke Grevelingenmond werd een einde gemaakt aan de natuurlijke ontwikkeling in dit gebied.

In het Zijpe waren de gevolgen al spoedig merkbaar zoals uit de rapporten en adviezen blijkt, die door de Studiedienst Vlissingen aan het arrondissement Goes van de Rijkswaterstaat zijn verstrekt over de peilingen, die sinds 1962 periodiek in het Zijpe worden verricht. In de volgende paragraaf zal van die rapporten een samenvattend verslag worden gegeven waaruit onder meer de ontwikkeling van het Zijpe in het jongste decennium moge blijken.

par. 3 De ontwikkeling sinds 1962 en de gevolgen daarvan.

Om de ontwikkeling langs de oevers van het Zijpe overzichtelijk te kunnen volgen is het gebied onderverdeeld in drie oevervakken te weten:

- a. De verdedigde oever aan Duivelandse zijde.
- b. De vrijwel onverdedigde oever aan Duivelandse zijde.
- c. De oever langs St. Philipsland met veerhaven Anna Jacobapolder.

Van elk dezer vakken zal hieronder de ontwikkeling na 1962 worden behandeld.

a. De verdedigde oever aan Duivelandse zijde.

De omvang en samenstelling van de bestaande verdediging werd reeds in par. 2 uiteengezet.

Met het oog op de te verwachten ontwikkeling in het Zijpe allereerst als gevolg van de aanleg van de Grevelingendam en later nogmaals van de aanleg van de Volkerakdam werd in 1961/62 de oeververdediging langs de oever van Bruinisse belangrijk versterkt, zoals op bijlage 2 is aangegeven. Over een lengte van ong. 2150 m werd ter breedte variërend van 20-75 m een grindbestorting van gemiddeld 0,50 m dik aangebracht; totaal werd ong. 90.000 ton grind, afm. 5-60 cm gestort.

Nadat in mei 1962 de zuidelijke geul van de Grevelingen was gesloten en in december 1964 ook de noordelijke geul werd geblokkeerd bleek al spoedig uit de resultaten van de lodingen dat aanzienlijke veranderingen in de bodemligging van het Zijpe aan de gang waren. De ebstroom uit het Noorderslaak was duidelijk sterker dan vóór 1962 in het Zijpe geconcentreerd.

Bij de peilingen van 1963 bleek reeds dat de drempel gelegen voor de mond van de Vluchthaven tussen de ongeveer 30 m diepe trog aan de noordoosthoek van de Stoofpolder en de ongeveer 38 m diepe trog voor de Tramweghaven zich sterk had verlaagd. Deze verlaging zette zich bij de peilingen van 1964/65 en 1966 voort. Bovendien werd in februari 1965

geconstateerd dat vanuit het noorden beginnend, eerst een gebied met flinke uitschuringen tot maximaal 5 m op ruime afstand rivierwaarts van de grindbestorting was ontstaan. In zuidwaartse richting gaande namen de ontgrondingen af tot 0 à 1 m voor de ingang van de Vluchthaven om daarna weer toe te nemen tot maximaal 3 m. Vervolgens was er een overgang tot een strook waar aanzandingen van 3 à 4 m voorkwamen aansluitend aan het oevergedeelte dichtbij de mond van de Tramweghaven Zijpe waar geen noemenswaardige veranderingen werden geconstateerd.

Voor de mond van de Tramweghaven werden afwisselend flinke verdiepingen en aanzandingen aangetroffen terwijl ten zuiden daarvan aanzandingen van 2 à 3 m voorkwamen.

Op de grindbestortingen en op de hogerop gelegen verdediging werden geen spectaculaire veranderingen geconstateerd.

Om mogelijke verrassingen te voorkomen en naar aanleiding van een aantal verdiepingen, die bij de periodieke peilingen van september 1966 werden waargenomen werd in december 1966/januari 1967 een duikonderzoek ingesteld. Vooral werd toen aandacht besteed aan de gesteldheid van het grindstort. De resultaten waren van dien aard dat vastgesteld kon worden dat het grindstort een goede oeverbescherming biedt en nergens aantasting van betekenis vertoonde. De geconstateerde verdiepingen hadden nl. in hoofdzaak plaats gehad rivierwaarts van het grindstort. Enige verzakking van de teen van het grindstort werd niet alarmerend geacht.

Bij de peilingen van 1966 en 1967 werd steeds meer duidelijk dat de drempel tussen de bijna 40 m diepe trog voor de Tramweghaven en de ca 30 m diepe put van de noordoosthoek van de Stoofpolder sterk verlaagde. (in 1968 bedroeg de grootste verlaging 121 dm). Overigens werden afwisselend lichte aanzandingen en lichte verdiepingen waargenomen, waarbij, zonder nog verontrustend te zijn, een neiging tot lichte erosie overheerste.

Van de zijde van de Deltadienst werd verwacht dat na afsluiting van het Volkerak in 1969 nog meer ongunstige

veranderingen in het stroombeeld zouden ontstaan neerkomende op een geringe vergroting van de max. ebsnelheid, die echter bij een aanzienlijk lagere waterstand zou optreden dan vóór 1969 het geval was, zodat nogmaals een versterkte aanval op de Duivelandse oever waarschijnlijk werd geacht. Daarom werd in maart 1968 door de werkgroep Schouwen-Duiveland besloten tot uitbreiding van de oeververdediging.

Die uitbreiding werd in 1969 aangebracht zoals eveneens op bijlage 2 is aangegeven. Over een lengte van ca 1600 m werd het bestaande grindstort (of deels de oude oeververdediging) verbreed met een strook van 30 à 35 m. Totaal werd 61.500 ton grind gestort.

Na 1969 kwamen afwisselend aanzandingen en verdiepingen voor. Het grindstort bleek echter vrijwel onaangetast behoudens op enkele plaatsen met enige nazakking aan de teen van de bestorting. Gezien de zeer vlakke bodemligging is dit niet verontrustend. Voor wat het verdedigde gedeelte van de Duivelandse oever betreft kan vanaf 1971 zelfs worden gesproken van een op de nieuwe waterloopkundige situatie ingespeelde gesteldheid van oevertalud en geulbodem, die voldoende weerstand kan bieden tegen de stroomaanval.

In 1972 en 1973 vonden afwisselend aanzandingen en verdiepingen plaats. De drempelverlaging voor de Mond van de Vluchthaven is min of meer gestabiliseerd zonder dat gevaarlijke hellingen van het oevertalud zijn ontstaan. Waar langs het verdedigd oevergedeelte wel verdiepingen plaats vonden was, dit voldoende ver uit het oevertalud zodat geen gevaar bestaat voor aantasting van de waterkering.

In de bijgaande bliksemgrafieken (bijlagen 3 t/m 6) is het verloop vanaf 1962 t/m 1973 voor elke raai aangegeven. Uit de daarbij getekende dwarsprofielen blijkt de erosie of aanzanding.

b. De vrijwel onverdedigde oever aan Duivelandse zijde.

Vanaf bijna 1 km ten zuiden van de mond van de Tramweghaven is de oever van Bruinisse zuidwaarts vrijwel onverdedigd. Van dat gebied zijn op de bijlagen 7 en 8 dwarsprofielen getekend van de raaien 32 t/m 45. De dwarsprofielen, die tot 1969 een gunstig beeld van de oever gaven (flauwe oevertaluds en ondiepe geul) zijn in de periode 1969/1971 na de sluiting van het Volkerak in 1969 belangrijk (5 à 10m) uitgeschuurd aan de landzijde en op de bodem van de geul. Opmerkelijk bij enkele van deze profielen (raai 32 t/m 35) is dat het boventalud thans onder flauwer helling gelegen is dan in 1969 ondanks verdieping van de geul: De oorzaak daarvan is dat de uitschuring van de geul gepaard ging met aanzanding van het boventalud. Uit één der doorlodingsprofielen van het waterschap (gewone raai 36) blijkt echter (bijlage 9) dat het oevergedeelte tussen 7 m en 20 m onder N.A.P. is uitgeschuurd en dat het oevertalud van een gemiddelde helling van 1:20 onder een helling van 1:7 à 1:10 is komen te liggen. In de raaien 39 t/m 45 heeft het boventalud overigens steilere hellingen dan 1:4 en 1:3.

Inmiddels is uit de peilingen van voorjaar 1973 gebleken dat de geulbodem enige verondieping vertoonde, terwijl de peilingen van het waterschap van november 1973 en februari 1974 lichte erosie in enkele van bovengenoemde raaien opleverde. Mede gelet op de grondgesteldheid (zie par. 5) en de nog voldoende veilige afstand uit de hoogwaterkering waarop zich de lichte erosie afspeelt is de toekomst nog niet veront-rustend.

Wel is dit het geval voor de raaien 44 en 45 waar de geul dieper wordt dichtbij de turbulentieput voor de Blinde Dam. Daarom was de werkgroep Schouwen-Duiveland unaniem van mening om in die raaien het oevertalud te beschermen. De uitvoering daarvan werd in de loop van dit voorjaar gerealiseerd.

Bij de peilingen van 10 juli 1973 (van het waterschap) werd in raai 46 (as Blinde Dam) een verdieping van enkele tientallen dm waargenomen op het landeinde van het onderwatergedeelte van deze dam. Omdat het vermoeden bestond dat een

deel van de dam in de naastgelegen put was gezakt werd op 21 augustus 1973 een duikonderzoek ingesteld.

Uit het rapport van de duiker (bijlage 10) valt te concluderen dat inderdaad over minstens 20 m lengte een stuk van de dam in de naastgelegen put is geschoven (overigens op dezelfde plaats waar in 1865 een afschuiving is opgetreden).

Zolang geen gevaar bestaat voor achterloopsheid van het resterende gedeelte van de dam ware de situatie voorlopig te laten zo die thans is. Het oeverwerk vormt nl. een hinderlijk vooruitstekend bolwerk in de rivier, dat de turbulentie sterk bevordert. Natuurlijke verlaging van de dam kan de turbulentie alleen maar verminderen. (In nota 72.5 -lit.7- van de Studiedienst Vlissingen wordt zelfs gepleit voor verlaging van de dam).

Ten zuidwesten van de Blinde Dam begint zich de laatste tijd eveneens uitschuring aan het oevertalud af te tekenen. De ligging van de diepste punten van de geul is daar:

in raai 49 - N.A.P.-150 dm - op 290 m uit kruin zeedijk.

in raai 60 - N.A.P.-115 dm - op 500 m uit kruin zeedijk.

Tussen de raaien 49 en 60 (afstand min. 1 km) is het verloop gelijkmatig. Weliswaar ligt de L.W.-lijn in de raaien 49 t/m 54 ongeveer aan de teen van de zeedijk maar vanaf de L.W.-lijn tot de 10 m dieptelijn heeft het oevertalud een gemiddelde helling van 1 : 7 in raai 49 tot minstens 1 : 20 in raai 60. Dat zijn alleszins verantwoorde hellingen mede gelet op de stabiele grondslag (geen gevaar voor zettingsvloeiingen) in dit gebied.

c. De oever langs St. Philipsland met veerhaven Anna Jacobapolder.

De oever langs St. Philipsland is, behalve bij de veerhaven Anna Jacobapolder, onverdedigd. Ten noorden van de veerhaven ligt langs de Anna Jacobapolder een voorland van enige honderden meters breed dat met een ongeveer 100 m breed schor

op de zeedijk aansluit. Ten zuiden van de veerhaven ligt tegen de Willempolder eveneens een breed voorland als uitloper van de ten zuidwesten van St. Philipsland gelegen zandplaat Dwars in de Weg. Die zandplaat is reeds enkele decennia met het voorland verheeld en vertoont de laatste jaren enige begroeiing van Spartinagrass. Voor de Willempolder is het voorland vrijwel onbegroeid en doorsneden van enige slenken; de minste breedte bedraagt ongeveer 250 m en wel op het gedeelte aansluitend aan de Zuidhavendam van de veerhaven.

Omdat een dergelijk breed voorland een gunstige situatie schept van de ligging van de stroomgeul t.o.v. de hoogwaterkering werden aan de Anna Jacobapolder langs het Zijpe tot en met 1958 alleen strandmetingen verricht. Toen echter verwacht werd dat tengevolge van de Deltawerken (Grevelingendam en Volkerakdam) bepaalde veranderingen in het stroombeeld van het Zijpe zouden optreden werden de strand- (of slik-) metingen langs de Anna Jacobapolder vervangen door oeverlodingen. In 1959 werd om te beginnen aan de noordwesthoek van St. Philipsland voor het eerst door het waterschap gelood; in 1962/65 werden de peilingen uitgebreid tot de gehele Zijpse oever van de Anna Jacobapolder. Uit de sindsdien verrichte peilingen blijkt dat in de periode 1966 - 1969 ten noorden van de veerhaven langs het oevertalud flinke erosie plaats had. Uit stroommetingen is gebleken (volgens destijds gedane mededelingen van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst) dat zich langs het betreffende oevergedeelte bij een "lange neer" voordeed waarin zich in tegenstelling tot normale "neer" gevallen een vrij sterke stroom kan bewegen. Die stroombeweging veroorzaakte kennelijk een behoorlijke uitschuring, die gepaard ging met afbrokkelingen van de onverdedigde oever. Naar de mening destijds geuit door wijlen dr. J.J. Dronkers toentertijd Hoofd van de Waterloopkundige Afdeling zou die sterke neerstream zich met name kunnen voordoen na een flinke opzet.

De gevolgen waren een geleidelijke uitschuring van het onderwatertalud over een paar honderd meter oeverlengte, gepaard gaande met afbrokkeling van de oeverrand. Direct ten noorden

van de Noordhavendam manifesteerde deze stroomaanval zich door het optreden van een tweetal ontgrondingen. Ook bij de oeverpeilingen van 1972 en 1973 werd in de raaien direct ten noorden van de veerhaven stevige verdieping gepeild waaraan echter in 1971 een stevige aanzanding was voorafgegaan, zodat de feitelijke achteruitgang wel fors maar toch minder spectaculair is als de jongste uitkomsten (1973) doen vermoeden.

Aan de Philipslandse zijde van het Zijpe is de veerhaven aan de Anna Jacobapolder momenteel een vooruitstekend bolwerk in de rivier. De veerhaven is aangelegd in 1899. Daarvoor had de L.W.-lijn en het oevertalud op dat gedeelte een regelmatig verloop en was de oever enkel doorsneden met de suatiegeul van de Anna Jacobapolder. De in 1899 uitgebouwde havendammen hebben een lengte van ongeveer 250 m. De koppen van die dammen werden in de jaren 1899/1903 met zink- en stortwerk verdedigd zodat het oevertalud plaatselijk werd gefixeerd.

De hoofdgeul tussen de veerhavens aan de linkeroever en de rechteroever van het Zijpe ontwikkelde zich daarna tot een vrijwel **symmetrisch** profiel en paste zich aan bij de gewijzigde situatie waarmee opnieuw een zeker evenwicht was bereikt. De geul was wel verdiept van ongeveer 35 m tot ongeveer 40 m. Het dwarsprofiel is op bijlage 2 aangegeven.

In de tweede helft van de zestiger jaren bleek het evenwicht weer te zijn verstoord. In 1965 werd aan de noordzijde van de noordelijke havendam stevige erosie geconstateerd. Na duikonderzoek kwam men tot de conclusie dat verdere erosie gepaard zou kunnen gaan met ontgroning of afbrokkeling dat gevaar op zou kunnen leveren voor de havendam. Daarom werd de verdediging in 1966 uitgebreid met zinkwerk en bestorting. Dat deze maatregelen tijdig zijn genomen zou kunnen blijken uit het feit dat in december 1967 aan de noordzijde van die dam een uitzonderlijke ontgroning werd geregistreerd waarbij verdiepingen optraden van maximum 102 dm. Later bleek dat aan de oostflank een zinkstuk was weggeschoven en het naastliggende stuk was verzakt of afgescheurd.

In april/augustus 1968 en september 1968 werd resp. aan de noordelijke en aan de zuidelijke havendam opnieuw een ontgronding geconstateerd. De maximum verdieping bedroeg 134 dm. Door deze plotselinge inscharingen aan weerszijden van de havendammen kwamen die dammen met oeverwerken nog meer geprononceerd in de rivier te liggen. Het bleek daarom gewenst maatregelen te treffen, om verdere achteruitgang tegen te gaan. In 1968/69 werd aan de noordzijde de bestorting aanmerkelijk uitgebreid en werd aan de zuidzijde zink- en stortwerk aangebracht. Sindsdien is tot heden geen achteruitgang van betekenis geconstateerd zodat mag worden aangenomen dat de ontwikkeling opnieuw is gestabiliseerd.

par. 4 GRONDMECHANISCHE ASPECTEN EN CRITERIA.

De stabiliteit van een dijklichaam is afhankelijk van de gedragingen van de ondergrond en van de stabiliteit van het oevertalud. Het belangrijkste grondmechanische aspect in de ontwikkeling van de oevers is het optreden van stabiliteitsverlies door taludversteiling.

Over het algemeen kan een oever, waaronder wordt verstaan het talud aan de landzijde van de geul vanaf de L.W.-lijn tot de geulbodem, op verschillende manieren versteilen.

- a. door een gestage uitschuring van het oevertalud.
- b. door verdieping van de geulbodem.
- c. door aanzanding op de bovenoever.

Bij samenhangende gronden -klei, veen en vastgepakte zanden- kan dat gepaard gaan met afschuiving of afbrokkeling van het oevertalud. Bij onsamenhangende zandgronden -losgepakte zanden- kan dat gepaard gaan met wegvloeiing van het oevertalud. Betreffende de theorie, die bestaat betreffende dit wegvloeien, wordt verwezen naar lit. 5. In deze literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen zandregens¹⁾, afkalvingsvloeiingen²⁾ en zettingsvloeiingen³⁾. Vooral deze laatste vorm van stabiliteitsverlies kan een snelle achteruitgang van de oever tot gevolg hebben. De vloeiing, oeverval genaamd, kan leiden tot stabiliteitsverlies

- van de -

1) wegvloeien van zanden na opzuiging van water.

2) wegvloeien van losgepakt zand door aaneenschakeling van afkalvingen.

3) massal wegvloeien van zeer losgepakt zand

van de hoogwaterkering; in dat geval spreekt men van een dijkval. In eerste instantie komt de samenhang van de ondergrond en daarmee de gevoeligheid voor stabiliteitsverlies goed tot uiting in de beschrijving van de geologische opbouw.

Verband tussen pakking en geologische opbouw.

De opbouw van de ondergrond, zoals die in Zeeland wordt gevonden is in drie soorten te onderscheiden:

- a. losgepakte zanden, in Zeeland vrijwel altijd bestaande uit een pakket jong holoceen zeezand;
- b. vastgepakte zanden, meestal bestaande uit pleistocene of tertiaire zeezanden en vaak ook uit oud holocene wadzanden;
- c. samenhangende gronden waaronder kunnen worden gerangschikt, holocene klei- en veenlagen en pleistocene en tertiaire gronden.

Schadefactoren.

Als gezegd zijn de onder a genoemde gronden gevoelig voor het optreden van vloeïngen. De omvang van die vloeïngen en de daardoor veroorzaakte schade is afhankelijk van de volgende factoren:

- a. de basisdiepte van de voor vallen gevoelige grondlaag.
- b. de berging (diepte) van de voorliggende geul.
- c. de breedte van het voorland.
- d. remmende werking van diverse factoren (dijken, hoofden en oeververdediging).

De onder a genoemde basisdiepte is vrijwel overal bekend uit geologisch onderzoek.

De onder b genoemde diepte van de voorliggende geul kan een belangrijke rol spelen t.a.v. de wegvloeiende massa. Hoe dieper de geul, des te meer berging dus aanwezig is, des te meer zullen de zettingsvloeïngen zich tot hun maximale omvang (die weer afhankelijk is van de basisdiepte van het jonge zeezand) kunnen uitbreiden.

De onder d. genoemde remmende werking kan zowel de breedte als de inscharing van de vloeijing beperken, maar kan wel gepaard gaan met beschadiging van de desbetreffende oeverwerken.

Naast de schadefactoren moet men rekening houden met een aantal optredingsfactoren. De betekenis van deze factoren voor de oevers langs het Zijpe wordt besproken in par. 7.

Optredingsfactoren.

De factoren welke het begin van optreden van een vloeijing bepalen zijn moeilijker te achterhalen. Men kan hierbij uitgaan van een kritische taludhelling en van een kritische taludhoogte. Beide zijn afhankelijk van:

- a. de wrijvingseigenschappen (de hoek van inwendige wrijving φ en de cohesie c).
- b. de hydrologie van de oever.
- c. de spanningstoestand in de oever.

Voor de kritische taludhelling waarbij het zandmateriaal kan gaan vloeien is uit ervaring moeilijk een waarde te bepalen. Zoals gezegd hangt deze samen met de hoogte waarover deze helling aanwezig is. Simplistisch kan men stellen dat de kritische taludhelling afhangt van de wrijvingseigenschappen, van een kritische taludhoogte waarover de helling aanwezig is en van het grondwaterverhang. Uit metingen van hoeken van inwendige wrijving (φ waarde) volgen kritische hellingen van $1 : 1\frac{1}{2}$ à $1 : 2$, afhankelijk van de pakking en van de mate van verontreiniging of cohesie van het zand.

Rivierwaarts gerichte grondwaterverhangen welke sterk afhankelijk zijn van de hydrologie van de oever kunnen de kritische helling $1 : 1\frac{1}{2}$ à $1 : 2$ flauwer maken tot $1 : 2$ à $1 : 3$. De hydrologie van de oever wordt sterk bepaald door de accumulatiecapaciteit van de vooroever. Is die capaciteit in de oever

groot dan kunnen bij extreem laag water, na extreme getijverschillen of in natte jaargetijden, grote uittredende verhangen ontstaan en kan de kritische helling zelfs tot 1 : 4 afnemen. Beneden laagwater aanwezige klei- en veenlagen kunnen de uittredende verhangen bij laagwater zodanig verkleinen dat de kritieke helling weer steiler wordt tot 1 : 1 toe. Uit de ruim 100 jaar lang geregistreerde vallen zou zijn te concluderen dat zettingsvloeiingen inderdaad kunnen optreden bij hellingen die variëren tussen 1 : 1 en 1 : 4; het merendeel trad op tussen 1 : 2 en 1 : 3.

Plaatselijke aanwezige wellen kunnen de kritieke helling nog verder verflauwen. De spanningstoestand van de oever kan vooral bij snelle recente aanzandingen ongunstig zijn, ongunstiger dan bij uitschuringen in het jonge zeezand. Zij kan de kritische taludhoogte kleiner maken.

De erosie van de oever kan soms mede afhankelijk zijn van de breedte van de geul. Bij een toegespitste geul (theoretische bodembreedte = 0) zal de erosie zich sterker op het oevertalud kunnen doen gelden dan bij een geul met brede bodem als oever en bodem beide uit losgepakt materiaal bestaan.

Criteria in het algemeen.

In gemeenschappelijk overleg tussen de Studiedienst Vlis-singen en de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst is voorgesteld om in verband met de oever- en dijkbewaking ten aanzien van het oever- en dijkvallenprobleem onderscheid te maken in:

- optredingscriteria en
- schadecriteria.

Optredingscriteria.

Optredingscriteria dienen te worden vastgesteld voor:

1. de geologische opbouw van de ondergrond.
2. de oeververdediging (voldoende kwaliteit en afmetingen).
3. hoogte en helling van het steilste taludgedeelte.
4. de stroomaanval.
5. grondmechanische factoren (pakkingsdichtheid, doorlatendheid en spanningstoestand).

Voorlopige optredingscriteria kunnen zijn:

- ad. 1 aanwezigheid van jong holocene zeezanden.
- ad. 2 ontbreken van oeververdediging van voldoende kwaliteit en afmeting. De volgende verdedigingen worden onder normale omstandigheden als adequaat beschouwd (mits deze in goede toestand verkeren):
 - a klassieke zinkwerken met 1 ton/m² bestorting.
 - b Modern zinkwerk als blokkenmatten etc.
 - c Bestorting van steenmateriaal (slakken, stortsteen, etc.) van minimaal 1 ton/m².
- ad. 3 een maximale taludhelling van 1 : 2 over meer dan 5 meter hoogte of flauwer naarmate de horizontale uittredende verhangen ter plaatse groter worden. Onder bepaalde omstandigheden zou echter ook een helling van 1 : 3 kritiek kunnen zijn.
- ad. 4 meer dan 1 m/sec stroomaanval in de geulas of grote turbulentie.
- ad. 5 een pakking welke beneden de kritieke dichtheid ligt.

Het zal overigens duidelijk zijn dat men bij het hanteren van bovenstaande criteria en met inachtneming van de plaatselijke details, voor elk oevervak tot een afzonderlijke oplossing kan komen. In eerste instantie zullen deze criteria daarom per oevervak aan de vallenstatistiek getoetst moeten worden, waar-

na grondmechanisch onderzoek tot verdere verscherping kan leiden.

Schadecriteria.

Is één of meer van bovengenoemde factoren kritiek, dan kunnen de schadecriteria worden nagegaan.

In afnemende volgorde van belangrijkheid moet worden gerekend met de volgende schadeposten:

1. doorbreken van een dijk, waarachter geen inlaag aanwezig is. Hierbij zullen plaatselijke details als inwonertal en economische waarde van het betreffende poldergebied factoren van grote betekenis kunnen vormen;
2. idem, indien wél een inlaag aanwezig is;
3. schade aan het dijkbeloop;
4. schade aan de oeververdediging;
5. schade aan de oever, waardoor een toekomstige verdediging in een hydraulisch ongunstige situatie moet worden aangebracht.

Bij het opstellen van de criteriakaart, die in paragraaf 7 wordt behandeld, is speciaal getracht, schade behorend tot de categorieën 1 t/m 3 visueel aantoonbaar te maken.

Daarbij is van het criterium uitgegaan, dat de breedte van het voorland minimaal αD_e moet zijn, waarin: α de cotangens van de kritieke helling en D_e de "valdiepte" is.

Betreffende α kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

Bij aanwezigheid van losgepakte zanden (jong zeezand) wordt voor de kritieke helling 1 : 15 aangehouden. Zijn echter meer resistente grondlagen aanwezig zoals veen en kleilagen en/of een pakket van oude wadzanden, dan heeft de ervaring geleerd dat een veilige marge wordt verkregen met aanname van een kritieke helling van 1 : 3 na het optreden van de ontgroning. Zettingsvloeiingen zijn in dergelijke gronden tot op heden nog niet geconstateerd.

Bij losgepakte zanden is de valdiepte D_e de minste van de volgende twee diepten:

1. de diepte van het jonge zeezand
of, ingeval de berging maatgevend is:
2. de diepteligging van het snijpunt van het talud vóór en het talud na de val.

Deze diepte kan benaderd worden door de halve oorspronkelijke geuldiepte, als de volgende aannamen van toepassing zijn:

- a bergingskegel = ontgrondingsschelp.
- b verliezen zijn te verwaarlozen.
- c beperking van de berging door de tegenoverliggende geuloever kan worden verwaarloosd.

Bij vastgepakte zanden of samenhangende gronden wordt de mogelijke diepte van de ontgroning niet bepaald door een basisdiepte zoals bij jong zeezand.

Voor zover volgt uit de tot op heden onderzochte profielen kan het ontgrondingsverschijnsel in dergelijke gevallen op de volgende wijze worden geschematiseerd. Het talud van de afschuiving bestaat uit een talud van het vastgepakte materiaal, hetgeen globaal een helling van 1 : 2 kan vertonen en een talud van gedeponeerd materiaal waarvan men kan aannemen dat het tot een helling van 1 : 15 kan uitvloeien. De diepte van de "knik", die zich in werkelijkheid meer als een overgangskromming manifesteert, ligt op $1/2$ à $2/3$ van de geuldiepte en wordt ontgrondingsdiepte genoemd. Verwaarloost men het wegvoeren van materiaal, dan leert een eenvoudige inhoudsberekening¹⁾ dat de inscharing bij benadering kan worden gevonden door vanuit de ontgrondingsdiepte een lijn onder een helling van 1 : 3 à 1 : $3\frac{1}{2}$ te trekken.

Afhankelijk van het geulprofiel zal dan ook van $1/2$ of $2/3$ van de geuldiepte moeten worden uitgegaan. De criteriakaart in de onderhavige nota is gebaseerd op de halve geuldiepte, mede in verband met het feit dat de conclusies betreffende de onderhavige oevervakken niet zouden veranderen als van $2/3$ van de ontgrondingsdiepte was uitgegaan.

- Discussie. -

1) zie appendix

Discussie.

De aandacht wordt gevestigd op de relativiteit van de voornoemde criteria. Getracht is zo goed mogelijk de theoretische en de ervaringskennis in deze criteria te vangen, om op deze wijze te geraken tot een gelijkwaardige beoordeling van alle waterkeringen. De toetsing van alle waterkeringen aan deze criteria zal echter als terugkoppeling ook een toetsing van deze criteria geven: het zal in de toekomst blijken of genoemde criteria moeten worden veranderd of scherper moeten worden gesteld. De universaliteit van de criteria is bovendien tegelijkertijd kracht en zwakte: de criteria geven aan welke gebieden in de gevarenozône liggen. Deze gebieden zullen daarna toch in detail nader moeten worden bestudeerd. Punten hierbij zijn bijvoorbeeld de zwaarte van de verdediging in relatie tot de stroomaanval en de taludhelling (in aanmerking moet dan worden genomen dat een bestorting op zich geen samenhang bezit), de benadering van de oever in een gestrekt lengteprofiel i.p.v. de werkelijke situatie met een sterk geknikt dijkverloop, de achteruitgang (vooruitgang) van ieder van de dieptelijnen in de laatste 100 jaar, kans op schade aan de flanken van de verdediging, nauwkeuriger bergingsberekeningen etc.

Teneinde toetsing van de Schouwse oever aan de bovengenoemde criteria mogelijk te maken, zullen nu dus achtereenvolgens moeten worden beschouwd:

1. De geologie van de oever en de opgetreden vallen en afschuivingen; hierover handelt paragraaf 5.
2. De waterbeweging, te behandelen in paragraaf 6.
Paragraaf 7 geeft daarna de toetsing.

par. 5 GEOLOGISCHE ASPECTEN, VALLEN EN AFSCHUIVINGEN.

In verband met het mogelijk optreden van zettingsvloeiingen en mede voor het bepalen van het te verwachten tempo van uitschuring van oevertalud en geulbodem is het van belang op de hoogte te zijn met de samenstelling van de ondergrond. De eerste serie grondboringen is verricht in 1873/77 in het kader van een algemeen oeveronderzoek in Zeeland. Daarvan zijn een 5-tal boringen uitgevoerd langs de Duivelandse oever van het Zijpe tot een diepte van 33 à 38 m onder N.A.P. In deze 5 boringen bleek op enkele m onder N.A.P. het oppervlakteveen, de z.g. laag Holland veen, aanwezig te zijn. Dat betekent dat de ondergrond bestaat uit oud-holoceen en pleistoceen materiaal waarvan in de loop der jaren gebleken is dat het niet gevoelig is voor het optreden van zettingsvloeiingen.

Uit de jongste geologische onderzoeken waaruit de nieuwe Geologische kaart van Schouwen Duiveland (1970) is samengesteld blijkt dat vrijwel de gehele oostkust van Duiveland uit die gronden is opgebouwd. Wel zijn op het noordelijk gedeelte een tweetal ondiepe insnijdingen en een ondiepe insnijding ten zuiden van de Blinde Dam overgebleven, die zijn opgevuld met afzettingen van Duinkerke III^b rustend op Afzettingen van Calais. Geheel aan de zuidzijde van de Bruinissepolder is de oorspronkelijke bodem dieper uitgeschuurd geweest en is de afzetting van Calais -de laag onder het Holland veen- verdwenen. De daar afgezette laag Duinkerke III^b (jong zeezand) is dan ook enkele m dikker.

Vallen en afschuivingen.

Statistisch kan worden vastgesteld dat de ontgrondingen, die zich in de loop der jaren aan de Zijpse oevers hebben voorgedaan, aan de Duivelandse zijde beperkt bleven tot een achttal overwegend kleine afschuivingen waarvan de eerste in 1803 en de jongste in 1948 werd geregistreerd. In 1803 werd daarbij een inlaag van de Stoofpolder geïnundeerd. De verplaatste grondmassa bedroeg in de meeste gevallen slechts enkele duizenden m³. Bij een tweetal ontgrondingen (juli 1854 en voorjaar 1882) bedroeg

de verplaatste hoeveelheid ong. 14 000 à 15 000 m³, die in de omgeving van de Zijpsche bout in de rivier verdwenen.

Uit de schaarse gegevens, die van bovengenoemde ontgroningen (behalve die van 1915) bekend zijn, en op bijlage 11 zijn vermeld valt te constateren dat:

- a. de omvang daarvan beperkt was (inscharing 5 à 24 m);
- b. de omtrek geen schelpvorm vertoonde;
- c. de steilste helling vóór de ontgroning varieerde van 1 : 1³ tot 1 : 2;
- d. de steilste helling na de ontgroning varieerde van 1 : 0⁶ tot 1 : 1;
- e. het grootste diepteverschil varieerde tussen 5 en 12 m;
- f. de grootste diepte na de ontgroning daarin ong. 14 m bedroeg.

De ontgroning, die op 28 april 1915 ten noorden van Bruinisse langs de bocht van St. Jacob werd ontdekt had plaats in los gepakt en jong afgezet materiaal en draagt het karakter van een zettingsvloeiing. De verplaatste massa bedroeg globaal 30 000 m³. Er was een breed voorland, de val voltrok zich onderzees op 150 m uit de havendam van de gemeentehaven Bruinisse en op 80 m uit de L.W.rand.

Uit één en ander blijkt dat, grondmechanisch gezien, langs de Duivelandse oever van het Zijpe geen sprake is van vloeiingsverschijnselen, maar dat het stabiliteitsverlies alleen gepaard ging met afschuivingen.

Men had te maken met gestage uitschuring van oevertalud en geulbodem, een erosie, die uiteraard ook in vastgepakte gronden tot stabiliteitsverlies door afschuivingen kan leiden. De achteruitgang van een dergelijke oever kan tot staan gebracht en voldoende stabiel gemaakt worden door het aanbrengen van een afdoende verdediging op het oevertalud. Dat is in de vorige eeuw over ongeveer 2 km lengte langs het noordelijk gedeelte van de Duivelandse oever gebeurd. Wel kan daarbij opgemerkt worden dat men destijds het voorland, alvorens men tot oeververdediging overging, eerst vrijwel geheel door de natuur liet éroderen. Zoals in par. 2 is

vermeld werd de verdediging in 1962/69 uitgebreid. Op het zuidelijk gedeelte dat zo goed als onverdedigd is, is vrijwel overal nog een voldoende breedte van het voorland aanwezig. Waar die breedte aan de krappe kant is zoals bij de Blinde Dam is in het voorjaar van 1974 enige uitbreiding aan de verdediging gegeven.

par. 6 DE INVLOED VAN DE DELTAWERKEN EN SCHELDE-RIJN-
WERKEN OP DE GETIJBEWEGING IN HET KEETEN, MAST-
GAT EN ZIJPE.

Deze paragraaf, omvattende 15 pagina's tekst met een aparte bijlagenserie 1 t/m 25^c samengesteld door de Waterloopkundige afdeling van de Deltadienst te Zierikzee is wegens zijn omvangrijkheid als aparte documentatie afzonderlijk achter de bijlagen van deze nota gevoegd.

par. 7 TOETSING AAN DE CRITERIA.

Op bijlage 12 is getracht de diverse van belang zijnde gegevens in één kaart weer te geven en hierbij tevens aan te duiden welke resultaten de toetsing aan de diverse optredings- en schadecriteria oplevert.

De bovenste figuur (A) geeft het geologisch lengteprofiel. De plaats van het lengteprofiel is in de situatieschets rechts onderaan de bijlage weergegeven.

Figuur B toont een soort "boven aanzicht". Ten opzichte van de teen van de hoogwaterkering is uitgezet: de breedte van het voorland tot de L.W.-lijn (getrokken lijn) en, indien bezinking of bestorting aanwezig is, de afstand van resp. de bovenzijde en de teen hiervan (streeplijn). Tevens is plaatselijk nog de diepteligging van de teen van de bezinking (bestorting) in m beneden N.A.P. aangegeven.

Figuur C geeft een verticale doorsnede door de geul. De diepte van de geul t.o.v. N.A.P. is met een getrokken lijn aangegeven. Tevens geeft een - - . . lijn de mogelijke diepte van de ontgronding aan die voor de oevers langs het Zijpe op de halve of tweederde van de geuldiepte (afhankelijk van het geultype) kan worden benaderd, vanwege het ontbreken van het jonge zeezand (zie de schadecriteria).

De "valdiepte-lijn" kan ook in bovenaanzicht worden weergegeven; dit is gebeurd in fig. B. Hierin geeft de - - . . lijn dus weer: de afstand uit de teen van de hoogwaterkering van het punt van het talud, dat op de ontgrondingsdiepte D_e ligt. Vanuit dit punt is een "lijn van inscharing" geconstrueerd (-.-. lijn). Deze ligt $D_e \cotg \alpha = 3 D_e$ landwaarts van de "valdiepte-lijn".

Als deze lijn de nullijn snijdt is dit een indicatie, dat de teen van de dijk schade zou kunnen ondervinden bij een eventuele ontgronding. Een zware zwarte band markeert de dijkteen in fig. B op de plaatsen, waar niet aan het gestelde schade-criterium wordt voldaan. Een zware zwarte streeplijn geeft de gebieden aan, waar ternauwernood aan dit schade-criterium wordt voldaan.

Fig. D toont een "hellingenkaart in vooraanzicht". De taluds zijn verdeeld in de klassen 1 : 2 en steiler, 1 : 2 tot 1 : 4, 1 : 4 tot 1 : 8 en flauwer dan 1 : 8 (zie de aanduiding in de toelichting rechts op bijlage 12). Gedeelten, waar over meer dan 5 m hoogte een helling steiler dan 1 : 2 voorkwam zijn in de figuur met een zwarte band geaccentueerd.

Daaronder is in fig. E, een vallenstatistiek vermeld. Per polder of district zijn grootte en aantal van de opgetreden vallen of afschuivingen weergegeven.

Hier weer onder, fig. F, staan de gemiddelde eb- en vloed­snelheden in de geul weergegeven. De snelheden betreffen een zeer globale aanduiding van de sterkte van de stroom langs de zuidkust van Schouwen, maar overschrijden zowel bij eb als bij vloed het gestelde criterium van 1 m/sec.

Het surplus boven 1 m/sec is in figuur F met een arcering geaccentueerd.

Tenslotte staat onderaan bijlage 12 nog de evaluatie van de gegevens.

par. 8 SAMENVATTING EN CONCLUSIES.

1. Het Zijpe heeft zich sinds de eerste afdamming van het Slaak (1858) ontwikkeld van een bescheiden nevengeul tot een belangrijke hoofdgeul.

2. De Duivelandse oever is daardoor over ongeveer 2 km lengte schaaroever geworden, die van lieverlede van een aaneengesloten verdediging is voorzien. Topografisch hadden belangrijke wijzigingen plaats met aanleg van de tramweghavens in 1899/1900 en met aanleg van de Vluchthaven in 1931.

3. Tussen de beide tramweghavens is een vrijwel symmetrisch geulprofiel ontstaan met een grootste diepte van ruim 40 m onder N.A.P. De taluds van die trog zijn verdedigd. De tramweghaven Anna Jacobapolder vormt een vooruitstekend bolwerk in het Zijpe. Als gevolg van een drietal ontgrondingen (1967 en 1969) werd de verdediging van de havendammen uitgebreid.

4. Door de uitvoering der Deltawerken (Grevelingendam en Volkerakdam) waren in 1962/69 reeds extra maatregelen nodig om de te verwachten zwaardere stroomaanval te kunnen weerstaan. Aan de Duivelandse zijde werd daarom de bestaande verdediging belangrijk uitgebreid met grindbestortingen, die zoals tot heden is gebleken aan de verwachtingen hebben voldaan.

5. De samenstelling van de ondergrond bestaat aan weerszijden van het Zijpe uit oud holoceen en pleistoceen materiaal. Uit praktijkervaring is gebleken dat deze gronden niet gevoelig zijn voor uitvloeiing. Wel kunnen zich afschuivingen of afbrokkelingen, die in de regel beperkt van omvang blijven, voordoen.

6. De waterbeweging in het Zijpe blijkt na 1951 belangrijke wijzigingen te hebben ondergaan als gevolg van de aanleg van de Grevelingendam, daarna na sluiting van de Volkerakdam en in mindere mate bij aanleg van de dam door de Krabbenkreek.

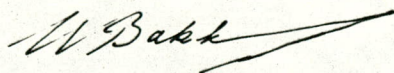
	Zijpe		Keeten		Zijpe		Keeten		Zijpe/Keeten
	max. eb m/sec	max. vl. m/sec	max. eb m/sec	max. vl. m/sec	HW stand cm.	LW stand cm.	HW tijd- stip min.	LW tijd- stip min.	kenterings- tijd- stippen (min.)
vóór Gr.dam 1951 - 1964	V_o	V_o	V_o	V_o	S_o	S_o	T_o	T_o	T_o
na Gr.dam 1964 - 1969	V_o+ 50%	V_o+ 10%	V_o+ 20%	V_o+ 10%	S_o-4	S_o+5	T_o+22	T_o+4	T_o-20
na Volk.dam 1969 - 1972	V_o+ 60%	V_o- 10%	V_o+ 60%	$V_o+5%$	S_o+23	S_o-15	T_o+34	T_o+24	T_o-60
na Krab.dam 1972- heden	V_o+ 60%	$V_o-5%$	V_o+ 60%	V_o	S_o+25	S_o-10	T_o+34	T_o+24	T_o-60

7. Door toetsing van bovenstaande gegevens aan de in par. 4 genoemde (voorlopige) criteria en met inachtneming van de plaatselijke situatie zoals breedte van het voorland en aanwezige oeververdediging kan gesteld worden dat de oevers van het Zijpe onder de hedendaagse omstandigheden van een voldoende verdediging zijn voorzien. Al naar gelang de ontwikkeling zich zal voordoen is het duidelijk dat toetsing van eventueel gewijzigde omstandigheden aan de criteria noodzakelijk blijft.

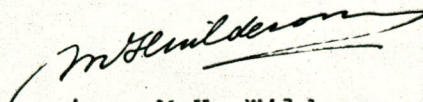
Gezien:

Het Hoofd van de Studiedienst
Vlissingen,

De technisch hoofdamtenaar
1^e kl. van de Rijkswaterstaat,



ir. W.Th.J.N.P. Bakker



ing. M.H. Wilderom

Vlissingen, mei 1975

APPENDIX:

In onderstaande figuur staat schematisch aangegeven:

- 1^e het oorspronkelijke profiel A B C D; het talud B C ligt onder een helling 1 : β ; de gulddiepte -de verticale afstand tussen A B en C D- is h.
- 2^e het afgeschoven talud A E D lopend onder een helling 1 : 2 wat betreft het bovengedeelte en 1:15 voorwat betreft het beneden-gedeelte. De knik E is aangenomen op een hoogte $1/3$ h boven de bodem.

In verband met de continuïteit van het zand zal het oppervlak A B C F gelijk moeten zijn aan oppervlak A E D F waarbij A de bovengrens van het afgeschoven talud aangeeft. Stel de afstand A B = κ , dan geldt:

$$\text{opp. A E D F} = \text{opp. A G F} + \text{opp. I E D} - \text{opp. I E G}.$$

$$\text{opp. A E D F} = h^2 + \frac{5}{6}h^2 - \frac{1}{9}h^2 = 1 \frac{13}{18} h^2$$

(De zwaartelijns ligt op $1 \frac{13}{18} h$ van lijn A F).

$$\text{Oppervlakte A B C F} = \kappa \times h + \frac{1}{2} \beta h^2$$

$$1 \frac{13}{18} h^2 = \kappa \times h + \frac{1}{2} \beta h^2$$

$$1 \frac{13}{18} h = \kappa + \frac{1}{2} \beta h; \kappa = (1 \frac{13}{18} - \frac{1}{2} \beta)h.$$

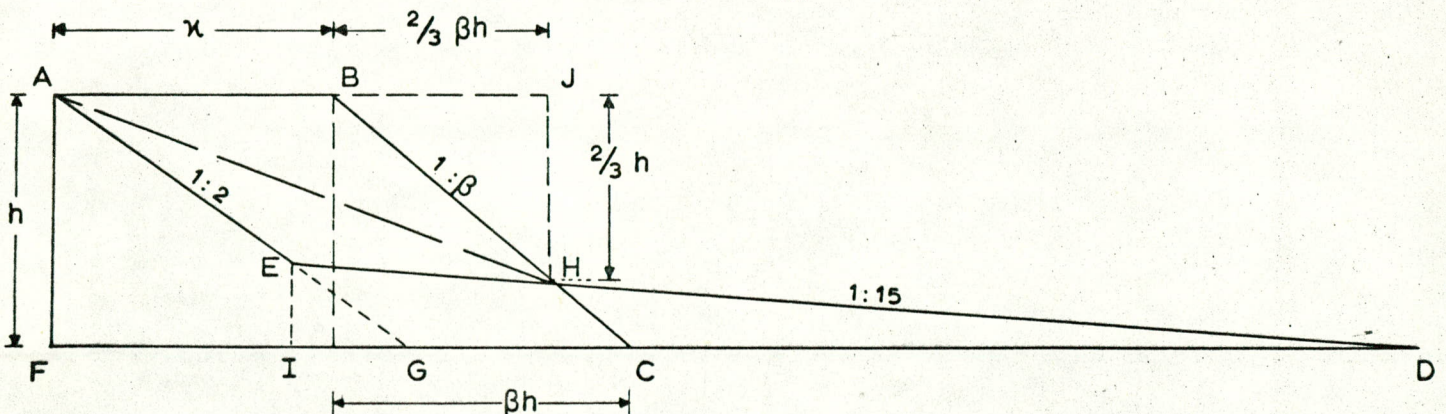
Neemt men bij benadering aan, dat het "scharnierpunt" H op een diepte $2/3$ h ligt, dan wordt de helling A H

$$\frac{HJ}{AJ} = \frac{2/3 h}{(\kappa + \frac{2}{3} \beta h)} = \frac{3}{2} \times \frac{\kappa}{h} + \beta = \frac{31}{12} + \frac{1}{2} \beta$$

Hierbij wordt gevonden:

$$\text{Voor } \beta = 2 \text{ (dus helling 1 : 2) } \frac{HJ}{AJ} = 1 : 3 \frac{1}{12}$$

$$\text{Voor } \beta = 3 \text{ (dus helling 1 : 3) } \frac{HJ}{AJ} = 1 : 3 \frac{1}{3}.$$



Lijst van Geraadpleegde literatuur - bij nota 74.4

1. Ing. M.H. Wilderom, Tussen Afsluitdammen en Deltadijken, dl II - M'burg 1964.
2. ir. H. Ferguson, Oevers langs Keeten, Mastgat en Zijpe (nota 53.1 Studiedienst Vlissingen).
3. M.B.G. Hogerwaard; De oeververdediging in Zeeland, sedert 1860 - 8^e stuk, De oever van Schouwen met Duiveland.
4. Rijkswaterstaat, Dir. Zeeland, Arr. Goes. Nota inzake de te treffen voorzieningen aan de oeververdediging en de tramweghaven langs het Zijpe (met bijlagen grondmechanica en geologie), -1961-.
5. Driemaandelijkse Berichten Deltawerken nr. 68, mei 1964.
6. M.H. Wilderom, Onderzoek "Zoetersbout". Rijkswaterstaat Studiedienst Vlissingen, nota 71.2.
7. M.H. Wilderom, Onderzoek "Blinde Dam". Rijkswaterstaat Studiedienst Vlissingen, nota 72.5.
8. H. Mouthaan, Nota nr. 71-900 (H 673 Z) Rijkswaterstaat Deltadienst, Waterloopkundige Afdeling, Zierikzee 1971.
9. Prof. F.F.F.E. van Rummelen. De Geologische kaart van Nederland, Blad Schouwen-Duiveland, Haarlem 1970.

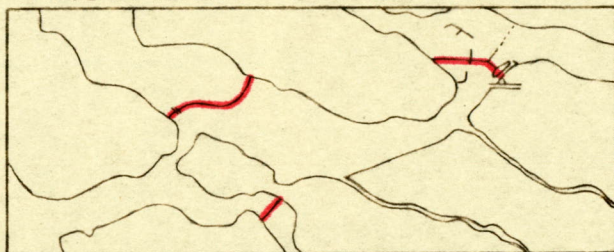
LIJST VAN BIJLAGEN - nota 74.4.

Bijlage- nr.	Omschrijving	for- maat	Stamboek nr.
1	Ontwikkeling Zijpe 1645-1964	A2	74.269
2	Situatie Zijpe 1971	A3	74.185
3	Oevergrafieken westoever Zijpe, blad 1	A3	73.1045
4	Oevergrafieken westoever Zijpe, blad 2	A3	73.1046
5	Oevergrafieken westoever Zijpe, blad 3	A3	73.1047
6	Oevergrafieken westoever Zijpe, blad 4	A3	73.1048
7	Dwarsprofielen raai 32-38	A2	73.653
8	Dwarsprofielen raai 39-45	A2	73.782
9	Doorpeilraai 4 - 1967/72	A1	74.177
10	Duikrapport code 32.02.D.73		
11	Staat met gegevens ontgrondingen Zijpe	A2	74.270
12.	Criteriakaart	C2	74.1037

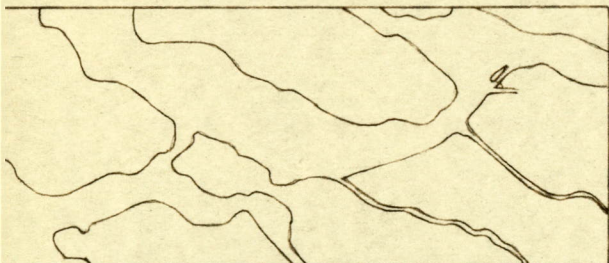
Par. 6 is met een afzonderlijke bij-
lagenserie 1 t/m 25^c bijgevoegd.

PARAGRAAF 6

ALGEMEEN + SAMENVATTING



TOESTAND A



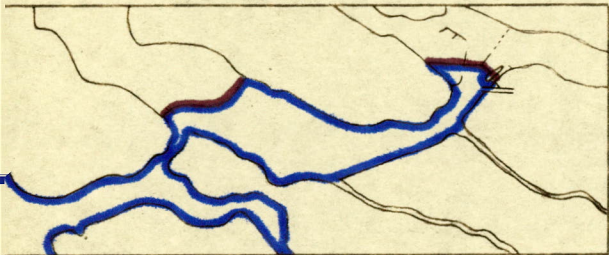
GEEN AFSLUITINGEN

TOESTAND B



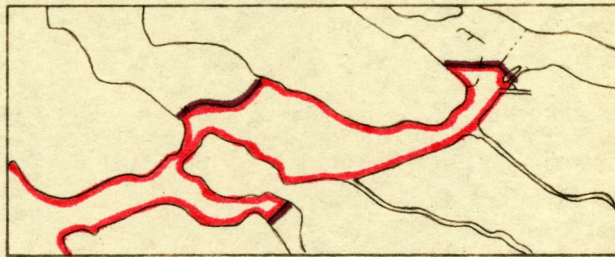
AFGESLOTEN GREVELINGEN

TOESTAND C



AFGESLOTEN VOLKERAK

TOESTAND D



AFGESLOTEN KRABBENKREEK

De invloed van de Deltawerken en Schelde-Rijn werken op de getijbeweging in het Keeten, Mastgat en Zijpe.

1. Inleiding.

De uitvoering van de Deltawerken en de Schelde-Rijn werken heeft tot gevolg gehad dat zowel de horizontale-als de verticale getijbeweging in het rivierentraject Keeten, Mastgat, Zijpe aanzienlijk is gewijzigd.

Met betrekking tot deze werken zullen in de onderhavige nota de veranderingen in de getijbeweging bij de volgende 4 situaties worden onderzocht: Zie ook bijlage nr. 1.

A. Toestand vóór afsluiting Grevelingen (1956-1964)

B. Toestand met afgesloten Grevelingen en open Haringvliet, Volkerak, Krabbekreek en Oosterschelde (1964-1969)

C. Toestand met afgesloten Grevelingen en Volkerak en open Krabbekreek en Oosterschelde (1969-1972)

D. Toestand met afgesloten Grevelingen, Volkerak en Krabbekreek en open Oosterschelde (1972 - heden)

Na deze inleiding bevat deze nota een overzicht van de uitgevoerde metingen (par. 2), waarna de methode van het bewerken der metingen wordt behandeld (par. 3).

De resultaten van de metingen zijn voor de verschillende toestanden beschreven in par. 4, waarna deze nota wordt afgesloten met par. 5 waarin een samenvatting wordt gegeven.

Tenslotte is een opgave van geraadpleegde literatuur en een lijst van bijlagen bijgevoegd.

2. De waarnemingen.

In 1956, bij de aanvang van haar werkzaamheden kon de waterloopkundige afdeling bureau Zierikzee reeds dadelijk beschikken over de getijbladen verzameld aan de registrerende peilschalen te Bruinisse en Stavenisse.

Met deze waarnemingsstations bleek het mogelijk bij de toestanden A t/m B een voldoende nauwkeurig beeld te vormen van de verticale getijverschijnselen in het Keeten, Mastgat, Zijpe.

Heel anders was het gesteld met de horizontale getijbeweging. De kennis van de getijstromen in het betrokken gebied was in 1956 nog gebrekkig. Wel waren vroeger hier en daar nauwkeurige stroommetingen verricht, doch de resultaten van deze metingen waren geheel ontoereikend om maar enigszins een beeld te vormen van de stroomverdeling in genoemd rivierengebied. Het was dus noodzakelijk op grote schaal nieuwe stroommetingen uit te voeren, die als grondslag moesten dienen voor waterloopkundige onderzoekingen.

Na de instelling van de Deltadienst in 1956 werden in april 1956 en april 1958 een zestal grote simultane stroommetingen uitgevoerd in het ingewikkelde geulengebied rond de plaat van Oude Tonge. Hiervoor werden per meetdag omstreeks 25 meetvaartuigen ingezet en werden aan 6 peilschalen de waterstanden visueel waargenomen.

Voorts werden in het Keeten, Mastgat, Zijpe de volgende simultane stroommetingen uitgevoerd:

Toestand	raai 2 Zijpe	raai 4 Zijpe	raai 6 Zijpe	raai 7 Zijpe	raai 8 Zijpe	raai 2.34 Keeten
A						
aantal meetdagen	3	36	6	9	4	2
aantal meetpunten	9	38	14	25	15	8
B						
aantal meetdagen	2	77	2	10	5	4
aantal meetpunten	12	149	16	40	28	10
C						
aantal meetdagen	-	12	-	-	-	2
aantal meetpunten	-	29	-	-	-	2
D						
aantal meetdagen	-	11	-	1	1	2
aantal meetpunten	-	17	-	1	1	10

Alle bovengenoemde metingen werden uitgevoerd gedurende een volledige getijperiode (13 uren) met behulp van Ott-stroomsnelheidsmeters en stroomrichtingsmeters type Jacobsen. Naast de zogenaamde puntmetingen werden diverse drijvermetingen in het betrokken rivierengebied uitgevoerd.

Een serie stroommetingen die geheel en al verschilt van de voorgaande is uitgevoerd in 't Zijpe en in het Keeten met behulp van Flachseestrommesser. Met deze instrumenten is het gelukt de stroomsnelheid en-richting om de 5 minuten vast te leggen gedurende de volgende perioden:

Toestand	Zijpe raai 4 punt 8 $\frac{1}{2}$ waterdiepte	Zijpe raai 4 punt 6 $\frac{1}{2}$ waterdiepte	Keeten raai 2.34 punt 2 $\frac{1}{2}$ waterdiepte
A	---	---	---
B	22 mrt.- 26 mrt.'67 20 apr.- 12 mei '67 19 mei.- 16 juni '67	11 jan. - 8 febr.'68 20 febr.- 20 mrt. '68 25 mrt. - 22 apr. '68 22 apr. - 22 mei '68	---
C	24 apr.- 20 mei '69	24 apr. - 23 mei '69 21 mei - 20 juni '69 14 aug. - 12 sept.'69 1 dec. - 23 dec. '69 14 mei - 12 juni '70	23 mei - 12 juni '70 ---
D	---	4 sept.- 1 okt. '73	4 sept.- 1 okt. '73 2 aug. - 28 aug. '74

De profielen van de meetraaien 4 in het Zijpe en 2.34 in het Keeten zijn weergegeven op de bijlagen 2a t/m b terwijl op de bijlagen 3a t/m b van 1961 tot heden het verloop van de profieloppervlakten zijn getekend.

3. Methode van uitwerking.

A. Bewerking metingen in de vertikaal.

Alle met "Ott" en "Jacobsen" gemeten snelheden werden uitgezet tegen de waterdiepte, waarna de gemiddelde stroomsnelheid in de vertikaal werd bepaald.

Voor iedere gemeten getijperiode werd, per meetpunt, de gemiddelde stroomsnelheid in de vertikaal alsmede de bijbehorende stroomrichting als functie van de tijd uitgezet.

Ten behoeve van de berekening van de getijvolumen van de in 1956 en 1958 gemeten raaien rond de Plaat van Oude Tonge werden per half maanuur de stroomsnelheden ontbonden in een component loodrecht op de meetraaien en één evenwijdig daaraan.

Onder een maanuur wordt hier verstaan het twaalfde deel van de betreffende getijperiode.

Daar de ligging der meetraaien zoveel mogelijk loodrecht op de hoofdstroom-richting was gekozen kon de ontbondene evenwijdig aan de meetraai worden verwaarloosd.

Met behulp van de afgeleide snelheden loodrecht op de meetraai en de corresponderende gemeten waterdiepte werden per half maanuur om de 25 m. de afvoeren per eenheid van breedte q ($m^2/sec.$) berekend.

Een analytische bepaling van het oppervlak van het q diagram leverde de totale afvoer Q ($m^3/sec.$) van het gekozen tijdstip op.

Deze Q waarden werden als functie van de tijd uitgezet. Een oppervlaktebepaling van de afvoerkromme leverde het getijvolume van de betreffende raai.

Ter controle van de gemeten afvoeren werd aan de hand van verrichte peilingen een kombergingsberekening uitgevoerd.

In elk gebied, ingesloten tussen de diverse meetraaien, werd de getijlijn bepaald met behulp van visueel waargenomen waterstanden. Daarna werd met intervallen van een halve meter het oppervlakte van de waterspiegel bepaald en uitgezet tegen de waterstand ten opzichte van N.A.P.

Vervolgens werd gedurende de waarnemingsperiode van elk vak de gemiddelde waterstandsverandering per tijdseenheid ($\frac{\delta h}{\delta t}$) berekend.

Door vermenigvuldiging van de gemiddelde $\frac{\delta h}{\delta t}$ met het desbetreffende oppervlak van het kombergingsgebied kon gedurende ieder half maanuur de hoeveelheid water worden berekend die het bepaalde vak in- of uitstroomt.

Op de bovenomschreven wijze werden ook de na 1958 in het Zijpe en Keeten uitgevoerde metingen bewerkt.

In verband met de drukke scheepvaart en het groot aantal meetpunten in elke raai konden alle meetpunten onmogelijk op één dag tegelijkertijd worden gemeten. De meetresultaten van de verschillende dagen moesten dus worden gecombineerd. Het invoegen van snelheidskrommen welke op andere dagen werden waargenomen blijft tengevolge van de wisselende getijomstandigheden steeds aan bedenkingen onderhevig. Het was dan ook nodig de gemeten snelheidskrommen met behulp van de waargenomen krommen van het vertikale getij te reduceren.

Gebleken is dat voor het beschouwde gebied slechts een geringe fout wordt gemaakt indien de stroomsnelheden in de verschillende raaien rechtevenredig gesteld worden aan de grootte van het getijverschil te Bruinisse. (Zie lit. 1.) De gemeten waarden werden op deze basis lineair vereffend naar het gemiddeld getijverschil ontleend uit het 10-jarig overzicht der waterhoogten te Bruinisse (1961-0).

De slotgemiddelden te Bruinisse in de overgangstoestanden B, C en D werden afgeleid door de opgetreden hoog-en laagwaterstanden en tijdstippen te Bruinisse te correleren aan een station dat als onveranderlijke getijrandvoorwaarde kon dienen.

Voor toestand B werden gekozen de peilstations Vlietepolder en meetpaal B.G. II (ooster). Zie lit. 2. Voor toestand C het station Grevelingen West. (Zie lit. 3) en voor toestand D de peilschrijver te Burghsluis.

Wanneer van één meetpunt in een bepaalde overgangstoestand meerdere herleide snelheden bekend zijn, dan werd het gemiddelde van de herleide snelheden weer-^{gegeven}. In de meetraaien 4 (Zijpe) en 2.34 (Keeten) werden met behulp van de herleide getijgegevens, die betrekking hebben op de situatie in toestand A, vergelijkingen gemaakt met die in de toestanden B, C en D.

Zo werden in voorgenoemde meetraaien de volgende getijgrootheden vergeleken:

- a. De gemiddelde snelheid over de vertikaal (\bar{V}) in het hart van de geul (referentiepunt).
- b. De (\bar{V}) over het dwarsprofiel.
- c. De afvoer.

Hierbij moet worden opgemerkt dat, gezien het gering aantal stroommetingen uitgevoerd in het Keeten bij toestand C, de verandering in de afvoer alsmede die in de gemiddelde snelheid over het dwarsprofiel niet nauwkeurig genoeg kan worden vastgesteld. Afwijkingen van 5 à 10 % zijn denkbaar.

B. Bewerking metingen uit Flachsee Strommesser.

De registraties afkomstig uit de Flachseemesser werden om de 5 minuten afgelezen en als functie van de tijd getekend.

Voorts werd het verband onderzocht tussen getijdaling/-rijzing en maximum eb-/vloedsnelheid.

Volgens uitgevoerde correlatieberekeningen bleek er een min of meer rechtlijnig verband te bestaan met acceptabele standaardafwijkingen en correlatiecoëfficiënten.

Bovendien werd in het Zijpe (meetraai 4) het verband onderzocht tussen de gemeten snelheid op halve waterdiepte (Flachsee registratie) en de gemiddelde profielsnelheid. Ook hier bleek het gerechtvaardigd dit verband voor te stellen door een rechte lijn zodat de gemiddelde profielsnelheid door een eenvoudige betrekking kon worden bepaald.

Daar ook het profiel van het Zijpe ter plaatse van meetraai 4 een zodanige vorm heeft, dat het verband tussen profieloppervlakte en waterstand binnen enkele procenten benaderd kan worden door een lineaire functie, is een herleiding van de direct gemeten snelheid op halve diepte tot afvoer weinig gecompliceerd.

Op bovenstaande wijze kan dus voor een serie opeenvolgende getijden de afvoer worden verkregen.

4. Resultaten van de metingen.

Toestand A.

Volgens het 10-jarig overzicht der waterhoogten 1961-0 bedraagt het gemiddeld hoog-en laagwater te Bruinisse respectievelijk N.A.P. + 151 cm. en N.A.P. - 153 cm. terwijl de bijbehorende havengetallen respectievelijk $2^u33^{min.}$ en $8^u16^{min.}$ bedragen.

De waterbeweging in het Zijpe en rond de Plaat van Oude Tonge kan aan de hand van de maanuurkaartjes, zie bijlage nr. 4, als volgt worden beschreven: Omstreeks laagwater te Bruinisse, maanuur 6, begint de vloed door te komen uit de Grevelingen. Op dit moment gaat dan nog steeds ebstroom van het Krammer naar het Zijpe zuidwaarts.

Geleidelijk aan wint de vloedstroom uit de Grevelingen terrein, doch het duurt tot maanuur 9 alvorens in het Zijpe en Krammer vloedstroom gaat lopen. Het Krammer wordt dan zowel vanuit het Zijpe alsook vanuit de Grevelingen gevuld. De vullingstroom uit het Zijpe gaat weer gedeeltelijk via de Bocht van St. Jacob. Deze toestand duurt enige uren. Tussen maanuur 10 en 11 bereikt de vloedstroom in het Zijpe haar maximum.

Ruim een uur na HW, maanuur 1, stroomt het vloedwater uit het Zijpe niet alleen naar de Krammer, maar trekt ook als ebstroom de Grevelingen in. Omstreeks maanuur 2 treedt in het Zijpe de kentering op waarna tot maanuur 6 het water vanuit de Krammer via de Grevelingen en het Zijpe wordt afgevoerd. De maximum ebstroom treedt op bij maanuur $4\frac{1}{2}$. Langs de Duivelandse oever treden dan sterke wervelingen op.

De hoofdebstroom in het Zijpe wordt enigermate van de Duivelandse oever afgedrukt, doordat via de Bocht van St. Jacob en de Zuidelijke bovenmond van de Grevelingen een belangrijke ebstroom naar het Zijpe afvloeit.

De bijlagen 5a t/m b geven een beeld van de maximale ebsnelheden in het Zijpe. Uit deze bijlagen en uit verrichte drijfvermetingen is gebleken dat speciaal bij eb toch een zekere concentratie van de stroom op de Duivelandse oever optreedt.

Bij vloed is dit in mindere mate het geval; de stroom is dan beter gespreid. Afgezien van de grootte der snelheden, verloopt het stroombeeld in het Keeten identiek aan die in het Zijpe.

De maximale snelheden in het Keeten blijken 20 tot 30% lager te liggen dan die in het Zijpe.

Langs de Tholense oever komen ter plaatse van de aangelegde oeverwerken sterke wervelingen voor bij maximum stroom.

Toestand B.

De invloed van de betrekkelijk zwakke getijbeweging uit het Brouwershavense Gat op die in het Keeten, Mastgat, Zijpe is thans weggenomen.

Het platengebied ten oosten van de Grevelingendam wordt nu via het Zijpe gevuld en geledigd en staat mede onder invloed van de nog zwakkere getijbeweging uit het Haringvliet.

Als gevolg van deze invloeden heeft de verticale getijbeweging in het Zijpe en Keeten zich enigszins gewijzigd.

De hoogwaterstanden te Bruinisse zijn enkele centimeters lager geworden en de laagwaterstanden enkele centimeters hoger, terwijl de gemiddelde havengetallen bij HW en LW respectievelijk 22-en 4 minuten groter zijn geworden.

Zie onderstaande tabel.

Bruinisse	gem.HW	gem.LW	gem.tijverschil	gem. havengetal HW	gem. havengetal LW
Toestand A	+ 151	- 153	304	2 ^u 33 ^{min.}	8 ^u 16 ^{min.}
Toestand B	+ 147	- 148	295	2 ^u 55 ^{min.}	8 ^u 20 ^{min.}

In tegenstelling met het vertikale getij heeft het horizontale getij in het Zijpe en het Keeten een forse verandering ondergaan.

Uit de bijlagen 6a t/m c blijkt dat de maximale ebstroomsnelheden in het Zijpe met omstreeks 50 % zijn toegenomen en de maximale vloedstroomsnelheden met 8 %. Evenals bij toestand A treedt tijdens de ebperiode een ongelijkmatige stroomverdeling over het dwarsprofiel op. Voornamelijk in verband hiermede heeft de vergroting van de ebstroom sterkere stromen langs de steile Duivelandse oever in het Zijpe te weeg gebracht. Zie bijlagen nr. 7a t/m c, waarop bij dood-, gemiddeld-en springtij de snelheidsverdelingen in het dwarsprofiel werden getekend t.o.v. de relatieve hoogte boven de bodem.

De ebstromen zijn niet alleen toegenomen doch treden ook gedurende langere tijd op dan bij toestand A.

Op het referentiepunt in het Zijpe (raai 4 punt 6) duurt de ebstroom met een waarde van 1 m/sec., bij gemiddeld getij, thans twee maal zo lang als voorheen.

Bovendien blijkt dat het horizontale getij een faseverschuiving van 20 min. ten opzichte van toestand A vertoont. De tijdstippen van stroomkenteringen bij HW en LW zijn dichter bij de tijdstippen van resp. HW en LW komen te liggen. Voorts blijkt dat ten gevolge van de faseverschuiving in het vertikale-èn horizontale getij de maximum ebstroomsnelheid thans bij een hogere waterstand optreedt.

Uit de bijlagen 8a t/m c blijkt dat volgens metingen verricht met Flachsee-Strommesser het Zijpe bij normale opperwaterafvoer een vloedoverschot vertoont. Alleen tijdens de doodtij perioden komen ook eboverschotten voor.

Tengevolge van het overheersende vloedoverschot in het Zijpe zal het zoutgehalte in de Oosterschelde hoog en weinig variërend zijn.

Zo nu en dan wordt het zoutgehalte wel eens verstoord door een hoeveelheid zoet rivierwater dat in de winter of in het voorjaar, wanneer er hoge rivierafvoeren voorkomen, via het Volkerak het Keeten en de Oosterschelde bereikt. Een periode met hoge rivierafvoeren is o.a. voorgekomen in de maand januari 1968. Uit de bijlage 8c blijkt dat tijdens deze periode in het Zijpe duidelijk meer eb overschotten optreden dan bij lagere opperwaterafvoeren. Om van uur tot uur een indruk te krijgen van de stromingstoestand in het Zijpe bij gemiddelde getijomstandigheden wordt in bijlage 9 een serie uurkaartjes weergegeven.

Evenals in het Zijpe zijn uiteraard de stroomsnelheden in het Keeten gewijzigd. De maximale ebsnelheden zijn echter in veel mindere mate toegenomen dan die in het Zijpe.

Uit de bijlagen 10a t/m c blijkt dat de maximale eb-en vloed-snelheden met respectievelijk 20 en 10 % zijn toegenomen.

Ook heeft in het Keeten een faseverschuiving plaats gevonden, de stroomkenteringen bij HW en LW treden nl. 10 en 30 minuten eerder op.

Een overzicht van het stroombeeld bij max. vloed-en ebstroom is weergegeven op de bijlagen nr. 11a t/m b terwijl op bijlagen nr. 12a t/m b de maximale stroombeelden zijn getekend in een oevervak dat sterk van erosie te leiden heeft. De stroombeelden bij andere getijfasen zijn te vinden in nota H 617 Z. Zie lit. 4.

Gedurende de gehele getijfase is voor het betrokken oevervak het snelheidsverloop in de richting van de oever bepaald. Hieruit blijkt dat tijdens max. stroom sterke snelheidsgradiënten voorkomen. Zie bijlage 13. Tijdens max. eb komen ter plaatse dan ook sterke wervelingen voor.

Toestand C.

De aanleg van de Volkerakdam heeft tot gevolg gehad dat de getijbeweging in het Keeten, Mastgat, Zijpe aanzienlijk is gewijzigd.

Bij gemiddeld getij is het hoogwater te Bruinisse 27 cm. hoger en het laagwater 20 cm. lager geworden. Het getijverschil is derhalve met 47 cm. toegenomen.

In bijlage 14 is het verloop van de HW-en LW standen voor de toestanden B en C weergegeven in het rivierentraject Zierikzee - Zijpe - Dintelsas.

De gemiddelde havengetallen bij HW en LW zijn respectievelijk 12 en 20 min. groter geworden. Zie ook onderstaande tabel.

Bruinisse	gem. HW	gem. LW	gem. tijverschil	gem. havengetal HW	gem. havengetal LW
Toestand A	+ 151	- 153	304	2 ^u 33 ^{min.}	8 ^u 16 ^{min.}
Toestand B	+ 147	- 148	295	4 ^u 55 ^{min.}	8 ^u 20 ^{min.}
Toestand C	+ 174	- 168	342	3 ^u 07 ^{min.}	8 ^u 40 ^{min.}

In tegenstelling met de versterking van het verticale getij is het horizontale getij in het Zijpe t.o.v. toestand B verzwakt.

Weliswaar is de eb op het referentiepunt met omstreeks 4 % toegenomen, de max. vloed is met 18 % afgenomen. Bovendien heeft een flinke faseverschuiving plaatsgevonden.

De kenteringstijdstippen bij HW en LW treden thans respectievelijk 40 en 75 minuten eerder op dan bij toestand B. Ze vallen nu om en nabij de tijdstippen van hoog-en laagwater.

Ten gevolge van die faseverschuiving treedt het tijdstip van maximum ebstroom bij een hogere waterstand op dan in toestand B, doordat dit tijdstip dichter bij hoogwater is komen te liggen. Het tijdstip van maximum vloodsnelheid blijft onveranderd op omstreeks 1 uur en 50 minuten vóór HW.

Voorts blijkt dat bij toestand B de maximale vloodsnelheden groter waren dan de maximale ebsnelheden; bij toestand C doet zich het omgekeerde voor.

Zie de bijlagen nr. 15a t/m c.

Wanneer de resultaten van de bewerking der Flachseemesser worden beschouwd dan blijkt, dat na de afsluiting van het Volkerak de ebstroomsnelheden in het Zijpe bij doodtij enigszins zijn afgenomen en bij springtij iets zijn toegenomen. De maximale vloodsnelheid is ook flink geminderd (19 %).

Zie de bijlagen 16a t/m b.

In het Keeten, raai 2.34, zijn de volgende veranderingen vastgesteld.

De maximale ebsnelheid is bij gemiddeld getij ongeveer 30 % toegenomen; de duur van de maximum snelheid is echter korter geworden. De maximum vloodsnelheid is met omstreeks 7 % afgenomen. De maximale vloed-en ebsnelheden zijn na de afsluiting van het Volkerak aan elkaar gelijk geworden.

De kenteringstijdstippen nabij HW en LW treden resp. 30 en 70 minuten vroeger op. Evenals in het Zijpe is de stroomsnelheidskromme bij vloed sterk van vorm veranderd. Zie de bijlagen nr. 17a t/m c.

Voor een verklaring van de toename van de ebsnelheden in het Keeten-Mastgat-Zijpe gebied werd nog een nader onderzoek ingesteld.

Het gebied van onderzoek is begrensd door meetraai 4 in het Zijpe, meetraai Krabbenkreek (nabij St. Annaland) en meetraai 2.34 in het Keeten.

Met als randvoorwaarde de gemiddelde vertikale getijden te Bruinisse en Stavenisse is het verloop van de komberging in dit gebied, gedurende de ebperiode, voor toestand B en C berekend.

Na optelling van de kombergingsstromen en stromen door de raaien bij Zijpe en St. Annaland gedurende het verloop van het getij, kan dan de stroom door de raai bij Stavenisse worden berekend.

De ebafvoer door de drie genoemde meetraaien is voor toestand B en C getekend op de bijlage nr. 18.

Hieruit blijkt dat na afsluiting van het Volkerak de maximale ebafvoer in de Krabbenkreek tengevolge van de grotere getijverschillen nauwelijks is toegenomen, die in het Zijpe echter met 12 % en die in de mond van het Keeten met ongeveer 30 %.

De toename van de maximum ebafvoer in het Zijpe van 12 % is niet alleen een gevolg van de snelheidstoename, doch ook en meer van het grotere stroomvoerende dwarsprofiel dat het Zijpe na de afsluiting van het Volkerak heeft gekregen. Zie onderstaande tabel waar bij gemiddeld getij en max. ebstroom de waterstand en het profieloppervlak is gegeven.

Raai Zijpe	Toestand B	Toestand C	Toename
Waterstand	N.A.P. - 0,80 m.	N.A.P. + 0,20 m.	1,00 m.
Oppervlak	10.450 m ² .	11.120 m ² .	670 m ² .

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het stroomvoerende dwarsprofiel met omstreeks 7 % is toegenomen. Wordt dit bij de snelheidstoename van 4 % gevoegd, dan komt men dicht in de buurt van 12 %.

Voorts blijkt uit de afvoerkrommen dat de maximale ebstroom in het Keeten bij toestand B optrad 3 uren en 20 minuten na HW en bij toestand C 1 uur en 55 minuten na HW.

Op bovengenoemde tijdstippen zijn voor de komberging en de afvoeren in de verschillende raaien de volgende waarden gemeten.

Meetraai	Toestand B 3u.20min. na HW max.ebafvoer in m ³ /sec.	Toestand C 1u.55min. na HW max.ebafvoer in m ³ /sec.	verschil in m ³ /sec.
Zijpe	13.500	15.200	1.700
Krabbenkreek	800	2.400	1.600
Keeten	15.900	20.300	4.400
Komberging	1.600	2.700	1.100

De toename van de maximale ebstroom in het Keeten kan dus verklaard worden uit de toeneming van de ebafvoeren in het Zijpe en de vervroeging in fase van het tijdstip van maximum ebstroom, en ook doordat het tijdstip van maximumstroom in het Keeten bij toestand C zeer dicht valt bij het tijdstip van de maximum afvoer in de Krabbenkreek, hetgeen vroeger in mindere mate het geval was. Bovendien is als gevolg van het vroeger optreden van het tijdstip van maximale stroom, ook de komberging van het gebied op dit tijdstip groter dan voorheen.

In de eerste plaats omdat dit tijdstip optreedt bij een hogere waterstand en er dientengevolge een groter kombergingsoppervlak aanwezig is en ten tweede omdat ook de waterstandsverandering per tijdseenheid $\frac{\delta h}{\delta t}$ door de toename van het getijverschil groter is geworden.

Toestand D.

Door de afsluiting van de Krabbenkreek is zowel het verticale-als horizontale getij in het Zijpe en Keeten heel weinig veranderd.

Zie voor het Zijpe bijlagen 19a t/m c en voor het Keeten bijlagen 20a t/m c. Opmerkelijk is wel dat het profieloppervlak van raai 2.34 in het Keeten, na 10 jaren nagenoeg constant te zijn geweest, omstreeks 1972 met ruim 10% is verkleind. Toch liggen in het Keeten de afwijkingen in de stromen binnen de grenzen van de meetnauwkeurigheid.

Ook het verticale getij direct ten westen van de Krabbenkreek verandert qua fase en amplitude nauwelijks, maar wel qua vorm. Tengevolge van de terugkaatsing van het getij tegen de Krabbenkreekdam krijgen de hoogwaters een dubbele top. Zie bijlage 21.

Bijlage 22 geeft van uur tot uur een overzicht van de grootte en richting der stroomsnelheden zoals die heden ten dage, bij gemiddeld getij, tweemaal daags door het Zijpe en het Keeten trekken.

Hoe de getijstromen in het Zijpe en het Keeten, onder invloed van de maanstanden, in sterkte toe- of afnemen is voorgesteld op de bijlagen 23a t/m b. Tenslotte wordt nog een beeld getoond van het maximale stroombeeld in de mond van het Keeten. Zie bijlage nr. 24a t/m b.

5. Samenvatting.

De uitkomsten van de stroommetingen verricht voor afsluiting van de Grevelingen, toestand A, worden in dit rapport in het kort besproken.

De resultaten van de metingen welke zijn uitgevoerd vóór en na afsluiting van de Grevelingen, het Volkerak en de Krabbenkreek zijn met elkaar vergeleken. De veranderingen van de extreme waarden van zowel het horizontale- als vertikale getij is voor gemiddeld getij weergegeven op de bijlagen 25a t/m c.

Na afsluiting van de Grevelingen, toestand B, blijkt de getijbeweging in het Zijpe en het Keeten als volgt te zijn veranderd :

- 1^e. De HW-stand te Bruinisse is 4 cm. lager, de LW-stand 5 cm. hoger geworden.
- 2^e. Het gemiddeld havengetal bij HW en LW is resp. 22 en 4 minuten groter geworden.
- 3^e. De maximale stroomsnelheden zijn in het Zijpe bij eb met 50 % en bij vloed met 8 % toegenomen; in het Keeten bedragen deze percentages resp. 20 en 10 %.
- 4^e. Het horizontale getij is zowel in het Zijpe als in het Keeten omstreeks 20 minuten in fase verschoven.
- 5^e. Ten gevolge van de faseverschuiving in het vertikale- en horizontale getij treedt de max. ebstroom bij een hogere waterstand op.

Na afsluiting van het Volkerak, toestand C, hebben ten opzichte van toestand B de volgende wijzigingen in de getijbeweging plaats gevonden:

- 1^e. De HW-stand te Bruinisse is 27 cm. hoger en de LW-stand 20 cm. lager geworden.
- 2^e. Het gemiddeld havengetal bij HW en LW is resp. 12 en 20 min. groter geworden.

3^e. De maximum ebsnelheid ^{in het Zijpe} vis in geringe mate toegenomen, terwijl de max. vloed­snelheid met 18 % is afgenomen.

In het Keeten is de maximum eb­stroomsnelheid met 30 % toegenomen en de maximum vloed­stroom met 7 % afgenomen.

4^e. De kenteringstijstippen bij HW en LW treden in het Zijpe resp. 40 en 75 minuten en in het Keeten resp. 30 en 70 minuten eerder op.

De grote toename van de maximale eb­stroom in het Keeten kan verklaard worden uit de toeneming van de eb­afvoeren in het Zijpe en de vervroeging in fase van het tijdstip van max. eb­stroom en ook doordat de tijdstippen van maximale afvoer in Keeten en Krabbenkreek nu nagenoeg samenvallen.

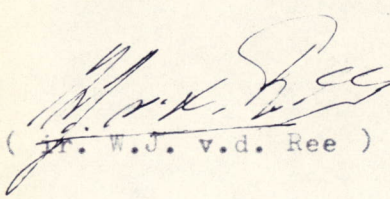
Na afsluiting van de Krabbenkreek is zowel in het horizontale-als in het verticale getij heel weinig veranderd.

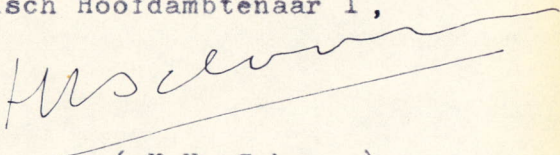
Ten gevolge van de terugkaatsing van het getij tegen de Krabbenkreekdam ontstaat nu duidelijk een dubbele top bij de hoogwaters.

Een overzicht van de huidige stromingstoestand is in verschillende fasen van het getij weergegeven op de bijlagen nr. 22 in de vorm van uurkaartjes.

Accoord,

de Technisch Hoofdambtenaar I,


(W.J. v.d. Ree)


(H.Y. Schaap)

- Lit. 1. H.Y. Schaap
Methoden van het bepalen van een herleidingsfactor in het Zijpe.
nota H 547 Z.
- Lit. 2. H.Y. Schaap
Getijveranderingen na afsluiting van de Grevelingen.
nota H 636 Z.
- Lit. 3. H.Y. Schaap
Veranderingen van het getij na afsluiting van het Volkerak.
nota H 679 Z.
- Lit. 4. H.Y. Schaap
Drijvermetingen in de omgeving van de Oud Kempens hofstede.
nota H 617 Z.

Bijlage 1	Situatie meetraaien Keeten-Zijpe.	A2 74.90466
Bijlage 2a ^t /m 2b	Profielen raai 4 Zijpe, raai 2.34 Keeten	A2 74.90467 ^t /m 90468
Bijlage 3a ^t /m 3b	Verloop doorstromings oppervlak raai 4, raai 2.34	A1 74.90469 ^t /m 90470
Bijlage 4	Stroomverdeling volgens sim.meting	A4 74.90416
Bijlage 5a ^t /m 5b	Max. eb en vloed Zijpe	A2 74.90471 ^t /m 90472
Bijlage 6a ^t /m 6c	Vergelijking stroomsnelheid bij gem. getij Zijpe	A2 74.90473 ^t /m 90475
Bijlage 7a ^t /m 7c	Isotachen raai 4 Zijpe	A6 65.9907 ^t /m 9909
Bijlage 8a ^t /m 8c	Afvoeren raai 4 Zijpe	A4 74.90476 ^t /m 90478
Bijlage 9	Stroomatlas Zijpe	geen nummer
Bijlage 10a ^t /m10c	Vergelijking stroomsnelheid bij gem. getij Keeten	A2 74.90479 ^t /m 90481
Bijlage 11a ^t /m11b	Drijvermeting Keeten	B6 66.9907 ^t /m 9910
Bijlage 12a ^t /m12b	Drijvermeting Keeten	A2 66.9914 ^t /m 9918
Bijlage 13	Drijvermeting Oud Kempenshofstedepolder Keeten	A6 66.9929
Bijlage 14	Verandering H.W. en L.W. stand Oosterschelde-Midden Hellegat	B1 74.90481a
Bijlage 15a ^t /m15c	Vergelijking stroomsnelheid bij gem. getij Zijpe	A2 74.90482 ^t /m 90484
Bijlage 16a ^t /m16b	Verband max.stroomsnelheid en tijverschil Zijpe	A1 74.90485 ^t /m 90486
Bijlage 17a ^t /m17c	Vergelijking stroomsnelheid bij gem. getij Keeten	A2 74.90487 ^t /m 90489
Bijlage 18	Vergelijking eb afvoeren van toestanden B en C Zijpe, Krabbenkreek, Keeten	A2 74.90490
Bijlage 19a ^t /m19c	Vergelijking afvoer bij gem.getij Zijpe	A2 74.90491 ^t /m 90493
Bijlage 20a ^t /m20c	Vergelijking stroomsnelheid bij gem. getij Keeten	A2 74.90494 ^t /m 90496
Bijlage 21	Vergelijk getijlijn Krabbenkreek	A1 74.90497
Bijlage 22	Urkaartjes Keeten, Zijpe	geen nummer
Bijlage 23a ^t /m23b	Overzicht Flachseestroommesser, Zijpe	A2 74.90498 ^t /m 90499
Bijlage 24a ^t /m24b	Stroombeeld max.eb en vloed, Keeten	A2 74.90500 ^t /m 90501
Bijlage 25a ^t /m25c	Verandering max. stroomsnelheid en afvoeren	A1 74.90502 ^t /m 90504

A

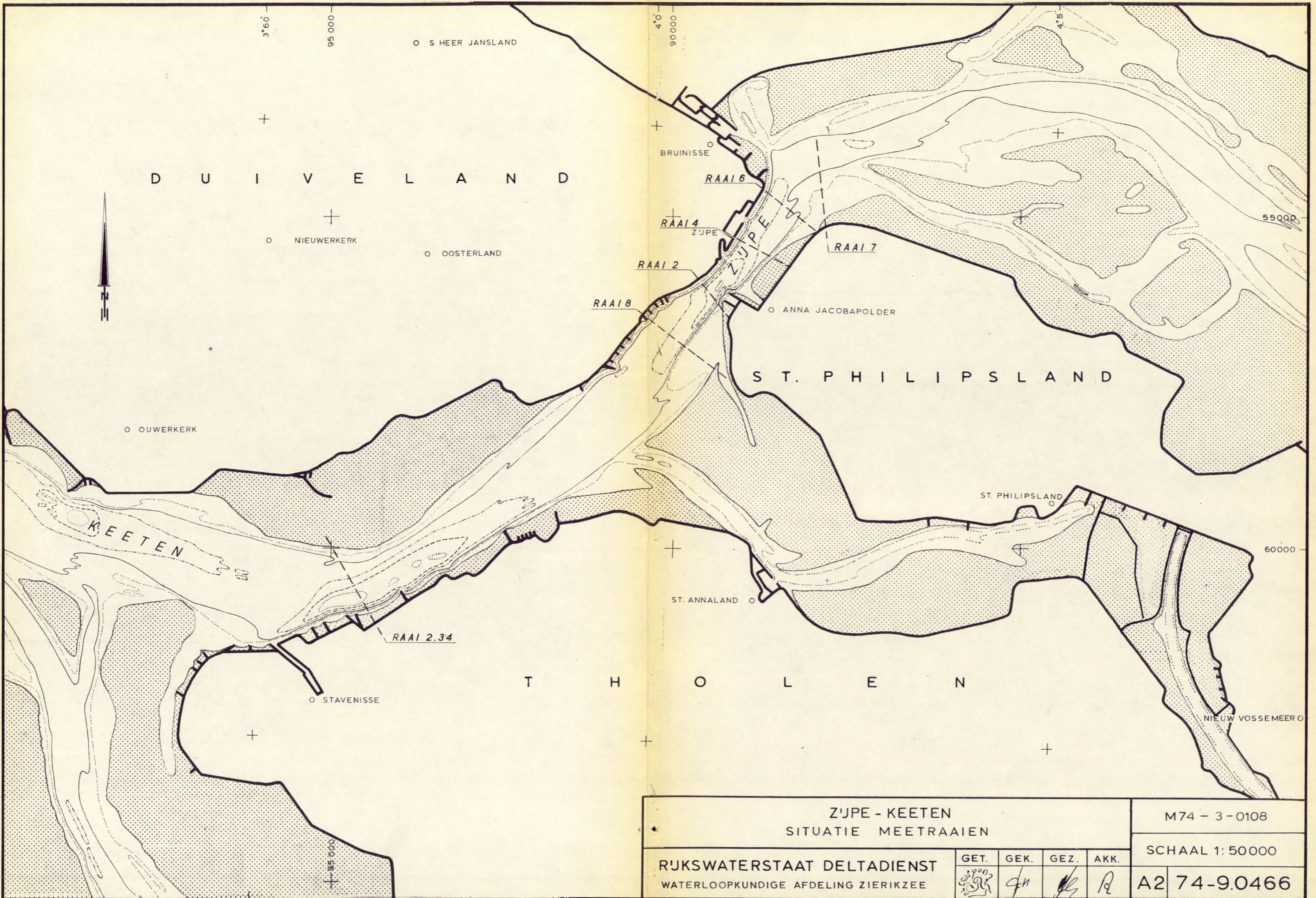
B

C

D

A

DCD



ZIJPE - KEETEN SITUATIE MEETRAAIEN				M74 - 3 - 0108	
RIJKSWATERSTAAT DELTADIENST WATERLOOPKUNDIGE AFDELING ZIERIKZEE				GET.	GK.
				GEZ.	AKK.
				SCHAAL 1: 50000	
				A2	74-9.0466