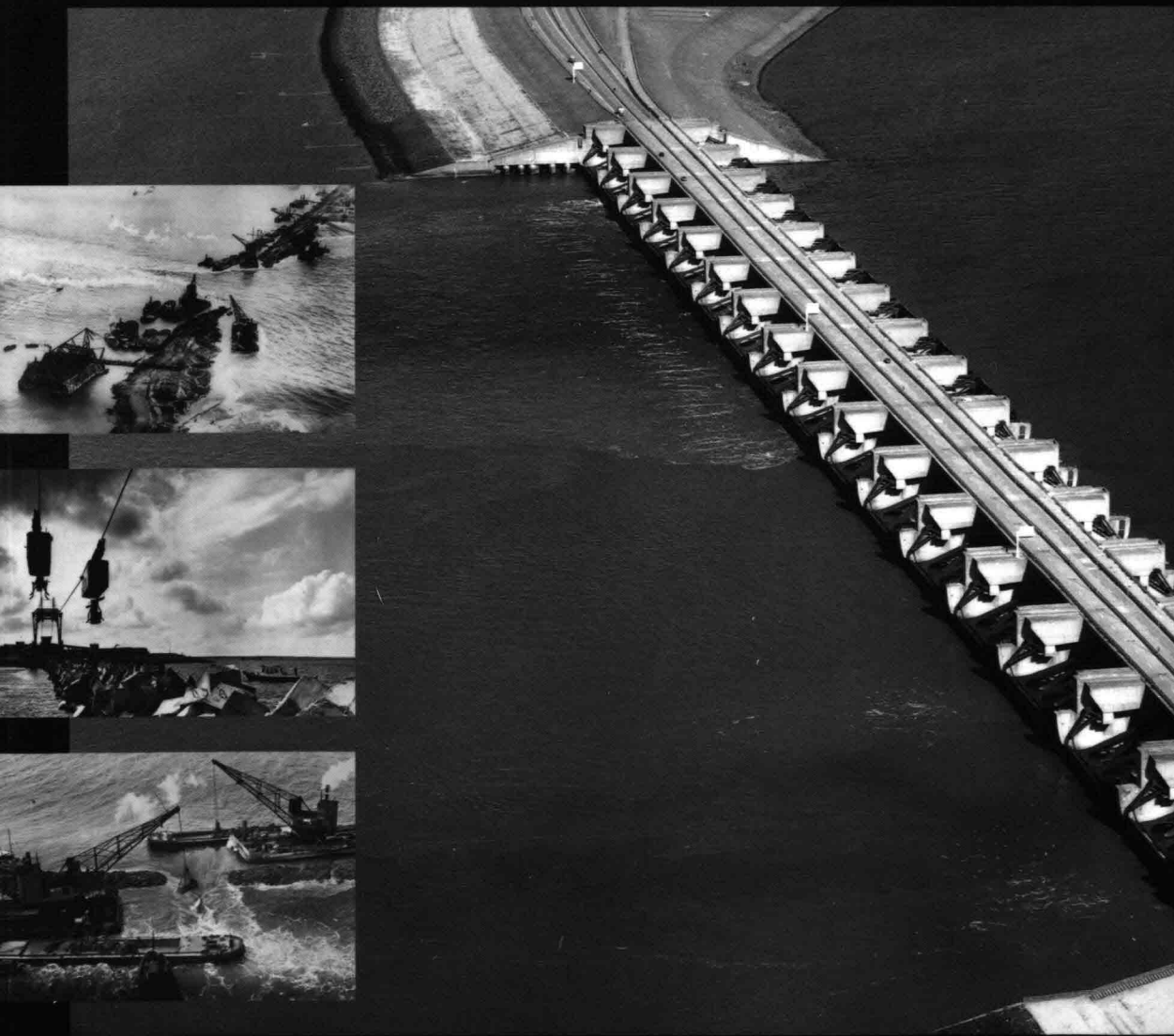


AFSLUITINGSTECHNIEKEN IN DE NEDERLANDSE DELTA



A F S L U I T I N G S T E C H N I E K E N I N D E N E D E R L A N D S E D E L T A

A F S L U I T I N G S T E C H N I E K E N I N D E N E D E R L A N D S E D E L T A

Een overzicht van de ontwikkeling van deze techniek

Prof. ir. Eize Stamhuis

Inhoud

Voorwoord 6

Proloog 7

- Persoonlijke herinneringen 7
- Periode bij Sluizen en Stuwen 10
- Verdere ervaringen 12
- Naar de Deltadienst 14

De principes van een afsluiting 21

- Geschiedenis 21
- Overstromingen 23
- Herstel van de rivierdijken 25
- Herstel van de doorgebroken zeedijken 25
- Het afsluiten van zeearmen en estuaria 27

De 20^e eeuwse ontwikkeling van nieuwe afsluitingstechnieken 29

- Zuidwest-Nederland 29
- De Sloedam 30
- De afsluitdijk van de Zuiderzee 31

Dijkherstel op het eiland Walcheren 35

- Verwoestingen door oorlogshandelingen 35
- Nolledijk bij Vlissingen 37
- Westkapelle 39
- Veere 39
- Rammekens 40

Tussenbalans 43

- De stand van ervaringen 43
- Brielse Maas 43
- Braakman 45

Stormramp en dijkherstel in 1953 47

- De omvang van de ramp 47
- Ouwerkerk 48

De Deltawerken 51

- Het Deltaplan 51
- Zandkreek (1) en Veerse Gat (2) 52
- De ontwikkelingen van doorlaatcaissons 52
- De sluiting met doorlaatcaissons 55
- Intermezzo I 61
- Grevelingen-zuid (3) en Grevelingen-noord (4) 63
- De ontwikkelingen van de kabelbaan 65
- De sluiting met behulp van een kabelbaan 67
- Intermezzo II 70
- Volkerak (5) 71
- Lauwerszee 74
- Haringvliet (6) 74
- Bijzonderheden 76
- Verdere opmerkingen 77
- Haringvliet (6) (vervolg) 78
- Brouwershavense Gat-noord (7) en -zuid (8) 80
- Intermezzo III 87
- Oosterschelde (9) 89
- Slotopmerkingen 91

Epiloog 93

Lijst van verklarende begrippen 97

Literatuur 105

Illustratieverantwoording 107

Colofon 108

Voorwoord

Eize Stamhuis ving als 20-jarige MTS-er (thans HBO-er) zijn loopbaan in 1941 aan bij Rijkswaterstaat. Na zijn onderduikperiode trad hij in 1945 in dienst van een Rotterdams ingenieursbureau. Bij de uitvoering van de hem opgedragen werkzaamheden bemerkte hij, dat het hem schortte aan kennis van grondmechanica en toegepaste mechanica. Eerder bij Rijkswaterstaat was hem hetzelfde gebleken ten aanzien van de waterloopkunde. Deze situatie bevredigde hem allerm minst, zodat hij besloot om de civiel-ingenieursstudie in Delft te gaan volgen, overigens na nog eerst staatsexamen HBSB-B te hebben gedaan.

Na zijn afstuderen in 1955 trad hij in dienst van Rijkswaterstaat, eerst bij de directie Sluizen en Stuw en in 1961 – na een kort intermezzo bij de directie Groningen – bij de Deltadienst. Bij deze dienst werd hij hoofd van de nieuwe afdeling Kunstwerken, Planning en Kostprijsberekening. Hier vond hij zijn ultieme uitdaging vanuit zijn verworven inzicht, dat de drie werkgebieden toegepaste mechanica (beton, staal), grondmechanica en vloeistofmechanica (waterloopkunde) als drie pijlers de wetenschappelijke basis vormen voor het ontwerpen en construeren van waterbouwkundige constructies.

Dit inzicht kwam het zeer van pas bij zijn werkzaamheden voor het belangrijkste technische onderdeel van het Deltaplan: de afsluitingstechniek.

In dit boek beschrijft Eize Stamhuis stapsgewijs de ontwikkeling van deze afsluitingstechnieken, de caissonsluiting en de geleidelijke sluiting met behulp van een kabelbaan, vanaf het Veerse Gat (1961) tot het Brouwershavense Gat (1971).

Het na 1970 aanzwellende pleidooi voor een open Oosterschelde dat uiteindelijk resulteerde in de bouw van de stormvloedkering, in plaats van de aanleg van een afsluitdam met behulp van kabelbanen, deed Eize Stamhuis besluiten om om te zien naar een andere werkkring. Deze vond hij aan de Landbouwhogeschool, later Landbouwniversiteit, te Wageningen.

Later gaf hij er bij herhaling blijk van, dat hij zijn werkperiode bij de Deltadienst als uitermate boeiend heeft ervaren. In de periode 1961-1971 is, zoals hij meermalen opmerkte, een schat aan kennis vergaard, die nog voor een belangrijk deel ontoegankelijk was, omdat destijds in de “hitte van de strijd” de tijd voor publicatie ten enenmale had ontbroken. Dit gevoel is voor Eize Stamhuis de drijfveer geweest om zijn eigen ervaringen te boek te stellen.

Het is dan ook bijzonder spijtig, dat hij kort na het gereedkomen van het eindconcept in 1998 overleed, zodat hij de verschijning van zijn boek niet heeft kunnen beleven.

Het is mij een genoegen om het voorwoord voor dit boek te mogen schrijven. Eize en ik kenden elkaar al in onze studententijd in Delft. Daar waren wij beiden assistent en wisselden we meermalen onze werkervaringen uit. In 1961 kwamen we elkaar opnieuw tegen, nu in de Deltadienst. Vanuit een verschillende waterbouwtechnische invalshoek, Eize constructief en ik waterloopkundig, waren we beiden nauw betrokken bij de Haringvliet- en Volkerakwerken.

Aan onze contacten in die tijd bewaar ik de beste herinneringen.

Ir. Jan J. Pilon †

*Bij het ter perse gaan van dit boek overleed Jan Pilon.
De overige redacteurs zijn hem grote dank verschuldigd voor
de vele werkzaamheden die hij voor deze uitgave heeft verricht.*

Proloog

Persoonlijke herinneringen

Bij mijn afscheid op 12 maart 1987 als hoogleraar in de Weg- en Waterbouwkunde aan de Landbouw Universiteit te Wageningen sprak ik over het algemene onderwerp *Delta ontwikkeling; de betekenis van de weg- en waterbouwkunde voor de ontwikkeling van deltagebieden*. Ik koos dat onderwerp omdat ik in mijn beroepsleven telkens weer betrokken werd bij de problemen in deze gebieden die van levensbelang zijn voor de samenleving om het hoofd boven water te houden, letterlijk en figuurlijk, zowel op het gebied van het gebruik als van de beveiliging van de bodem tegen ongewenste overstromingen.

Die loopbaan begon in 1941 als HTS-er (toen nog MTS-er) bij de Studiedienst van de directie Benedenrivieren, onder leiding van dr. ir. Joh. van Veen. Daar werkten toen ing. H.J. Strobant met zijn groep rekenaars en de zo juist gepromoveerde dr. J.J. Dronkers aan de bepaling van de waterhoogten langs onze benedenrivieren en zeearmen onder diverse omstandigheden van rivierafvoer en getijden.

De eerste groep werkte volgens een methode die door dr. ir. J.P. Mazure was voorgesteld in zijn dissertatie *De berekening van getijden en stormvloed op benedenrivieren* (1937.) Dronkers volgde de door hem nader uitgewerkte exacte methode, stoelend op de door prof.dr. H.A. Lorentz voor de Zuiderzee toegepaste berekeningswijze. Dronkers heeft dit later samengebracht

en verder aangevuld in zijn boek *Tidal Computations in rivers and coastal waters* (1964).

Beide berekeningswijzen, die van Mazure en die van Dronkers, vulden elkaar aan en dienden ons voor onderlinge controle. De berekeningen zelf waren tijdrovend. Zij vormden de basis voor de drie-, vier- en vijf-eilandenplannen, die Van Veen ontwierp om het zuidwesten van ons land veilig te stellen tegen stormvloed. Dit laatste was bepaald niet overbodig: de te verwachten stormvloedhoogten gebaseerd op statistisch verwerkte waarnemingen waren onheilspellend, de metingen betreffende de bestaande dijkhoogten waren alarmerend en de omstandigheden om hierin verbeteringen aan te brengen waren zeer ongunstig; we leefden immers in de tijd van de Duitse bezetting.

Met Van Veen had ik nogal eens ontmoetingen, al was ik ook eigenlijk geen gesprekspartner: een opzichter 3e klas van 20 jaar en zonder ervaring tegenover een hoofdingenieur, die zijn sporen ook op wetenschappelijk gebied had verdiend. Zo althans ervoer ik dat. Soms riep hij mij bij zich om een gesprek te beginnen over de slechte toestand van ons vaderland, ook in waterbouwkundig opzicht. Hij had veel belangstelling voor de waterbouwkundige geschiedenis, maar dan meer als een ingenieur met dadendrang dan als een wetenschapper die geduld had voor de juiste reconstructie van historische feiten en gebeurtenissen. Hij

identificeerde zich soms met grote figuren uit de waterbouwkundige geschiedenis, zoals Leeghwater, en kreeg iets profetisch in zijn voorspelling van een komende catastrofale stormvloed langs de Nederlandse kust.

Maar zijn verhouding met hogerhand was niet optimaal en dat verbeterde bepaald niet toen

ir. F.L. Schlingemann door dr. ir. W.J.H. Harmsen werd opgevolgd als hoofdingenieur-directeur in de directie Benedenrivieren. Ik had het gevoel dat Van Veen de waterstaatkundige toestand juist inschatte. Maar door de hoekigheid van zijn karakter vormde zijn persoon nogal eens een barrière in de communicatie; hij voelde zich miskend.

Zijn onderzoek naar de analogie tussen de stromingswetten van elektriciteit en water leidde tenslotte tot de 'Deltar', het grote elektrische analogon* van het gehele benedenrivierennet. De beginselen hiervan publiceerde hij reeds in 1937 in *De Ingenieur* in het artikel "Getijstroomberekening met behulp van wetten analoog aan die van Ohm en Kirchhoff". De analoge computer "Deltar" is van uitnemend belang geweest bij het berekenen van de waterloopkundige effecten van allerlei geplande afsluitingen in het benedenrivierengebied. Zelfs tijdens de latere sluitingsoperaties waren de gevolgen van de toenemende vernauwing in een sluitgat van dag tot dag met behulp van deze computer goed voorspelbaar.

Voorlopig echter waren we nog in het begin van de jaren veertig en van de computer bestond alleen nog maar een model van een gedeelte van de Lek, een soort demonstratiemodel, bestaande uit een aantal

weerstanden, condensatoren en diverse schakelingen op een plankje. We rekenden elk bijzonder geval van het getij aan de kust in combinatie met het oppervlaktewater langs de rivieren nog door met behulp van elektrisch aangedreven mechanische rekenmachines; één geval doorrekenen vergde daarbij een paar weken werk, nadat aan de hand van rivierkaarten met liniaal en planimeter de waarden van de dwarsprofielen op verscheidene plaatsen waren bepaald (doorstromingsprofiel en kombergingsgebied). Dit alles ging dus vooraf aan Van Veens rapporten betreffende de drie-, vier- en vijf-eilandenplannen.

Het werk van Van Veen is van onschatbare waarde geweest. De wetenschappelijke basis voor wat later het Deltaplan zou worden, was gelegd. Zodoende konden de belangrijkste beslissingen met betrekking tot dit plan reeds kort na de stormramp van 1953 worden genomen. De meet- en rekenresultaten van de Studiedienst Benedenrivieren, die onder de stimulerende leiding van Van Veen waren behaald, waren voor deze beslissingen in voldoende mate voorhanden om de eerste spade op de juiste plek in de grond te steken en de hoofdlijnen van het plan in wetgeving vast te leggen.

Inmiddels werd in 1943 mij de grond in Den Haag te heet onder de voeten. De Duitse bezetter begon op straat razzia's op jongelui te houden om arbeidskrachten te ronselen voor tewerkstelling in Duitsland.

Ook toenemend gebrek aan voedsel deed mij omzien naar een andere plek om te leven. Toen ik dit met

Van Veen besprak was zijn eerste opmerking dat ik mijn dienst niet zo maar mocht verlaten, dat het arbeidscontract mij verplichtingen oplegde. Ik begreep dat uiteraard ook zelf best; ik was toen opzichter 3e klas op arbeidscontract, maar de ervaring had mij inmiddels doen inzien dat dit maar weinig bescherming bood tegen deportatie, zodat ook in dat geval de Dienst - in casu Van Veen - niets meer aan me zou hebben. Mijn familie woonde op het platte-land in Groningen; een streek van waaruit ook Van Veen geboortig was. Hij had belangstelling voor geomorfologie en kwam op de lumineuze gedachte mij in Groningen onderzoek te laten doen naar de verzanding van de Fivelmonding en verder naar het ontstaan van de grootste uitbreiding van de Dollard en de inpolderingen daarna.

Mevrouw dr. A.W. Vlam, een van zijn medewerkers, was in 1942 aan de Rijksuniversiteit Utrecht gepromoveerd op het *Historisch-morfologisch onderzoek van enige Zeeuwse eilanden*. Dit proefschrift wordt nog steeds in de vakliteratuur aangehaald. Van Veen achtte de daar toegepaste onderzoeksmethode ook voor de problemen van Fivel en Dollard geschikt. Dat bleek naderhand inderdaad het geval te zijn. Door ruim 4000 eenvoudige boringen en sonderingen* te verrichten kwam er veel aan het licht dat ons in staat stelde de geschiedenis van Fivel en Dollard te reconstrueren. Nu was ik geboren aan de oevers van de vroegere Fivelmonding en het onderzoek gaf mij op verrassende wijze een verdiepte kennis van het landschap waarin ik als kind en puber had gespeeld en gedwaald.

Na de zogenaamde Dolle Dinsdag in september 1944

was veldwerk echter voor mij persoonlijk te riskant geworden. Ik dook onder en het duurde tot mei 1945, dus tot na de bevrijding, eer ik weer ambtelijk contact met Van Veen kreeg.

In 1951 publiceerde hij (vanuit mijn kladgegevens, de originelen waren namelijk in het oorlogsgeweld verloren gegaan) de resultaten van dit werk in het *Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*. Mij had het onderzoek een dieper inzicht gegeven in het probleem van de interferentie tussen de zee en de kust, respectievelijk de rivier en de kust in een geologisch gezien alluviaal* gebied; ook in de wijze waarop de samenleving in zulke situaties van oudsher had gereageerd door zich te beveiligen en het landschap aan zich dienstbaar te maken.

Na de bevrijding greep de wederopbouwkoorts ook mij aan en ging ik op een Rotterdams ingenieursbureau meewerken aan het herstel van de havenfaciliteiten. Was ik bij Benedenrivieren reeds bij mijzelf gestuit op gebrek aan kennis op waterloopkundig gebied, thans bemerkte ik iets dergelijks op het gebied van de grondmechanica en de toegepaste mechanica. Ontwerpen van kademuuren en gebouwen waren gebaseerd op standaardmethodes, maar de achtergrond daarvan was ondoorzichtig, althans voor mij en voor mijn directe omgeving. Dit was voor mij na verloop van enkele jaren ten enen male onbevredigend en ik besloot de civiel-ingenieurstudie in Delft te gaan volgen. Daarvoor was wel nodig eerst nog Staatsexamen HBS-B te doen, een onmogelijke studie, gelet op de hoeveelheid stof die men in een keer op het examen

moest kunnen spuien. In Delft kreeg ik een plaats als vaste assistent ter begeleiding van in het bijzonder de afstudeerontwerpen in de algemene waterbouwkunde bij de professoren ir. N. Nanninga en ir. P.Ph. Jansen. Ook liep ik de colleges van alle vakonderdelen van professor ir. J.Th. Thijssse. Dat was een heel vruchtbare combinatie om de omvang en de wetenschappelijke grenzen van het vak te leren kennen. Deze studie duurde van 1950-1955, een periode dus waarin ook de stormramp van 1953 plaatsvond. Thijssse gaf op college veelal verslag van de herstelwerken en zweeg daarbij niet over zijn eigen aandeel daarin. Dat gaf tevens het vak hydraulica een zeker aureool. Jansen zweeg er evenmin over, maar hanteerde daarbij een zeker understatement t.a.v. zichzelf en ook dat oogstte bewondering. Inmiddels had ik begrepen dat het ontwerpen van waterbouwkundige kunstwerken gepaard moet gaan met grondige analyses van de daarbij zich aandienende problemen op het gebied van de hydraulica, de toegepaste - en de grondmechanica alsmede van hun samenhang in specifieke gevallen. Ook dat het zuiver stellen van een probleem afhangt van de vooronderstellingen die je doet t.a.v. de materiaaleigenschappen en het rekenmodel dat je er op los laat. En tenslotte dat je scherp moet onderscheiden tussen ervaringskennis die door de traditie wordt gevoed en wetenschappelijke kennis die altijd van theoretische aard is en blijft. Deze simpele waarheden werden weinig onderkend en ik geloof dat dit nog steeds het geval is; specialisatie met haar pragmatische instelling brengt dit mee.

Periode bij Sluizen en Stuwen

Na mijn afstuderen in 1955 trad ik in dienst bij de directie Sluizen en Stuwen van de Rijkswaterstaat, bij de afdeling tunnelbouw. Dit leidde tot de (voor)ontwerpen van de Coentunnel en de Hemtunnel met daarnaast op speciaal verzoek van de hoofdingenieur-directeur ir. A. Eggink een meer diepgaande studie naar constructie en bouwwijze van toekomstige verkeerstunnels, onder allerlei omstandigheden van bodem en water. Deze studie resulteerde in het ontwerp van de zogenaamde schakeltunnel, een ten dele te prefabriceren ronde tunnel die voor talrijke doeleinden toepasbaar zou zijn. Maar om goedkoper te kunnen worden dan de traditionele oplossingen zou een opdracht van een serie tunnels nodig zijn en dat was politiek niet haalbaar. Publicatie vond plaats in *De Ingenieur*¹. Sluizen en Stuwen participeerde ook in de bouw van kunstwerken voor de Deltadienst en het was vooral ir. P. Blokland die zich hiermee belast zag. Maar in de vorm van collegiaal overleg kreeg ik er ook mee te maken.

In de eerste plaats waren er de Haringvlietssluisen, een zorgenkind. De eisen betreffende het kunnen spuien van drijfvijs waren bijzonder hoog en in feite afgestemd op de ervaringen met de brug over het Hollands Diep, waar een pijlerafstand van ca. 100 m was aangehouden. Dat bleek voor de sluisopeningen al gauw constructief gezien onmogelijk en de overspan-

1. *De Ingenieur* 69 (1957) B 109-117 en 72 (1960) B 153-163.

ningen mochten teruggebracht worden tot ca. 60 m., een nog redelijk haalbare zaak. Maar toen kwam het bericht waarvoor we vanaf het begin hadden gevreesd, omdat het waterloopkundig onderzoek nog geen definitief uitsluitsel had gegeven over de golfbelasting. Het ontwerp was gebaseerd op de voorlopig meest waarschijnlijke waarde van 120 ton per meter overspanning. Dat had tot een ontwerp geleid van brugoverspanningen van ca. 60 m. met daartegen steunend de segmentschuiven*.

Blokland werkte graag in beton en was met de elegante oplossing gekomen van liggers met een driehoekige doorsnede uit voorgespannen beton, waartegen stalen schuiven steunden. Maar nu bleek plotseling de belasting van 120 naar 220 ton te moeten worden verhoogd. Dat bracht consternatie teweeg, want het ontwerp kwam op losse schroeven te staan en de tijd drong. Ik heb toen voorgesteld stalen schuiven te maken met een hellend voorvlak, een trapeziumvormige* dwarsdoorsnede dus, waarbij deze, neergelaten over een brede richel op de betonnen vloer, de golfkrachten rechtstreeks en tweedimensionaal via de vloer en de paalfundering naar de ondergrond zouden afvoeren. De liggerwerking van de schuiven had dan alleen betrekking hoeven te hebben op het eigen gewicht en een gering verval tijdens het manoeuvreren.

Omdat de liggers dan in staal moesten worden uitgevoerd moest de directie Bruggen dan met een geheel nieuw ontwerp worden belast. Bovendien zag Blokland kans de betonnen driehoekige liggers zodanig versterkt te dimensioneren dat de 220 ton per meter

met de nodige veiligheid kon worden weerstaan. De wanddikte werd 50% meer en binnen de grote driehoek kwam een tweede, zodat vier compartimenten ontstonden en de bergingsmogelijkheid voor voorspanstaal enorm toenam.

Daarbij moesten toch ook nog de rechtstreeks op de schuiven aangrijpende golfkrachten worden gereduceerd en dit werd bewerkstelligd door de buitenschuiven lager te maken dan de binnenschuiven, zodat de golfkrachten over die beide werden verdeeld. De schuiven waren toen niet meer onderling uitwisselbaar zoals oorspronkelijk voor noodgevallen was voorzien. En om de golfkrachten nog verder te verlagen werd direct buiten de buitenschuiven een frontmuur met verder naar buiten een verlaagde vloer ontworpen. De daarbij te verwachten hogere turbulente krachten en het waterslageffect moesten dan mede door een zwaarder stortebed worden opgevangen. En zó is het ontworpen en uitgevoerd.

Een tweede ontwerp waarvoor door de Deltadiens opdracht was gegeven, was dat van een doorlaatcaisson, in het bijzonder voor de afsluiting van het Veerse Gat. In navolging van het aangepaste Phoenix-caisson voor de sluiting van de Braakman in 1952 had de Deltadiens voorontwerpen gemaakt van schuiven- en kleppencaissons*, waarbij deze afsluitmiddelen op een als caisson drijvende onderbak waren bevestigd. Blokland, die ook dit ontwerp onder handen nam, doorzag aan de hand van enkele berekeningen al spoedig dat bij een ongelijkmatig dragen van de caisson op een stenen drempel de materiaalspanningen te hoog zou-

den oplopen. Vooral voor de schuifspanningen ten gevolge van de grote dwarskrachten was dit het geval. De onderbak was gewoon veel te laag om deze te ondervangen, terwijl verhogen van deze bak van het doorstroomprofiel te veel zou wegnemen.

Aangezien toch ook een brugdek voor het werkverkeer over de afgezonken caissonreeks nodig was bleek het veel efficiënter dit dek als een soort balkenvloer uit te voeren met de ribben naar boven, zodat tevens een ballastbak ontstond. Deze was immers weer nodig om na het dichten met schuiven of kleppen voldoende massa te hebben tegen verschuiving als gevolg van de aldan optredende horizontale waterdruk bij hoog water en golfwerking.

Maar de som van onder- en bovenbak was nog niet voldoende om de dwarskrachten op te vangen. De sterkte en stijfheid van de caisson moest immers zodanig zijn dat geen noemenswaardige vervorming of zelfs breuk kon optreden waardoor de schuiven of kleppen niet zouden kunnen worden gesloten.

Dit bracht Blokland op de idee om de langs-zijwanden over de volle hoogte als liggers uit te voeren, waarbij onder- en bovenbak als de randen zouden fungeren en de wandstaven uit betonstaal zouden bestaan, een soort traliwerk. Naderhand zijn deze tralieliggers uitgevoerd in plat stripstaal, gevat in een raamwerk van profielstaal, dat als een kozijn in het betonwerk werd verankerd.

Dit was het eigenlijke constructieve concept. De rest van de aankleding, de stabiliteit tijdens drijven en zinken etc. was nog moeilijk genoeg, maar de centrale idee was daarmee omgezet in een uitvoerbaar ontwerp.

Verdere ervaringen

Dit ten aanzien van het werk van Sluizen en Stuwen uit die tijd voor de Deltadienst, waarbij ik zijdelings betrokken was. Naast mijn werk voor de tunnelafdeling was ik nogal vaak verantwoordelijk voor het ontwerpen van constructies die kennis van de grondmechanica vereisten, zoals de fundering van de Haringvlietsluizen en een kademuurherstel in Delfzijl, waar de aanwezigheid van potkleilagen in de ondergrond tot ernstige verzakkingen had geleid. Mijn vijf jaren durend assistentschap bij prof. Nanninga had mij inzicht gegeven in het op de juiste wijze hanteren van elementaire problemen op funderingsgebied. Ik had in hem achter zijn grote bescheidenheid al gauw een leermeester ontdekt met zodanige didactische gaven als ik daarna nooit meer heb ontmoet. Dit had mij naast inzicht ook het nodige zelfvertrouwen geschonken om meer ingewikkelde funderingsproblemen tot een oplossing te brengen. Daartoe was er ook steeds een vruchtbaar contact met het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft.

Ook voor problemen op het gebied van de toegepaste mechanica was er een heel goed overleg met het TNO-Instituut voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies in Delft. Blokland was een meester in het oplossen van constructieproblemen op het gebied van gewapend beton en zijn ontwerpen waren dienovereenkomstig knap. De algemene bewondering en waardering voor de Haringvlietsluizen is dan ook geheel terecht. Het is een monument van de Nederlandse ingenieursbouwkunst op waterbouwkundig gebied en die reputatie is

voortgezet door ontwerp en bouw van de stormvloedkeringen in de Oosterschelde en in de Nieuwe Waterweg.

De Haringvlietsluizen hebben dan ook navolging gevonden in de constructie van de sluizen van de Eider-afsluiting in Noord-Duitsland, waarvoor de ingenieurs bij ons les kwamen nemen. Maar wat mij toen al opviel was het gebrek aan inzicht in waterloopkundige problemen bij Sluizen en Stuwen. Ze werden beschouwd en behandeld als randvoorwaarden voor het ontwerp, terwijl ze toch in werkelijkheid een deel van het probleem zelf waren. De onderzoeken op dit gebied werden opgedragen door de Deltadienst aan het Waterloopkundig Laboratorium; ze werden in de Noordoostpolder uitgevoerd en onder begeleiding van Ir. W.C. Bischoff van Heemskerck van de Deltadienst werden de resultaten met de consequenties daarvan naar Sluizen en Stuwen doorgespeeld. Daarbij werden de verantwoordelijkheden scherp afgegrensd. Verder was de directie Bruggen verantwoordelijk voor alles wat met staalconstructies en bewegingswerken had te maken, zodat het constructieve ontwerp ook in dit opzicht uit een gesplitste verantwoordelijkheid werd geboren.

Het blijft merkwaardig dat desondanks dit kunstwerk als een wonder van techniek mag worden beschouwd. Dat geldt voor alle onderdelen; ook voor de bewegingswerken van de schuiven, waarvoor het staalgietwerk van de cilinders een grensverleggende prestatie was. Wel vind ik de vormgeving van het kunstwerk uit waterloopkundig oogpunt nog het minst geslaagd.

Verder kreeg ik van het werk bij Sluizen en Stuwen een bevestiging van het in Delft aan de TH (thans TUD) verkregen inzicht dat de basis voor een goed ontwerp ligt in een geïntegreerde kennis van de mechanica vakken betreffende beton en staal, water en grond. De verantwoordelijkheden waren bij Rijkswaterstaat te zeer versnipperd om een dergelijke integratie geheel effectief te doen zijn, terwijl de onderlinge rivaliteit een optimaal resultaat eveneens soms in de weg stond. Niemand had een overzicht en zo dit al bestond kon het niet tot gelding worden gebracht.

Nog een factor viel mij op: de grote invloed die het karakter en het gevoelsleven, de gehele levensinstelling van de ontwerper heeft op de vormgeving van een technisch kunstwerk.

Naast vakkennis en theoretisch inzicht bleek deze factor veel groter dan ik vroeger had beseft. Een waterbouwkundig kunstwerk is een uiting van gebonden kunst. Maar het blijft niettemin kunst en het vertoont daarin mede de maker zelf. Vergelijk maar eens de bruggen van de wat zwaarmoedige Harmsen met de ijle staalconstructies van de artistieke en gevoelige Van der Eb, dus de oude Moerdijkbrug (waarvan nu delen liggen over de Bergse Maas bij Keizersveer en de Oude Maas bij Spijkenisse) met de Van Brienenoordbrug

Blokland was een sociaal voelende collega, met wie ik goed communiceerde. Hij was ook een rechtlijnige doordouwer die zijn mening veelal op een dominante wijze aan anderen wist op te leggen. Bij de Haringvlietsluizen lukte het hem echter niet om vol-

doende zeggenschap over het totale ontwerp te krijgen en dat is traceerbaar in de constructie, zoals ik eerder schetste. Maar bij het ontwerp van de Rijnstuw behield hij wel de dominante plaats en zodoende zijn de vizierstuwen* bij Hagestein, Amerongen en Driel ook in waterloopkundig opzicht gave kunstwerken geworden.

Bij de Rijkswaterstaat was men van gevoelen dat de belangrijkste functies voor academici die van arrondissementingenieur en van hoofdingenieur-directeur in een bepaalde regio waren. Deze hadden immers behalve technische ook bestuurlijke bevoegdheden en dat kon van een (hoofd)ingenieur of hoofdingenieur-directeur in een specialistische dienst niet worden gezegd.

De specialistische diensten waren ook van een jongere datum en de promotiemogelijkheden van de ingenieurs waren daar uiteraard kleiner dan voor de generalisten in de regionale diensten. Zo vond men het na ca 5 jaar Sluizen en Stuwen voor mij nuttig, ja nodig, om ook in het regionale werk ervaring op te doen. Mijn ambitie lag daar echter niet en voor de eerste overplaatsingsvoorstellen kon ik nog bedenken. We leefden toen nog in de tijd van "Befehl ist Befehl", al begon dat wat af te zwakken. Maar de derde maal moest ik toch zwichten en ik kwam in Groningen terecht, mijn geboorteland dus. Dat was in het begin wel aardig, maar na verloop van tijd was mijn belangstelling getaand en besloot ik alles in het werk te stellen om terug te keren in een omgeving waar ik met hart en ziel in het door mij gekozen vak

- de constructiekant van de civiel-ingenieurskunst - kon terugkeren. Het kostte niet veel moeite om vast te stellen dat het centrum van ontwikkeling in de Nederlandse waterbouwkunde bij de Deltadiens lag, waar prof. Jansen aan het hoofd stond.

Naar de Deltadiens

Prof. Jansen kende ik vanuit Delft. Hij had naam gemaakt bij de droogmaking van Walcheren en daarvoor bij de aanleg van de stuw in de Maas bij Lith. Door zijn colleges had ik begrepen dat hij een evenwichtig inzicht had in de diverse aspecten waardoor vormgeving en constructie van een waterbouwkundig kunstwerk worden bepaald. Vanwege zijn scherpe vragen en soms sarcastisch spottende opmerkingen was hij gevreesd bij de studenten, maar mij had hij steeds met veel respect bejegend. Dus werd de kennismaking met Jansen hernieuwd en na één gesprek was de zaak reeds beklonken. Ik zou, direct aan hem toegevoegd als hoofd van de afdeling Kunstwerken en Planning, mij belast zien met het ontwikkelen en ontwerpen van afsluitingsmiddelen voor de stroomgeulen in de zeegaten en met het overleg dat ter zake met de diverse afdelingen van de Deltadiens en met de specialistische directies nodig was. Echter zonder een toezegging dat ook de bouw steeds onder mijn directie zou plaatsvinden. Want ten aanzien van dit laatste was de praktijk van de organisatie nu eenmaal dat de grotere kunstwerken door Bruggen en Sluizen en Stuwen werden gemaakt. Daarvoor was ook grote waardering. Maar Jansen wilde wel een grotere invloed op de re-

search, de ontwikkeling en het ontwerp van de afsluitingswerken en hij verwachtte van mij dat ik dat vorm zou geven. Dat was het begin van een vruchtbare samenwerking met de afdelingen van de Delta-dienst en de betrokken collega's van Bruggen en Sluizen en Stuwen. Om toch over enige tekenkamer- en uitvoeringscapaciteit te beschikken zorgde ik in de eerstvolgende jaren dat de afdeling Kunstwerken en Planning - die voornamelijk op papier bestond - voor de kunstwerken bemand werd met ca 30 hogere en middelbare technici, tekenaars en opzichters, onder leiding van de technisch hoofdamttenaren G. Mellema en en C.J. van Rossen.

De stuwende kracht van de Waterloopkundige Afdeling bij de Deltadienst was in die tijd ir. W.C. Bischoff van Heemskerk. Deze had naast wetenschappelijke ook grote didactische gaven en zocht bij elk probleem van algemene aard de dialoog. Met hem had ik steeds een open en diepgaand overleg. Toen ik binnenkwam was de discussie over een tweede sluitingsmethode naast de caissonsluiting* juist serieus gestart. De aanleiding lag in de aanwezigheid van dikke lagen los gepakt zand in de ondergrond van het toekomstige tracé van de Oosterscheldedam. De kust van Noord-Beveland was berucht vanwege de onstabiele onderzeese oevers. Dijkvallen, waarbij een dijkgedeelte met zijn onder water gelegen oever door zettingsvloeiing* teloor ging, waren in de loop der tijden veelvuldig opgetreden. Ook plaatvallen aan de noordzijde van de grootste geul, de z.g. Roompot, hadden zich voorgedaan. Alles als een gevolg van een zich plotseling voordoende evenwichtsverstoring in

de zandige ondergrond, waarvan de dichtheid beneden de kritische waarde bleek te liggen.

Door het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft waren inmiddels diepboringen met continu gestoken ongeroerde monsters verricht, terwijl door ir. H.L. Koning van dit laboratorium een methode was ontwikkeld om deze monsters uitgebreid op dichtheid te onderzoeken. De resultaten waren verontrustend. Het schrikbeeld doemde op van een sluitgat met een reeks afgezonden doorlaatcaissons, staande op een drempel van steen, waarvan plotseling een deel in de diepte verdween vanwege een zettingsvloeiing kort na het sluiten. De afsluiting zou zodoende teloorgaan, terwijl herstel door herhaling van de manoeuvre van afzinken met (reserve)caissons onmogelijk zou zijn. De weggezakte caissons zouden zulks immers verhinderen, want deze zouden dan in de weg staan.

Deze overwegingen vormden de belangrijkste reden voor het zoeken naar een alternatieve sluitingsmethode. Indien uit nader onderzoek zou blijken dat de risico's van een caissonsluiting te groot waren moesten toch het sluitingsprogramma kunnen afwerken met behulp van zo'n nieuwe methode, wanneer althans deze ook van te voren beproefd zou zijn op werkbaarheid en risico's. Voor dit laatste bood de afsluiting van de noordelijke geul(en) van de Grevelingen nog de goede gelegenheid. Het tracé van de dam ter plaatse was immers gekozen mede op grond van de overweging dat het getijvolume niet zo groot was vanwege een wantijgebied in de nabijheid.

Nu viel deze afsluiting onder de verantwoordelijkheid

van ir. H.A.M.C. Dibbits, de hoofdingenieur-directeur van de directie Afsluitingswerken-Zuid. Dibbits kwam van de Dienst der Domeinen en hij was verantwoordelijk geweest voor de afsluiting van de Braakman in 1952. Door modificatie van een BX-caisson (zie hiervoor verderop onder Dijkherstel op het eiland Walcheren) was hier in feite de eerste sluiting met doorlaatcaissons op succesvolle wijze in praktijk gebracht. Dibbits wilde per se op dit spoor verder gaan, nu ook de sluiting van het Veerse Gat getoond had hoe effectief deze sluitingsmethode bleek te zijn. Dibbits was dus tegen het beproeven van nog een andere methode en zag daarvan de noodzaak niet in.

Prof. Jansen was als hoofd van de Deltadienst verantwoordelijk voor zowel Zuid als Noord. Hij had zijn ervaring opgedaan bij de droogmaking van Walcheren met de dichtung van dijkbreuken met behulp van caissons. Hij had verder mede leiding gegeven aan de ontwikkeling van de doorlaatcaissons* voor het Veerse Gat en men mocht derhalve verwachten dat het ontwikkelen van een alternatieve sluitingsmethode ook bij hem op bezwaren zou stuiten. Toch bleek dit laatste niet het geval. Hij nam de directe verantwoordelijkheid voor deze ontwikkeling op zich en dit bood de staf de gelegenheid zich in direct contact met hem daarmee bezig te houden. Naar mijn ervaring was dit zeer inspirerend. Jansen sprak de mensen aan op hun kwaliteiten en wist ze daardoor te stimuleren tot een grote inzet. Maar hij strafte schijnredeneringen af met sarcasme en was daardoor bij sommigen gevreesd. Zijn technisch-weten-

schappelijke ervaringen bij de bouw van de stuw te Lith - onder zijn leiding tot stand gebracht - , bij de droogmaking van Walcheren en het dijkherstel na de stormramp van 1953 maakten de gesprekken met hem ook op het gebied van kunstwerken tot een waar genoeg, want je kon snel tot de kern van het verhaal doordringen.

Bij het vooronderzoek naar een alternatieve sluitingsmethode was een studiereis ondernomen door een ad hoc gevormde commissie, bestaande uit ir. drs. H. Kuiper (van de Directie Bruggen), ir. F. Roelofs (hoofd van de Afdeling Kostprijsberekening en Planning) en ir. F. de Vos (van de staf bij de directie Afsluitingswerken-Zuid). Behalve bepaalde brugtypen van waar af stroombestendige materialen in het sluitgat werden gestort, was de aandacht gevallen op de mogelijkheid voor dit doel een kabelkraan of kabelbaan te gebruiken. Beide zouden het sluitgat in horizontale lagen kunnen dichten, waarbij de stroomsnelheid tijdens het proces van storten een maximumwaarde zou bereiken om daarna geleidelijk tot nul te reduceren.

Maar ev. brugpijlers* zouden dan toch weer in losgepakte zandlagen worden gefundeerd en dit zou bij bezwijken door een evenwichtsverstoring in de ondergrond tot analoge catastrofale situaties kunnen leiden als bij het plaatselijk bezwijken van een caissonreeks. Een zeer ruim uiteen plaatsen van de pijlers zou het risico wel iets kunnen verkleinen, maar de kosten sterk verhogen. Men denkt dan immers al gauw aan een hangbrug.

Van daar was een stap naar een kabelbaan niet zo groot meer. Men kon die immers beschouwen als een hangbrug zonder rijdek, want het afwerpen van lasten zou direct vanaf de kabels plaatsvinden. Daarbij was nog de gedachte dat deze last - telkens een steenbrok of een betonblok - door een over de draagkabel lopende trolley zou worden vervoerd en te bestemder plaatse afgeworpen. Een kabelkraan dus. Iets dergelijks was gebruikt in Schotland om de baai van Scapa Flow aan de zeezijde van een stenen drempeel te voorzien. Deze onderwaterdrempeel was van zodanige vorm dat een onderzeeboot bezwaarlijk naar binnen zou kunnen komen zonder opgemerkt te worden. Want dat was inderdaad eens gebeurd in de oorlog. In de baai lagen toen Britse oorlogsschepen voor anker en naar men dacht veilig tegen Duitse onderzeeërs, omdat de ingang nauw en grillig van vorm was. Maar toch had een 'U-boot' onder bevel van kapitein Prien kans gezien ongemerkt binnen te dringen en met zijn torpedo's verwoestingen aan te richten. Wel was kort daarna ook Prien met zijn boot tot zinken gebracht na een hardnekkige achtervolging door de Royal Navy, maar dat was uiteraard niet afdoende om verdere aanslagen te voorkomen. Daarvoor was ook een onderwaterdrempeel nodig. Na de oorlog ontdekten de genoemde ingenieurs van Deltadienst en Bruggen dan ook een verhandeling in de *Proceedings* van de Society of Civil Engineers, waarin van deze operatie verslag was gedaan. Een aannemer beschikte indertijd over een kabelkraan met een heen en weer te trekken kantelbak waarmee stenen konden worden gedumpt. Dit in-

spireerde tot het bedenken van een analoge maar meer uitgebreide constructie en het driemanschap ging op reis naar Frankrijk, Zwitserland en Italië, waar kabelbaanconstructiebedrijven in het bijzonder hun producten maken voor skistations, maar ook voor het transport van massagoederen.

Bij Neyrpic in Grenoble trof men een ontwikkeling aan die ook voor het probleem van de Deltadienst toepasbaar leek. Voor de kust van (toen nog Spaans) Marokko bij Sidi Infi moest een los- en laadplaats voor zeeschepen worden aangelegd; de zandige kust liep flauw hellend in zee af, zodat een havenaanleg met dammen of pieren kostbaar zou worden en ook voor de benodigde capaciteit niet noodzakelijk was. Neyrpic met haar directeur Pierre Goirand van de kabelbaanafdeling was met de oplossing gekomen om een of meer steunpunten in zee te maken voor pylonen*, waarop een zware draagkabel zou rusten. Die draagkabel fungeerde vervolgens als een rail waarover zelfaangedreven bemande wagens reden, voorzien van een hijsinrichting. Het is dus een kabelkraan, met mantrolley*, in het Frans: *Téléférique Automoteur*. Het systeem kon aan begin en einde van een draaischijf worden voorzien, zodat een circuit ontstond: *Téléférique Automoteur Continu*.

Overgebracht op het probleem van de Deltadienst, n.l. het maken van een overspanningconstructie als hulpwerktuig voor het sluiten van stroomgaten, bleken de voorontwerpen redelijk aan de eisen van veiligheid en capaciteit te voldoen, zodat met Neyrpic een overeenkomst kon worden gesloten voor het ontwerpen en leveren van een kabelbaan met 12 automoteurs, met één

stroompijler en twee landpijlers, ter overspanning van de noordelijke geulen van de Grevelingen. Het is een experiment met verstrekkende gevolgen geworden. Mislukte het dan was er in feite geen ruimte meer in de planning voor het beproeven van nog weer een alternatieve sluitingsmethode. Uiteraard was er ook kritiek, zowel intern als van buiten de Deltadienst. De twijfels van Dibbits omtrent de wenselijkheid van een alternatieve methode naast de caissonsluiting* noemde ik reeds. Maar ook vanuit de aannemerswereld keek men aanvankelijk met een zeker wantrouwen naar het experiment, waarvan het welslagen afhankelijk was van een buitenlands bedrijf met een onbekend werktuig. Van aannemerszijde werd dan ook nog een ander alternatief in de vorm van een voorstudie op tafel gelegd.

Het betrof een sluiting met behulp van drijvend materieel, door de stroom bewogen op de wijze van een gierpont* en dus bovenstrooms verankerd. Het schip had een uithouder die om en om aan beide oevers een lading aan betonblokken innam, om deze telkens op de bestemde plaats in het sluitgat te dumpen. Het ontwerp was van ir. De Koning van de Amsterdamse Ballast Mij en het werd dan ook prompt de Koningsgier genoemd. Wel een echt Hollandse oplossing dus, vanuit de tradities in de Nederlandse baggerwereld opgekomen en ingenieus bedacht.

Toch kleefden ook aan deze oplossing bezwaren. Het voorontwerp had betrekking op het sluiten van het Volkerak, omdat de aannemer daar met de situatie vertrouwd was. Aangezien de stroom twee maal per etmaal van richting wisselt was in feite slechts de

helft van de tijd beschikbaar, zodat de capaciteit groot moest zijn in de uren waarop kon worden gewerkt. Verder was deze capaciteit in zekere zin omgekeerd evenredig met de breedte van het sluitgat -de lengte van de stortdam dus- en zou bij een brede geul met eb- en vloed-schaar* een middeneiland met blokkenvoorraad nodig zijn. Voor het grootste sluitgat in de Oosterschelde, de Roompot, was zo'n tusseneiland uiteraard niet mogelijk; daar zou de exploitatie van het bedrijf buitensporig groot moeten zijn.

Een en ander deed in de afweging van deze sluitingsmethode tegen die met behulp van een kabelbaan de balans toch doorslaan naar de kant van deze laatste. Het ontwerp was voldoende ver gevorderd om het nodige vertrouwen te wekken en de mogelijkheden voor het sluiten van de Roompot bleken in principe goed aanwezig te zijn. Zo kon tenslotte de constructieopdracht aan Neyrpac worden verstrekt, waarbij de verantwoordelijkheid voor de wijze van monteren geheel aan dat bedrijf werd overgelaten. Dit bleek van belang te zijn toen bij het op spanning brengen van de eerste kabel breuk optrad.

Intussen waren er in de loop van een paar jaar nog veel suggesties binnengekomen vanuit het meeleven-de publiek. Soms waren daar vernuftige constructiedetails bij, maar altijd lagen er veronderstellingen aan het geheel ten grondslag die niet juist waren. Janzen stelde veel prijs op dergelijke blijken van meeleven vanuit de burgerij en gaf mij meestal deze brieven voor een serieuze beantwoording.

Toen de belangrijkste beslissing ten aanzien van de kabelbaan was genomen werd het werk voortgezet

door ir. drs. H. Kuiper van de Directie Bruggen en door mij voor de Deltadienst.

Verder was er regelmatig overleg met ir. N. Biezeveld die de leiding had over de Afsluitingswerken-Zuid en met ir. P.H. van der Weele die met ing. L. Becu de dagelijkse leiding had op de bouwplaats van de afsluiting Grevelingen. De onderbouw van de kabelbaan werd ontworpen en voor de bouw begeleid door de afdeling Kunstwerken van de Deltadienst. Daarvan is na de afsluiting slechts één onderdeel overgebleven, namelijk het ankerblok* aan de noordzijde. Deze verankering moest een horizontale kracht van ca. 2 miljoen kg. kunnen weerstaan, waarbij de kabeluiteinden met vijf slagen rond een gewapend betonnen trommel waren gewikkeld en bevestigd. Het zware massieve blok werd op een groot aantal schoorpalen* gefundeerd.

Toen de gehele afsluiting met dam- en wegeaanleg was voltooid werd door de naastliggende gemeenten op Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee (Bruinisse en Oude- en Nieuwe Tonge) voorgesteld het als een monument in stand te houden en van een opschrift te voorzien. Om de kosten te bestrijden kon men van dat opschrift letters kopen. Maar de Rijkswaterstaat stak daar een stokje voor, want bij de eventuele aanleg van een tweede rijbaan zou het ankerblok in de weg kunnen staan. Nog steeds staat het er wat verlaten bij; soms heeft de Waterstaat toch maar weinig verbeeldingskracht.

Voor de verdere afsluitingen, te weten het Volkerak, het Haringvliet en het Brouwershavense Gat-noord

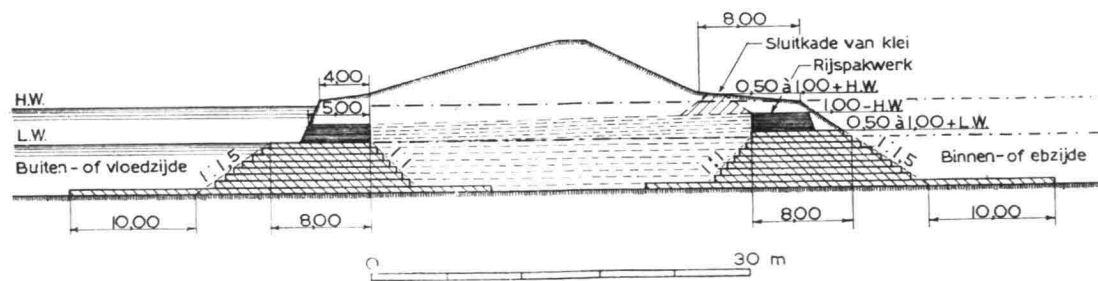
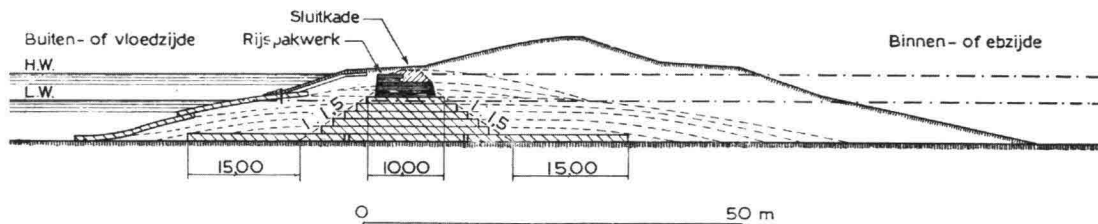
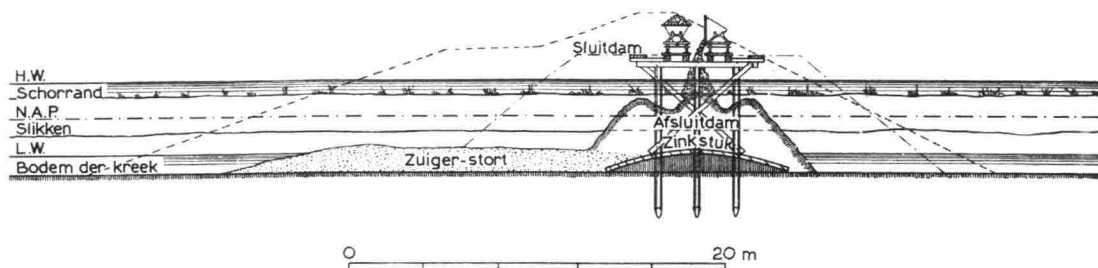
en -zuid is de ontwikkeling van beide beproefde sluitingsmethoden voortgezet en toegepast. Nadere beschrijvingen en details vindt men in het vervolg van deze verhandeling.

Daaraan voorafgaand wordt in chronologische volgorde een overzicht gegeven van de afsluitingstechniek bij stroomgeulen, zoals deze de laatste eeuw zijn ontwikkeld en toegepast.

Daarbij is de aandacht speciaal gevestigd op de ontwikkeling van de afsluitingsmiddelen en -materialen en minder op de bodem- en oeverbeschermingen. Uiteraard zijn deze laatste uitermate belangrijk geweest en heeft het maken van deze beschermingswerken eveneens een opmerkelijke ontwikkeling doorgemaakt. Maar ik heb mij hiermee niet direct bemoeid en het onderwerp is bovendien elders beschreven.

Op enkele plaatsen zijn de technische beschrijvingen afgewisseld met meer persoonlijke herinneringen. Vaak hebben deze immers een grote invloed op hetgeen uiteindelijk tot stand is gebracht, ook al is men dit zich niet altijd bewust.

De zeer belangrijke rol die de Nederlandse aannemerswereld heeft gespeeld in de constructie van de Deltawerken en in de ontwikkeling van nieuwe werkmethoden is buiten beschouwing gebleven. Om daaraan recht te doen zou een aparte publicatie nodig zijn. Aanvankelijk is die rol in de ontwerpfasen niet zo groot geweest, maar naderhand is zij meer en meer gegroeid om tenslotte haar hoogtepunt te vinden in het ontwerp en de bouw van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg.



1. Afsluiten van een geul door het storten van grond vanaf een steiger
2. Rijzendam als sluitdam voor het Sloe (1879)
3. Eerder voorgestelde constructie voor de afsluiting van het Sloe

De principes van een afsluiting

Geschiedenis

In de geschiedschrijving van de dijkbouw is in leer- en handboeken een en andermaal besproken op welke wijze een kreek of geul werd gedicht nadat de uitwateringssluis was gebouwd en in werking was gesteld. Bij een relatief kleine afvoer van een dergelijke geul kon vaak met eenvoudige middelen en materialen worden volstaan. Vooral wanneer tijdens eb een geul weinig afvoer had of zelfs wel geheel droog stond was een geulafsluiting gemakkelijk te realiseren. Een lichte bodemverdediging met behulp van rijshout* in de vorm van zinkstukken die tijdens de hoogwaterkentering* werden gezonken en verder met stenen werden verzwaard was ook bij de wat grotere geulen voldoende om bij het nauwer worden van het stroomgat de funderingsgrondslag te vormen van de in aanbouw zijnde afsluitingsdam of kade.

In eenvoudige gevallen was dit alles slechts een handwerk, waarbij enkele schepen en een houten hulpsteiger voldoende waren om het zinkwerk te maken en de afsluitingsdam daarop te storten (afb. 1). Voor dit laatste was dan zo'n hulpsteiger ook alleen nodig als het stroomgat relatief enige omvang had. Met behulp van kruiwagens of smalspoor kon men met een vrij grote capaciteit zware zoden*, kloeten of brokken steen vanaf de steiger storten en zo in betrekkelijk horizontale lagen een sluitdam

opwerpen tot een hoogte waarbij de kruin boven hoogwater reikte (kloeten of schorkloeten zijn doorwortelde brokken grond). Vervolgens kon het dijklichaam* worden aangelegd, van klei of soms ook van zand of zandige klei. Was het dijkprofiel gereed dan kon de bezoding worden aangebracht. Op plaatsen waar zware golfaanval te duchten was, werd zo mogelijk een glooiing van zetsteen aangebracht, nadat beneden laagwater aan de buitenkant de teen van de dijk met kraagstukken en een steenstorting was verdedigd. Maar dit heeft zich pas in latere eeuwen zo ontwikkeld en dan ook eerst op plaatsen waar steen van niet te grote afstand kon worden aangevoerd.

Voor het dichten van een kreek van enige omvang werd ook wel een rijzendam op de bezinking van de geulbodem aangebracht. Deze rijzendam bestond uit op elkaar afgezonken zinkstukken tot een hoogte van ongeveer laagwater. Op deze rijzendam werd dan tot even boven hoogwater zo snel mogelijk een sluitkade van klei of van kloeten aangebracht. Soms ten dele ook van rijspakwerk*, als dit sneller ging. De aanvoer geschiedde met vletten (kleine scheepjes). Daarna kon de verdere afwerking van de dijk plaatsvinden. Deze methode van sluiten met een rijzendam* werd voor de Sloedam toegepast (afb. 2).

Het spreekt vanzelf dat constructies waarin veel rijshout werd verwerkt in het bijzonder werden ge-

maakt in het zuidwesten van Nederland, waar dit rijshout in grote hoeveelheden voorhanden was en geoogst kon worden (de Biesbosch). Nadat de paalworm ook langs onze kusten was verschenen moest een rijzendam zo snel mogelijk met zand worden ingewassen en aan de buitenzijde aangestort om aantasting te voorkomen.

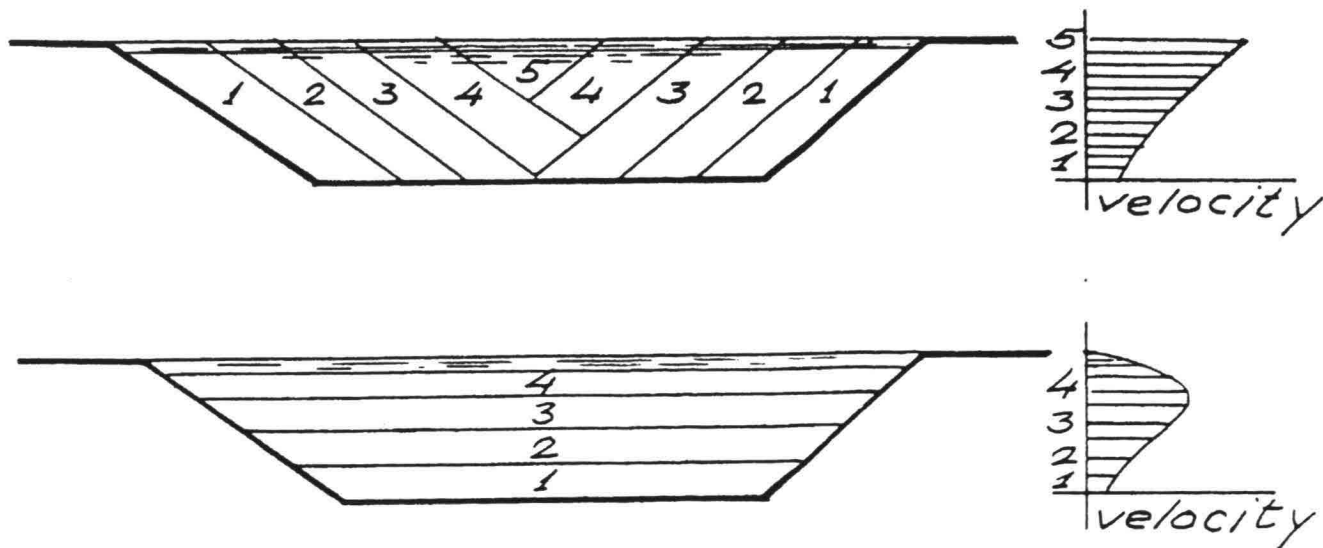
Bij het dichten van een sluitgat in een getijdengebied werd vaak zowel aan de buitenzijde als aan de binnenkant van de toekomstige dijk een rijzendam opgezonken. Daartussen werd de klei of het zand van het dijklichaam gestort, vanaf schepen. Daardoor werd grondverlies door de heen en weer trekende getijstrooming voorkomen. Deze constructie werd voorgesteld voor de afsluiting van het Sloe, maar niet uitgevoerd (afb. 3).

Bij een smalle geul was echter geen hulpsteiger nodig: men kon vanaf beide oevers de dijkkop steeds verder uitbouwen tot het gat gedicht was. Daarna volgde weer de afwerking en de verdediging van de teen en de buitenglooijing, als er weinig of geen voorland was. En bij een geul was zulks uiteraard meestal het geval.

Het schema van dit soort afsluitingen is gegeven in afb. 4. Daaruit blijkt dat bij het dichten van een stroomgeul vanaf de zijkanten de stroomsnelheid in het gat steeds toeneemt, waardoor het stortmateriaal uit steeds zwaardere eenheden moet bestaan om groter wordende verliezen te voorkomen. Stort men

4. Schema afsluiting van een geul vanaf beide oevers

5. Schema afsluiting van een geul in horizontale lagen



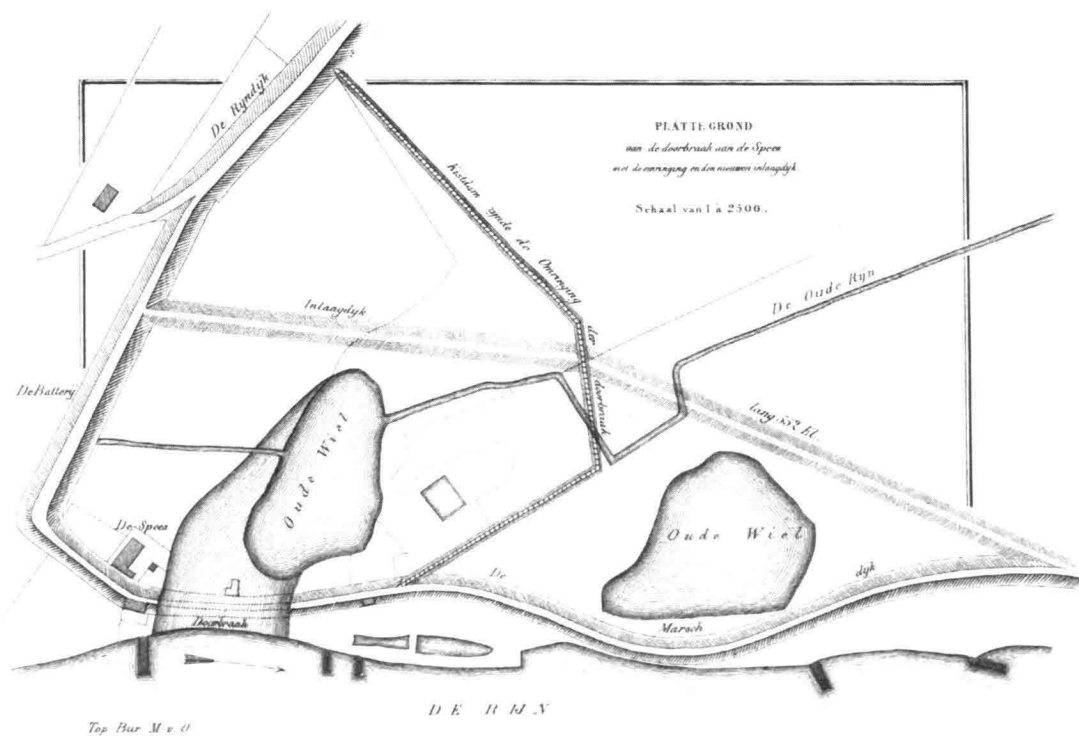
daarentegen vanaf een steiger in min of meer horizontale lagen de sluitdam op, dan groeit ook wel aanvankelijk de stroomsnelheid. Maar naarmate de sluitdam in hoogte toeneemt neemt de stroomsnelheid weer af, totdat ze nul is geworden als de kruin boven water komt. De maximumsnelheid wordt bereikt als waterloopkundig gezien de toestand van de overstortende straal die van een volkomen overlaat heeft bereikt; dan wordt de stroomsnelheid boven de kruin van de in hoogte groeiende sluitdam niet meer bepaald door het verval in het sluitgat, maar alleen door de stand van het hoogste waterpeil boven de kruin (afb. 5).

Ook al zijn deze stromingswetten pas eeuwen na de vroegste afsluitingen in hun theoretische vorm ontdekt, dan neemt zulks niet weg dat de ervaringen met het gedrag van stromend water en de invloed daarvan op de stroombestendigheid van (in dit geval) stortmaterialen reeds vroeg moeten zijn opgedaan en (naar het inzicht van die tijd) verwerkt. Juist daarom immers is men overgegaan op het toepassen van stortsteen*, toen zoden en kloeten niet meer voldoende stroombestendig bleken te zijn. Hetzelfde geldt voor de golfbestendigheid van bekledingsmaterialen: toen zoden niet meer voldoende waren en ook baksteen op de zwaarst aangevallen plaatsen de golfaanval op de dijk niet meer kon weerstaan, heeft men natuursteen in de vorm van zetsteen uit het buitenland gehaald. Vooral in Zeeland, waar men dichtbij het kalksteengebergte van de Vlaamse Ardennen woonde, vond toepassing van

natuursteen bij de dijkbouw ingang. Bovendien trof men in de grienden* van de nabijgelegen Biesbosch het rijshout aan waarvan men zinkstukken en andere rijshoutconstructies kon maken. In het midden en noorden van het land heeft men eerder en langer getracht om met behulp van houten paalwerken, zoden en zelfs zeewier vooral de golfaanval op de dijken te weerstaan.

Overstromingen

De oudste dijken waren over het algemeen te laag en het profiel was vaak te licht om de zwaarste stormen te weerstaan. Dijkbreuken en overstromingen kwamen daarom veelvuldig voor, zowel langs de Waddenkust in het noorden en de Noordzeekust in het zuidwesten als langs de Zuiderzeekusten in het centrum van het land en de estuaria* van de rivieren. Ook bij dijkbreuken langs de bovenrivieren met de naastliggende vruchtbare rivierkleigebieden werd land soms voor langere tijd onbruikbaar, verdronk er veel vee en kwamen eveneens veel mensen om. Soms verdwenen zelfs hele landstreken met boerenhofsteden, nederzettingen en dorpen, zoals bij de stormvloed van 1287 die de Dollard zoal niet deed ontstaan dan toch wel sterk vergrootte. Niet altijd was er meteen voldoende veerkracht en geld om de breuken te dichten en de oude toestand te herstellen of te verbeteren. Dan kreeg de natuur gedurende lange tijd de kans om de ontstane gaten te verdiepen en uit te breiden. Kwamen de herstelwerkzaamheden tenslotte toch op gang dan



6. Glijvlakken in een doorweekt binnenbeloop van een dijk

7. Wier tengevolge van de doorbraak van een rivierdijk

was een nieuwe toestand ontstaan die als uitgangspunt moest dienen. Om het principe van de herstelwerkzaamheden te omschrijven is het goed om eerst op de omstandigheden te letten waaronder ze plaatsvonden.

Herstel van de rivierdijken

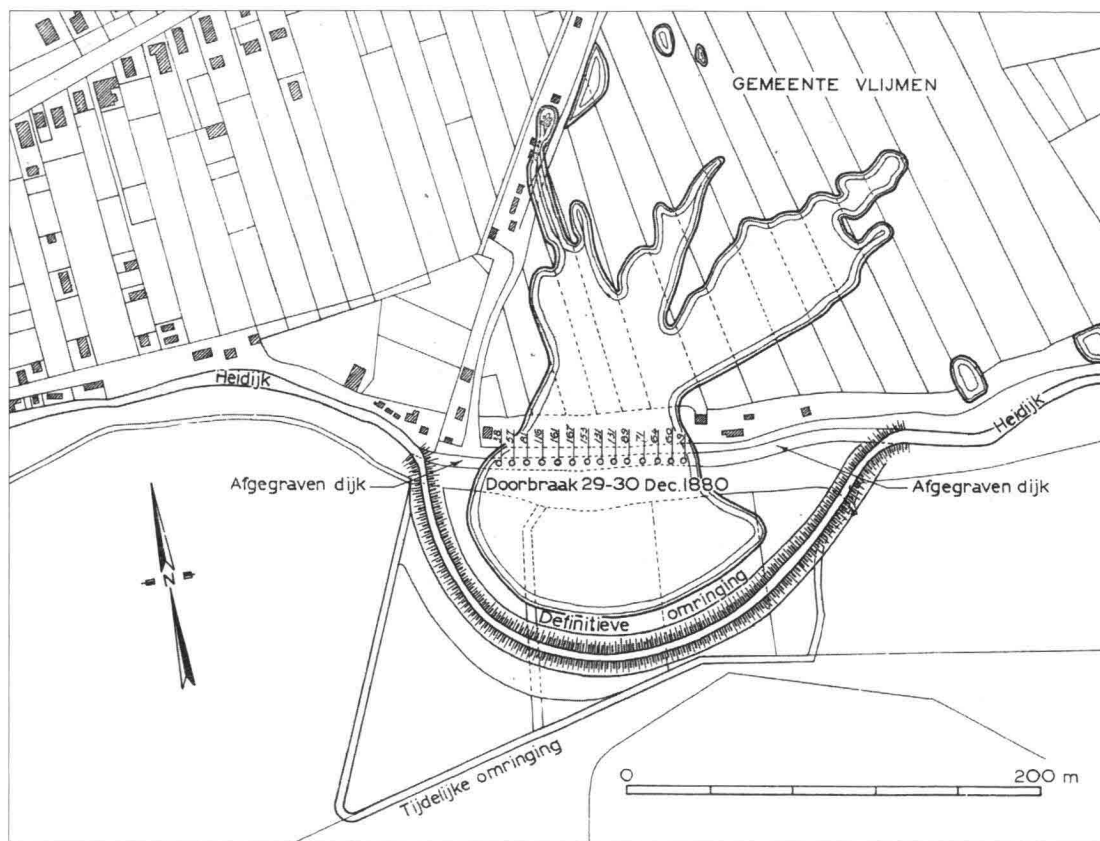
Het is duidelijk dat een doorbraak in een rivierdijk vaak het gevolg is geweest van een langdurige extreem hoge waterstand, waarbij mede door een slechte drainage van het dijklichaam het water uit het vaak te steile binnentalud* ging treden. (Het binnentalud is de landzijde). Door de stromingsdruk van dit grondwater kan namelijk het talud van een dijk van zandige grond slechts in stand blijven indien de helling tot ongeveer de helft van de eerst aanwezige taludhelling zou worden gereduceerd (afb. 6). Met andere woorden: er trad lokaal een vloeijing van de grond aan het binnentalud op, de steun voor de er bovenliggende lagen ging verloren en het hele binnentalud vloede weg en schoof af, waarbij ook de dijkskruin* verloren ging. Het extreem hoogstaande rivierwater stroomde via de verlaagde kruin over de dijk, vernielde het binnentalud verder en schuurde ook een geul uit aan de binnenzijde van de dijk tot een diep gat was ontstaan (afb. 7). Zulk een gat wordt wiel genoemd.

Voor het herstel van zulk een dijkbreuk was er een keuze tussen twee oplossingen. Als na verloop van tijd de toestand was gestabiliseerd kon men trachten

in een periode van lage rivierstanden het gat te dichtenzolang er geen zijdelingse afvoer van rivierwater meer was en men voldoende stortmaterialen tot zijn beschikking had. Was er echter wel een zijdelingse afvoer van enige betekenis dan was de aangewezen methode om de breuk te herstellen door een ringdijk rond het wiel aan te leggen (afb. 8).

Herstel van de doorgebroken zeedijken

Een langdurige hoge waterstand en een kortstondige opwaaiing met hoge korte golven op het buitentalud* vormen de grondslag voor het dijkontwerp. Daardoor heeft het buitentalud een veel flauwer verloop dan bij de rivierdijken, zodat de golfenergie wordt uitgeput tijdens het oplopen tegen het vaak met een steenzetting verdedigde talud. Het binnentalud is daarentegen tamelijk steil, omdat gedurende de relatief kortdurende hoge buitenwaterstand het gevaar van een 'verweking' (als bij rivierdijken) van dit binnentalud niet groot is. Op deze gedachtegang berusten vele zeedijkprofielen. En dijkbreuken die werden ingeleid door aantasting van het directe voorland, de onder water gelegen oever, de teen van de dijk en / of het buitentalud zijn in de geschiedenis dan ook veelvuldig voorgekomen. Door de relatief kortdurende ongunstige omstandigheden was het vaak mogelijk de dijkbreuk zelfs te voorkomen met behulp van zandzakken of een met klei gevulde opkisting. Ook werden daarvoor wel zeilen gebruikt, bezwaard met zandzakken. Overigens komen der-



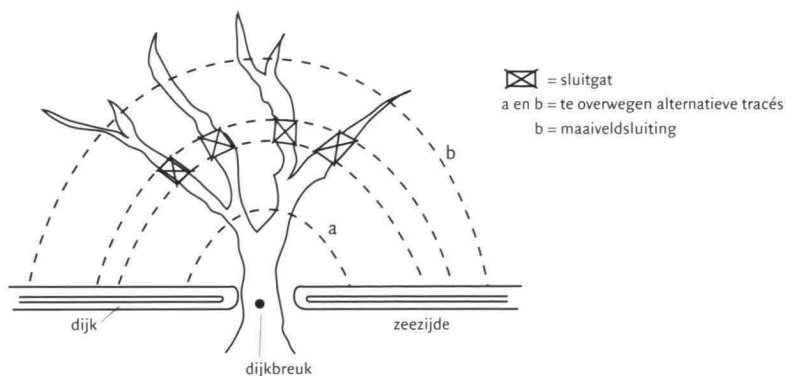
8. Herstel van de dijkbreuk door aanleg van een ringdijk rond het wiel, na de doorbraak van de Vlijmense of Heldijk bij Nieuwkuik in december 1880

gelijke opkistingen ook voor bij een dreigende overstort van rivierdijken.

Zo is in de geschiedenis van de Nederlandse kust vaak deze laatste oorzaak van een dijkbreuk aan het licht gekomen. We doelen op het te laag zijn van de

dijkskruin, waardoor bij uitzonderlijk hoge stormvloedstanden de kruin van de dijk gewoon tot een overstort werd, een overlaat. Door de overstortende straal werd dan zelfs eerst het binnentalud aangetast. Door de hierdoor ontstane afschuivingen werd tenslotte ook de dijkskruin meegenomen, waardoor algehele breuk optrad.

In deze gevallen is de kans groot dat er een geulensstelsel* ontstaat, vaak zelfs ter weerszijden van het



9/10. Mogelijke tracés voor de afsluiting van een na dijkbreuk ontwikkeld geulenstelsel

gat, doordat de eb- en vloedstroom dagelijks de achtergelegen geïnundeerde polder als een kom gaat ledigen en vullen. De materialen voor de herstelwerkzaamheden moeten dan veelal over ondiep water worden aangevoerd. Soms is de dichting van een gat rechtstreeks mogelijk als men na de storm snel over voldoende werktuigen en bouwmaterialen als rijs-hout, steen, klei en zand beschikken kan. Ook is het in een enkel geval mogelijk geweest om bij kentering van laag water snel een schip met grond verzwaard in het gat tot zinken te brengen en zo het gat te sluiten. Zo is er bijvoorbeeld dicht bij de kust van noordoost Groningen een dijkdorpje 'Oudeschip' genaamd. De overlevering zegt dat hier ter plaatse in vroegere eeuwen eens een dijkbreuk met een oud scheepje is dichtgezet. Op andere plaatsen is eveneens bekend dat een dijkbreuk op deze wijze werd gedicht.

Vaak echter kan de dichting pas later plaatsvinden en is het geulenstelsel al gevormd. Dan moet men met het tracé van de nieuwe dijk een omtrekkende beweging maken en is soms een aantal kleinere sluitingen van de geulen aan de binnenzijde van het gat nodig; zie het schema van afb. 9/10. Zijn de resterende geulvertakkingen ondiep of afwezig, dan spreekt men van een maaiveldsluiting.

Het afsluiten van zeearmen en estuaria

Nadat de Nederlandse kust in prehistorische tijden en ook daarna op verscheidene plaatsen door de zee tijdens stormvloed was doorbroken, was er in het zuidwesten, in het deltagebied van Rijn, Maas en Schelde, een verbrokkelde eilandengroep ontstaan, in het centrale deel een binnenzee en in het noorden een aantal estuaria.

Na de stormvloed van 1916 stond veiligheid tegen hoogwater hoog op de politieke agenda. Door de nijpende voedselschaarste die zich tijdens de Eerste We-

reldoorlog manifesteerde was er ook behoefte aan uitbreiding van het landbouwareaal. Deze motieven gaven de doorslag het Zuiderzeeproject uit te voeren. Daarbij is eerst de centrale binnensee, de Zuiderzee, afgedamd (in 1932) en gedeeltelijk ingepolderd. De ontdekking dat statistisch gezien de kustverdediging ontoereikend zou zijn bij een stormvloed zoals die éénmaal per 300 jaar moest worden verwacht leidde tot verdere studies en tot voorgestelde verbeteringen in de veiligheid. In de Proloog is hieraan reeds aandacht geschonken. Aan de uitvoering was al begonnen toen in 1953 een stormvloed vooral de zuidwestelijke eilanden in de provincies Zuid-Holland en Zeeland door het ontstaan van vele dijkbreu-

ken overstroomde. Eerder reeds (in 1944) was aan de monding van de rivier de Schelde het eiland Walcheren geïndeerd doordat de dijken door geallieerde luchtbombardementen op enkele plaatsen waren vernield, teneinde de Duitse verdediging uit haar stellingen te verdrijven, van waaruit zij de haventoe- gang van Antwerpen beheerste. Meteen na de Tweede Wereldoorlog waren deze dijkbreuken op spectaculaire wijze hersteld en het lag voor de hand dat de daarbij opgedane ervaring voor de uitvoering van het Deltaplan na de stormvloed van 1953 zou worden toegepast. Aan de geschiedenis van al deze afsluitingen worden de volgende technische ontwikkelingen ontleend en beschreven.

De 20^e eeuwse ontwikkeling van nieuwe afsluitingstechnieken

Zuidwest-Nederland

De Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden hebben hun grootste verbrokkeling gekend in de 13e eeuw (afb. 11). Daarna zijn, om landbouwgrond te verwerven en de veiligheid tegen stormvloed te vergroten, verschillende kleine eilanden tot grotere samengevoegd door het leggen van dammen. Vaak vereiste dit het beteugelen van stroomgeulen en het ligt voor de hand dat deze techniek in versneld tempo tot ontwikkeling en vernieuwing kwam waarbij men het sluiten van dijkgeden en het afdammen van kreen op de traditionele wijze tot uitgangspunt nam.

Daarbij moeten wij bedenken dat de dagelijkse getijbeweging rond de eilanden altijd een ontmoetingspunt had waar de vanuit zee komende vloed- en ebstromen vrijwel tot stilstand waren gekomen, waarbij de getijden alleen merkbaar waren door de vloed- en ebstanden. Er was daar dus alleen een verticaal getij waarneembaar en geen noemenswaardig horizontaal getij.

Een dergelijke plaats wordt wantij genoemd en zij is bijzonder geschikt om een afdamming te maken omdat er geen noemenswaardige stromingen voorkomen en men daarom voor het maken van een

sluitdam met materialen van een laag stukgewicht kan werken (afb. 12).

Nog een voordeel van zo'n wantijgebied was dat



11. Het zuidwesten van Nederland in de 13e eeuw

men er vrijwel altijd zinkstukken kon afzinken. Vanouds werd zulks alleen gedaan bij laagwaterkentering, omdat dan niet alleen de zinkweg klein was met minder kans op het niet goed op zijn plaats komen van het stuk, maar ook omdat door het ontbreken van stroom het stuk vrijwel loodrecht zonk na het kappen van de zinklijnen. Ter plaatse van het wantij nu was dit laatste voordeel steeds aanwezig en men kon de gunstige perioden van afzinken daarom heel ruim kiezen.

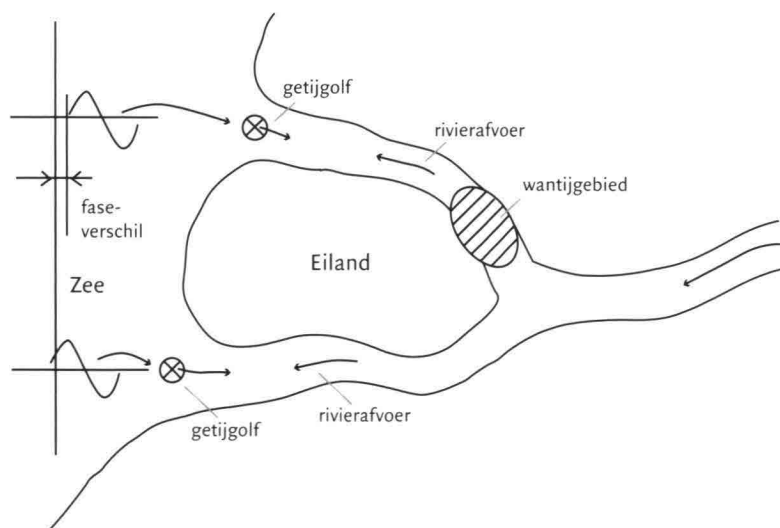
De Sloedam

Een voorbeeld van een grote afsluiting was de aanleg van de verbindingdsdam door het Sloe in 1879. Het ei-

land Walcheren werd hierdoor verbonden met Zuid-Beveland. Reeds in 1810 was op last van Napoleon I een ontwerp gemaakt, waarbij een sluitdam van klei tussen twee rijzen dammen was ontworpen door de Inspecteur der Zeewerken A. Schraven (afb. 13). Eerst in 1879 werd het plan gerealiseerd, mede omdat een dubbele spoorbaan voor de verbinding met de haven van Vlissingen was geprojecteerd. Het ontwerp voorzag in een enkele rijzendam aan de noordzijde van het dijklichaam ter bescherming van het zandlichaam in aanleg tegen de stormen uit het noorden en noordwesten. Deze rijzendam had een kruinbreedte van 17,50 m op laagwaterkentering. Daarop werd een rijspakwerk aangelegd met daarop weer een kleikade waarvan de kruin tot 3,40 m +AP reikte. Tenslotte werd de eigenlijke zanddam afgewerkt met een overhoogte van 1,00 m met het oog op de inklinking (afb. 14). Tijdens de aanleg van het rijspakwerk moest deze ook herhaaldelijk worden verhoogd vanwege de sterke inklinking.

De dam werd op het nauwste gedeelte van het Sloe aangelegd; uit de situatie zou kunnen volgen dat dit tevens in de buurt was van het wantij. Toch was dit niet het geval: bij de afsluiting liep het verval soms op tot bijna 1 m. De lengte van de dam bedroeg 1000 m, waarvan 365 m tussen de lijnen van laagwater en de rest op schorren en platen. De bouwwijze en de afsluitingsmethoden geleken dus veel op die welke bij dijkaanleg door een kreek gebruikelijk was; wel werd een schaalvergroting toegepast.

12. Plaats van het wantij



DWARSPROFILLEN VAN DEN SLOEDAM.

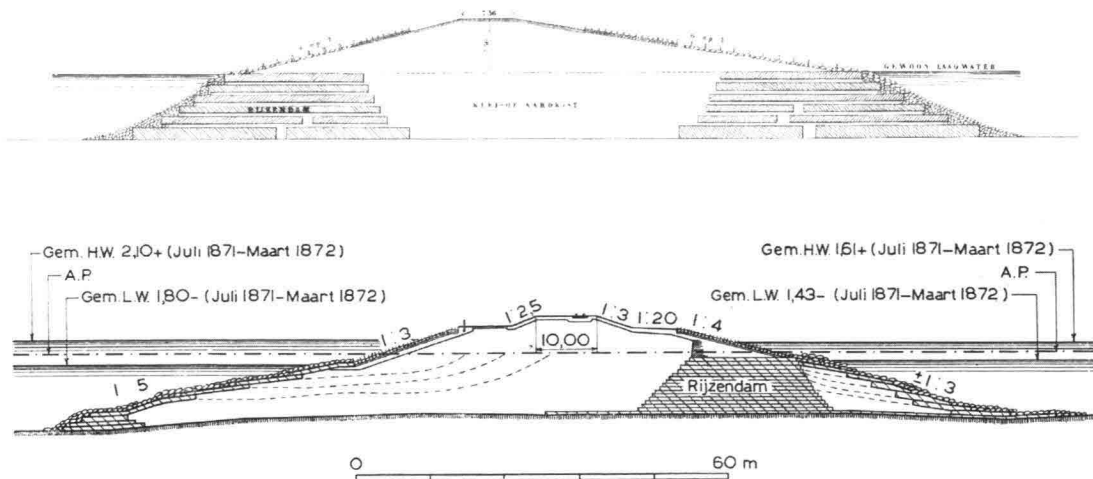
[ZUIDZIJDE]

SCHAAL 1 A 800.

[NOORDZIJDE]

FIG. 1

ONTWERP VAN SCHRAVER. (1810)



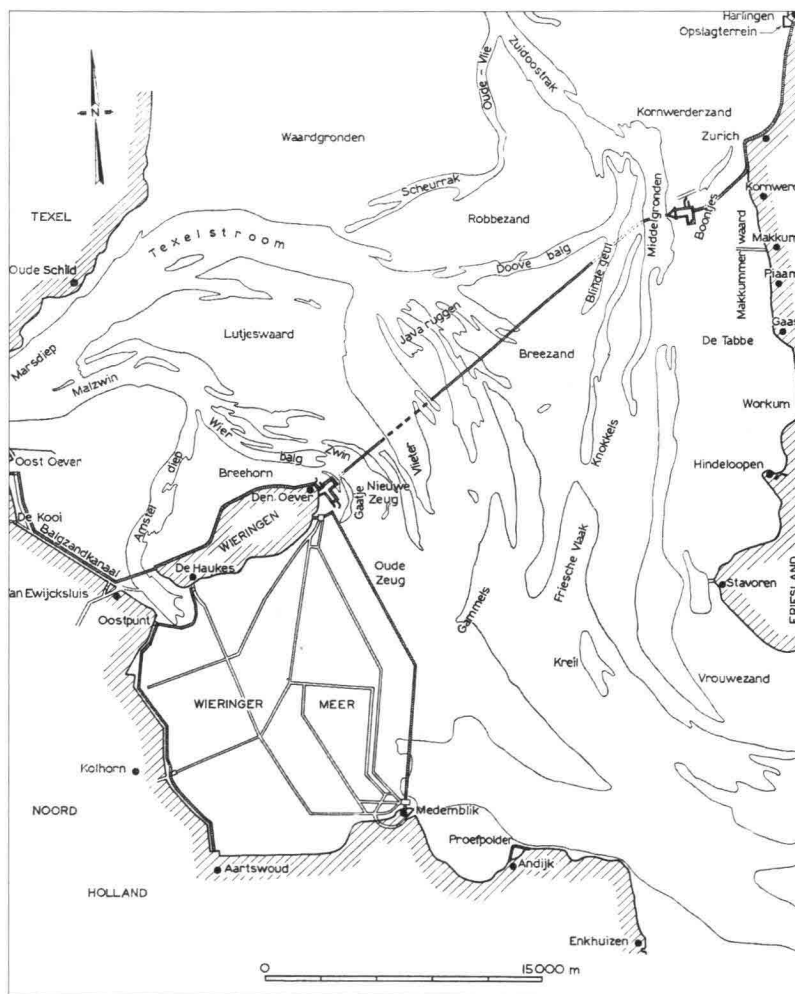
13. Sloedam. Ontwerp Schraven (1810)

14. Sloedam, dwarsprofiel van het uitgevoerde ontwerp

De afsluitdijk van de Zuiderzee (afb. 15)

Om de polders in de Zuiderzee aan te kunnen leggen was het dienstig eerst de getijbeweging er uit weg te nemen en er een binnenmeer van te maken: het IJsselmeer. Alleen voor de eerste polder, de Wieringermeerpolder, is hierop om des tijds wille een uitzondering gemaakt; met de aanleg van de ringdijk hiervan werd namelijk direct begonnen (sluiting 1929) zonder op de afsluiting van de Zuiderzee als geheel te

wachten. Ook de dam door het Amsteldiep, tussen Wieringen en de kust van Noord-Holland, in feite een deel van de Afsluitdijk, kwam vroegtijdig tot stand, namelijk reeds in 1924. Daardoor werd tevens op kleinere schaal ervaring opgedaan voor de twee afsluitingen in de Afsluitdijk tussen Noord-Holland (Wieringen) en Friesland, te weten de geulen Middelgronden en Vlieter. De breedte van deze geulen bedroeg respectievelijk 1.566 meter en 2.805 meter. Het getijvolume wordt wel als een maat gehanteerd voor de moeilijkheidsgraad van een afsluiting (afb. 16). Voor zover het moeilijk is om een dergelijk werk tot een goed einde te brengen, is het getijvolume inderdaad een goede indicatie. Maar ook andere



15. Afsluitdijk van de Zuiderzee met sluitgaten

omstandigheden bepalen dit, zoals de aard en toestand van de bodem, de mate van blootstelling van het werk aan de overheersende windrichting, de fre-

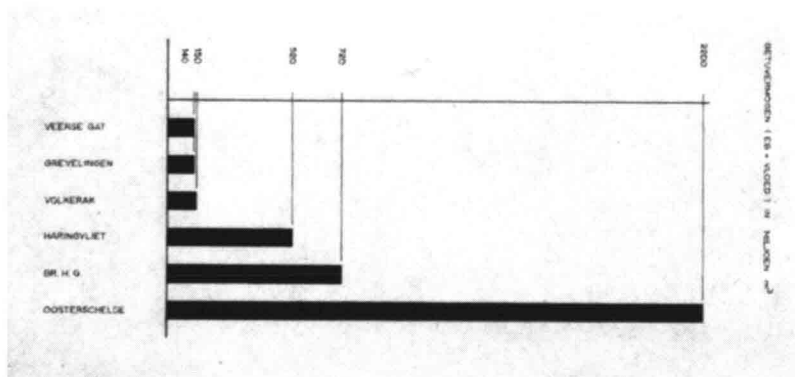
quentie en zwaarte van de stormen, de beschikbaarheid van mensen en materieel, de bekwaamheid en ervaring van de betrokken mensen, etc.

De aanleg van de Afsluitdijk was een uitzonderlijk groot werk, waarbij vele tot die tijd vanwege de schaal onbekende problemen moesten worden opgelost. De dijk moest worden aangelegd op een zandige zeebodem, doorsneden met de geulen die reeds genoemd zijn. Om te voorkomen dat deze geulen zich zouden verleggen tijdens de aanleg van de dijk moesten ze met behulp van zinkstukken worden vastgelegd. Op dit zinkwerk heeft men veel kunnen besparen door het aanleggen van beteugelingsdammen* van keileem. Deze keileem was een diluviale* leem met veel keien erin - vandaar de naam - ontstaan als eindmorene van de gletsjers in het Rissglaciaal. Uit proeven bleek de keileem niet in water uiteen te vallen en zeer stroombestendig te zijn. Nadat dit eerst in het laboratorium en verder door praktijkproeven was vastgesteld is er een beteugelingsdam van keileem gestort door de geul in het Amsteldiep (afb. 15 en 17). Op deze beteugelingsdam is de eigenlijke dijk verder gebouwd. Zoals uit de afbeelding blijkt was het mogelijk de beteugelingsdam te fixeren zonder dat veel zinkwerk nodig was. Wel bleek het nodig een paar maal met keileem na te storten, maar de beteugelingsdam is dan ook drie jaar aan stromingen en golven blootgesteld geweest eer ze werd gebruikt als fundering voor de eigenlijke dam.

Aangezien deze proef met een beteugelingsdam van voornamelijk keileem zeer goed geslaagd was is ook de

Afsluitdijk tussen Wieringen en Friesland op analoge wijze gebouwd. Verreweg over het grootste deel van zijn lengte (29 km) werd de keileem rechtstreeks op de bodem gestort, waarbij de ontgronding aan de kop van het gemaakte werk beperkt bleef door met materieel te werken van een grote capaciteit.

Ter plaatse van de geulen werd de beteugelingsdam en de aansluitende zandbodem geheel met zinkstukken verdedigd tegen uitschuring door de stroom. Vervolgens werd van weerszijden op de beteugelingsdam de sluitkade gestort met behulp van drijvende grijperkranen. Door de grote capaciteit gelukte het zo de koppen van deze sluitkade naar elkaar toe te brengen tot ook de laatste opening was gedicht. In het zwaarste geval waren de verliezen aan keileem bij deze operatie zo'n 50%; ook was er bij het eerste sluitgat, de Middelgronden, een ontgronding van de naastliggende zandbodem tot een diepte van 28 meter beneden de waterspiegel. Door omlegging van de sluitkade en door de stortcapaciteit van keileem tot het uiterste op te voeren gelukte het evenwel het gat te dichten. Vervolgens kon het zand te-

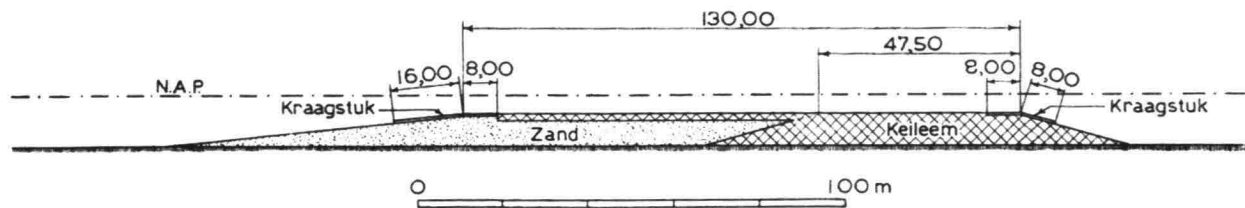


16. Het getijvolume als maat voor de moeilijkheidsgraad van een afsluiting

gen deze kade worden gespoten (met behulp van zandzuigers) en onder profiel gebracht, waarna de afwerking volgde (afb. 18).

De gevolgde sluitingsmethode was dus in principe analoog aan die welke eerder ook was gevolgd, bij-

17. Dwarsprofiel beteugelingsdam Amsteldiep





18. Afsluitdijk Zuiderzee. Sluitgat Middelgronden, twee dagen voor de sluiting

voorbeeld voor de sluiting van het Sloe. Alleen was nu de schaal een veel grotere en was de rijzendam vervangen door de beteugelingsdam van keileem en de kleikade eveneens door een kade van keileem. Uiteraard zijn ook andere voorstellen voor de sluitingsmethode overwogen. Een ervan is vermeldenswaard, omdat ze in een richting wees die later bij de Deltawerken mede is ingeslagen voor de helft van de afsluitingen. Voorgesteld werd namelijk om drijvende gewapend betonnen sluizen te bouwen, voorzien van hefdeuren, deze naar het sluitgat te transporteren, af te zinken en aan te storten. Deze bijzonder inventieve gedachte werd gelanceerd in *De Ingenieur* in een artikel van de hand van Ir.J.de Booy Jr. "Werkwijze voor het afdammen van stromend of aan getijbeweging onderhevig water".²

Een kritische beschouwing van zijn ideeën brengt en-

kele bezwaren aan het licht met betrekking tot de sterkte en stijfheid van de constructie op een onregelmatig bodemoppervlak en het benodigde materieel om de sluizen precies op hun plaats af te zinken. Voor de doorlaatcaissons van het Veerse Gat, het Volkerak en de noordelijke geul van het Brouwershavense Gat is dit tenslotte gelukt, maar dit waren in feite tijdelijke hulpwerken, waarbij de constructie van de tijdelijke schuiven een wat ruime speling wel verdroeg en de aanstortingen tijdens onder- en achterloopsheid in verband met de afmetingen niet zo nauwkeurig staken. Het waren immers tijdelijk fungerende caissons en geen permanente sluizen.

Pas bij de stormvloedkering van de Oosterschelde is met behulp van groot en bijzonder materieel en werktuigen een kunstwerk gebouwd van blijvende aard, dat aan alle eisen van bedrijfszekerheid kan voldoen. Ten tijde van de aanleg van de Afsluitdijk van de Zuiderzee zou zulks nog niet mogelijk zijn geweest. Maar als idee had dit plan geniale en vooruitstrevende trekken.

Daarmee zou immers tevens voorzien zijn in de noodzaak uitwateringssluizen in de Afsluitdijk aan te leggen voor de peil- en afvoerregeling van het water in het IJsselmeer. Deze drijvende sluizenmethode heeft men echter te riskant geacht. Ten tijde van de sluiting als boven omschreven waren dan ook de vaste uitwateringssluizen reeds in een bouwput gebouwd en in bedrijf gesteld.

2. *De Ingenieur* 1930, no. 33, B 199-205. Zie ook *De Ingenieur* 39 (1924) B 165-166.

Dijkherstel op het eiland Walcheren

Verwoestingen door oorlogshandelingen

Zoals reeds vermeld was in oktober 1944 het eiland Walcheren geïnnundeerd doordat geallieerde luchtbombardementen op vier plaatsen de dijken hadden vernield (afb. 19).

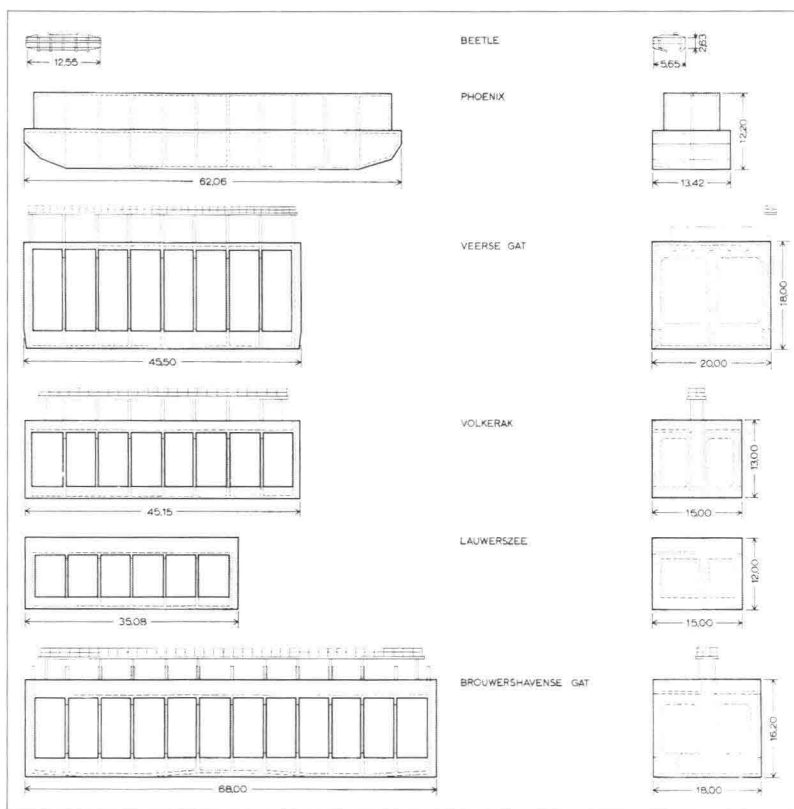
Het eiland beheerste de toegang tot de haven van Antwerpen en op deze wijze werden de Duitsers uit hun stellingen op het eiland verdreven. Slechts enkele weken na het bombardement, omstreeks half november, werd een ploeg mensen onder leiding van ir. P.Ph. Jansen van de afdeling Dijksverhogingen van Breda naar Middelburg verplaatst en daar gedetacheerd. Ook ir. P.A. van de Velde was daarbij en vanaf die tijd dateert dan ook de nauwe samenwerking tussen deze twee waterstaatsingenieurs met betrekking tot het dijkherstel en de latere afsluitingswerken in de Delta.

Uiteraard was het pas na de bevrijding in mei 1945 mogelijk het herstel ter hand te nemen. Alleen het zuiden van Nederland was daarvoor immers nog maar bevrijd en er was voorlopig nog veel gebrek aan materiaal en materieel. Het werk bestond voornamelijk uit het vastleggen van dijkskoppen om verdere achteruitgang door uitscheuring tegen te gaan. Verder werd er wat rijshout en steen met vrachtauto's uit België aangevoerd, zodat ook enig zinkwerk op geulbodems mogelijk was, ofschoon lang niet voldoende. Pas na de bevrijding van het

noorden kwam er zodanige hulp dat het herstel van de dijken ter hand kon worden genomen. Alle winterstormen waren toen over het eiland heengegaan en de zee had volop de tijd gehad om ter plaatse van de dijkbreuken diepe geulen uit te schuren. Deze omstandigheid vergrootte het probleem in hoge mate. Verder was er tijdens de Duitse bezetting veel zwaar materieel verloren gegaan. Maar de Engelse ge-

19. Walcheren 1944 - 1945. Dijkbreuken en inundaties





20. Een paar modellen van caissons en pontons, oorspronkelijk bestemd voor de aanleg van invasiehavens)

nie bood zijn diensten aan en van de Zuiderzeewerken waren er nog MUZ-kranen*, zuigers en baggermolens die niet naar Duitsland waren weggevoerd³. De N.V. Maatschappij tot Uitvoering van Zuiderzeewerken was

3. MUZ: Maatschappij tot Uitvoering van Zuiderzeewerken

eigenaar en stond ze met de bemanning af. Aanvankelijk werd voortgebouwd op de ervaringen bij de Zuiderzeewerken. Zo werd voor de dichting van het gat in de Nollendijk bij Vlissingen begonnen met de bodembescherming over een beteugelingsdam. Daaroverheen trachtte men een kleidam aan te leggen met behulp van drijvende kranen. Maar de Boomse klei die men daarvoor gebruikte, was van mindere kwaliteit dan de keileem die bij de Afsluiddijk van de Zuiderzee was gebruikt en bij de optredende stroomsnelheden van 4 meter per seconde lukte het niet om blijvende vorderingen te maken. In een dooftijperiode vorderde men 20 meter per dag, maar gedurende het volgende springtij spoelde alles weer weg.

Door deze omstandigheden gedwongen en gelet op de grootte van de dijkbreuken werd omgezien naar onconventionele middelen. Daarbij viel het oog op de drijvende pontons* en caissons van gewapend beton die in diverse afmetingen nog voorradig bleken te zijn in Engeland. Hun oorspronkelijke bestemming was het vormen van de tijdelijke geallieerde invasiehavens aan de Normandische kust in Frankrijk geweest (juni 1944), maar er was een reservevoorraad van over in verschillende maten en uitvoering (afb. 20). Ook ander materiaal was beschikbaar, zoals bijvoorbeeld stalen netten die hadden moeten dienen voor het opvangen van gelanceerde torpedo's.

Het was de geniale gedachte van Jansen om deze grote gesloten pontons voor de sluiting in te zetten en het was zeker een gedurfd plan. Maar tenslotte was er gebrek aan veel, zo niet aan alles, na het mislukken van de beteugelingsdammen uit Boomse klei.

Hoewel de aannemers wantrouwend stonden tegenover het gebruik van deze in wezen voor hen vreemde elementen zijn ze op grote schaal ingezet, want er was weinig keus. Er was niet alleen weinig keus, er was ook weinig tijd. Want in de herfst van 1945 konden weer stormen verwacht worden die het maken van afsluitingen tot een zeer riskante bezigheid zouden maken.

Hieronder volgt nu een beknopte beschrijving van de techniek van afsluiten van de vier grote dijkbressen. Voor de bijzondere omstandigheden waaronder deze werken werden uitgevoerd zij verder verwezen naar de levendige beschrijving daarvan door ir. H.A. Ferguson in zijn *Delta-Visie*, een uitgave van de hoofddirectie van de Waterstaat.

Nolledijk bij Vlissingen

De dijk rond Walcheren moest op vier plaatsen worden gedicht. Het eerst werd het gat in de Nolledijk bij Vlissingen aangepakt (afb. 21). De nieuwe dijk werd binnenwaarts aangelegd over een lengte van 520 meter. Het sluitgat zou worden gedicht met 18 pontons van 12,55 meter lang, 5,65 meter breed en 2,63 meter hoog, de zogenaamde beetles*. Op 22 augustus 1945 waren er reeds 13 op hun plaats gezet, nog vijf lagen klaar, gekoppeld, om met behulp van een grote drijvende kraan in de resterende opening te worden gevaren om daar af te zinken. Maar eer het zover was, stak er een zomerstorm op waardoor niet alleen de vijf gekoppelde maar ook nog acht van de reeds geplaatste beetles verloren gingen. Toen is er



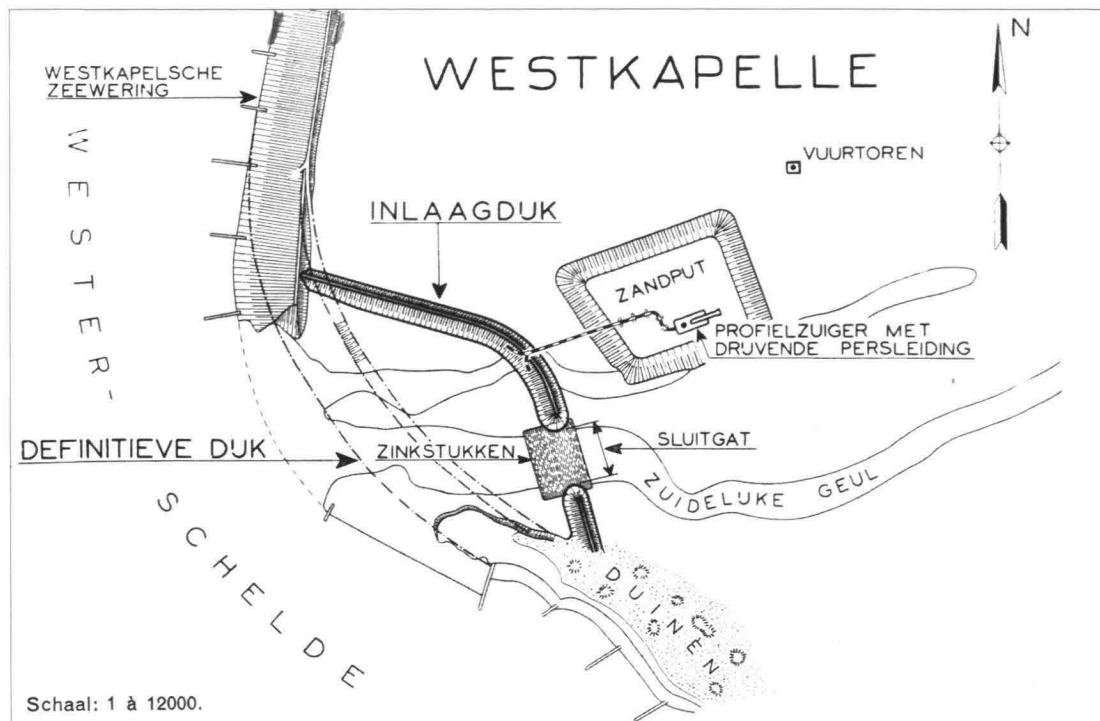
21. Vloedstroom door de Nolle bij Vlissingen

een binnenvaartschip, een zogenaamde Kempenaar, in het sluitgat aan de grond gezet plus een paar betonnen pontons. Door het schip met klei te ballasten en daarop met klei en antitorpedonetten* te werken werd getracht de lekken naast, tussen en onder de afgezonden pontons en het schip te dichten. Ofschoon het schip brak en de onder- en achterloopsheld groot was lukte dit en kon een sluitkade tot NAP+ 3 meter van klei worden opgetrokken.

Maar tijdens een nieuwe storm op 24 september brak de afsluiting weer door en het gelukte pas op 2



22. Gebruik van beetles in het gat van de Nollendijk



oktober, na een week van dag en nacht werken, weer te sluiten, door nieuwe pontons af te zinken (waarvan een van 38 x 17 meter en vier meter hoog), door het gebruik van veel klei en antitorpedonetten, door op de grote betonnen ponton nog 14 kleine ijzeren pontons te plaatsen en door onophoudelijk zand te spuiten (afb. 22).

Westkapelle

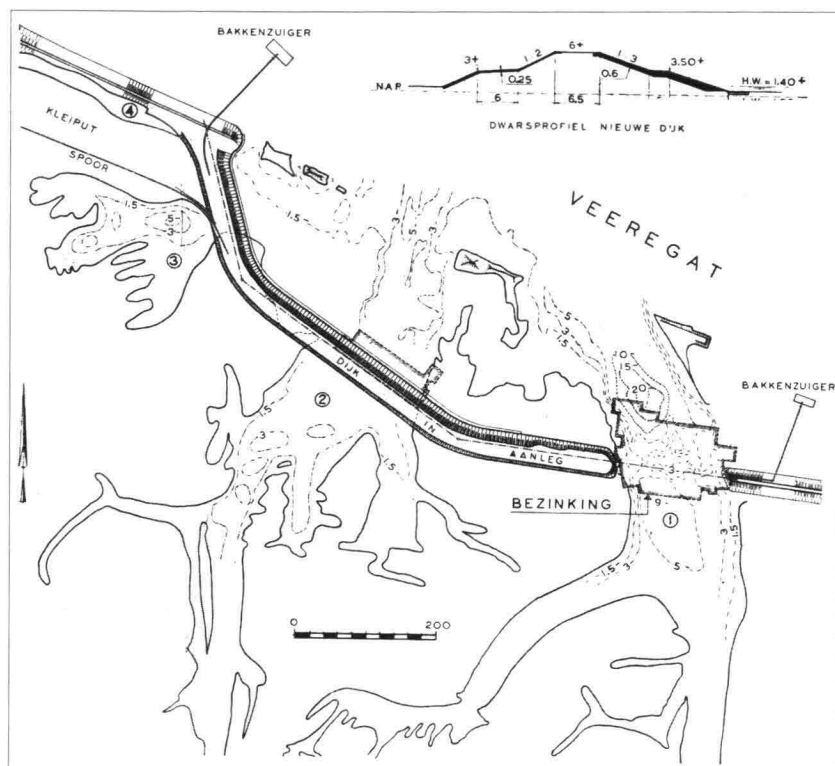
De bres bij Westkapelle was definitief gedicht op 10 oktober, toen een dam van met zand gevulde zakken

23. Sluitgat van de bres bij Westkapelle, september 1945

over de rij afgezonken pontons was aangelegd en alle lekkages door het storten van steen, puin en klei voldoende veilig waren gestopt. Ook hier werd gedurende het werk veel tegenslag ondervonden. De inlaagdijk met sluitgat werd ook hier aan de binnenkant van het tracé van de definitieve dijk aangelegd (afb. 23).

Veere

Bij Veere was de dijk eveneens naar binnen gelegd



24. Sluitgat bij Veere

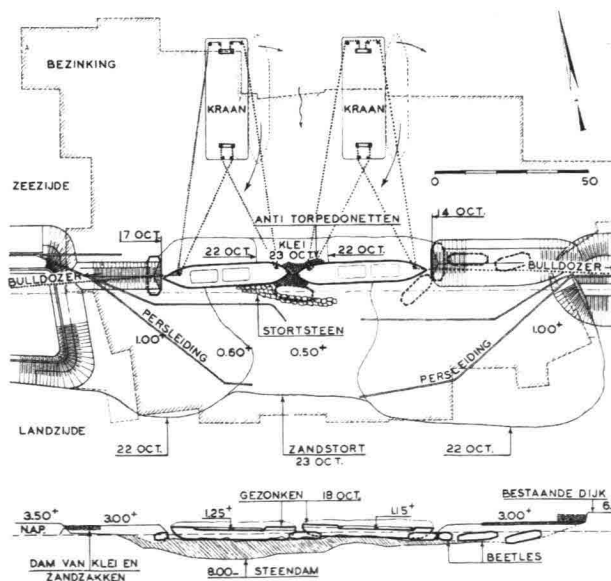
ten opzichte van het oude tracé, over een lengte van 1.000 meter. Daarbij moesten diverse geulen worden gekruist, waarvan de grootste over een breedte van 160 meter als sluitgat moest gaan fungeren. Deze werd daartoe eerst van een bezinking voorzien (afb. 24). Dit gat werd verder vernauwd tot 100 meter en tot een diepte van 3 m -NAP door een stenen drempel te storten. Op 18 oktober 1945 werden met behulp van drijvende kranen twee betonnen schepen

afgevoerd, op de drempel afgezonken en met klei gevuld, terwijl verder met beetles en antitorpedonetten met klei de gaten en lekken werden gedicht (afb. 25).

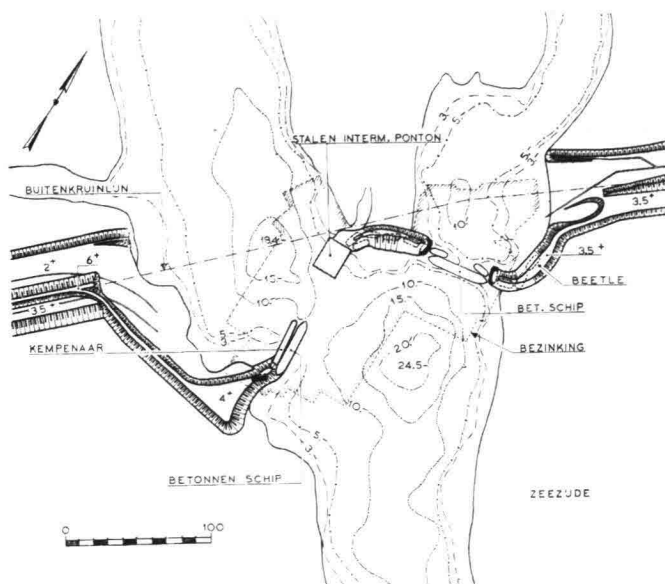
Rammekens

De afsluiting van het laatste gat, bij Rammekens ten oosten van Vlissingen, leverde de grootste problemen op. De dijk was hier over 750 meter vernield en de nieuwe dijk met sluitgat werd zo'n 150 meter naar binnen gelegd. Door een vijftal geulen trok per tij 10 tot 24 miljoen m³ water (bij doortij en bij springtij). De middelste geul was de grootste en

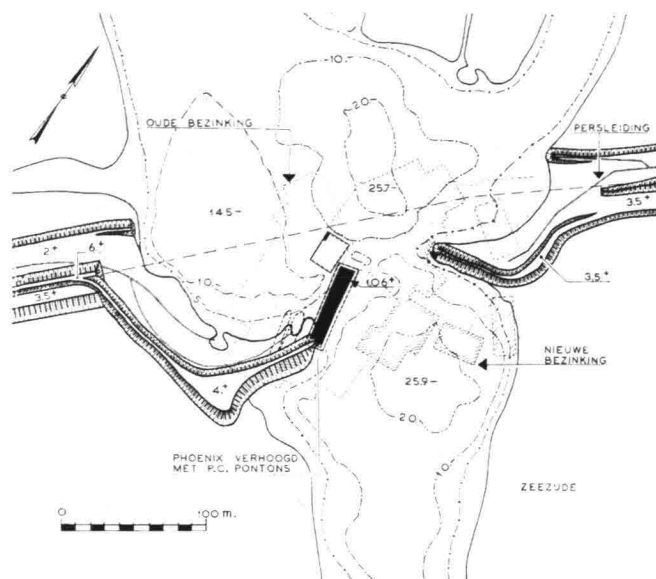
25. Het sluitgat bij Veere geblokkeerd, 18 oktober 1945



ZEEDIJKEN



DIJKBREUKEN EN HET DICHEN DAARVAN

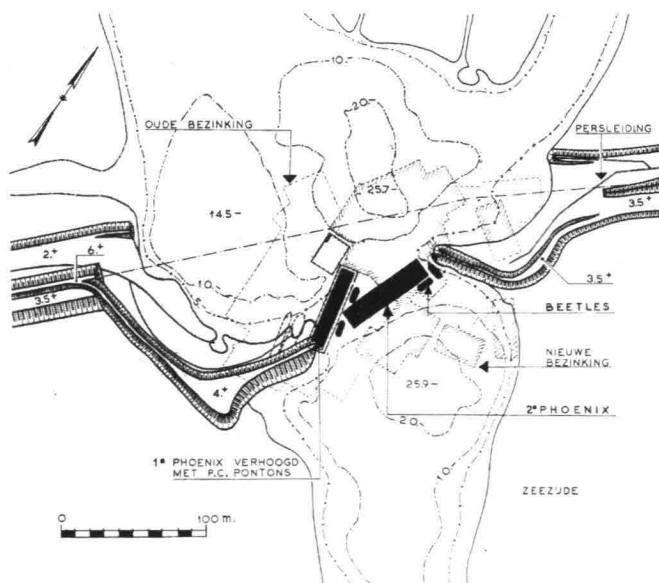


26. Het sluitgat bij Rammekens, eind november 1945

28. Sluitgat bij Rammekens na de mislukte blokkering van 1 december 1945. Toestand begin januari 1946 (rechtsboven)

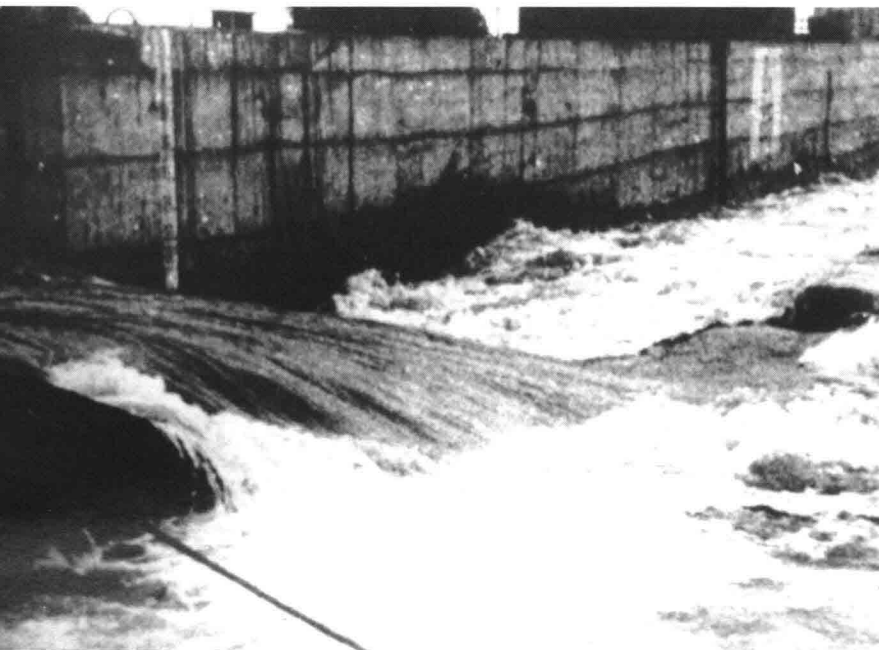
29. Het sluitgat bij Rammekens voor de tweede maal geblokkeerd op 24 januari 1946

daarom werd daar het sluitgat geprojecteerd (afb. 26 t/m 30). Voor het passeren van de kleinere geulen waren daarbij reeds twee betonnen schepen van 44 meter lengte en een ijzeren Kempenaar tot zinken gebracht en met zand en klei gevuld (28 november 1945). Op 1 december werd vervolgens een Phoenix-caisson van 60 x 12 meter, hoog 12 meter, in het resterende sluitgat gebracht en met 180 ton steen ge-



ballast. De achter- en onderloopsheid* was echter zo hevig dat de bezinking en de bestorting van de vrij smalle drempel werd ondermijnd en meegenomen in de naastliggende diepte (afb. 27). De caisson verzakte mee en ook een stalen ponton waartegen de Phoenix was afgezonken, verdween in de diepte. Er ontstond een kuil van 25 meter diepte waar eerst een schiereiland met een stuk dijk was geweest. Na nieuwe bezinkingen om dit nieuwe sluitgat ter plaatse van deze dijkskop te formeren en de bodem opnieuw te beschermen werd een tweede Phoenix op 24 januari 1946 ingevaren met behulp van vijf sleep-

27. De op 1 december 1945 geplaatste Phoenix-caisson is hevig achter- en onderloops



30. Het sluitgat bij Rammekens tijdens de werkzaamheden

boten. De resterende openingen werden met beetles zo goed mogelijk gesloten en met klei en antitorpedonetten werd de achter- en onderloopsheid bestreden. Met drie kranen voor de klei en drie zandzuigers voor het zand werd de zaak verder geconsolideerd; op 3 februari 1946 was de afsluiting in voldoende mate veilig en kon men beginnen de dijk verder op te bouwen en af te werken.

Tussenbalans

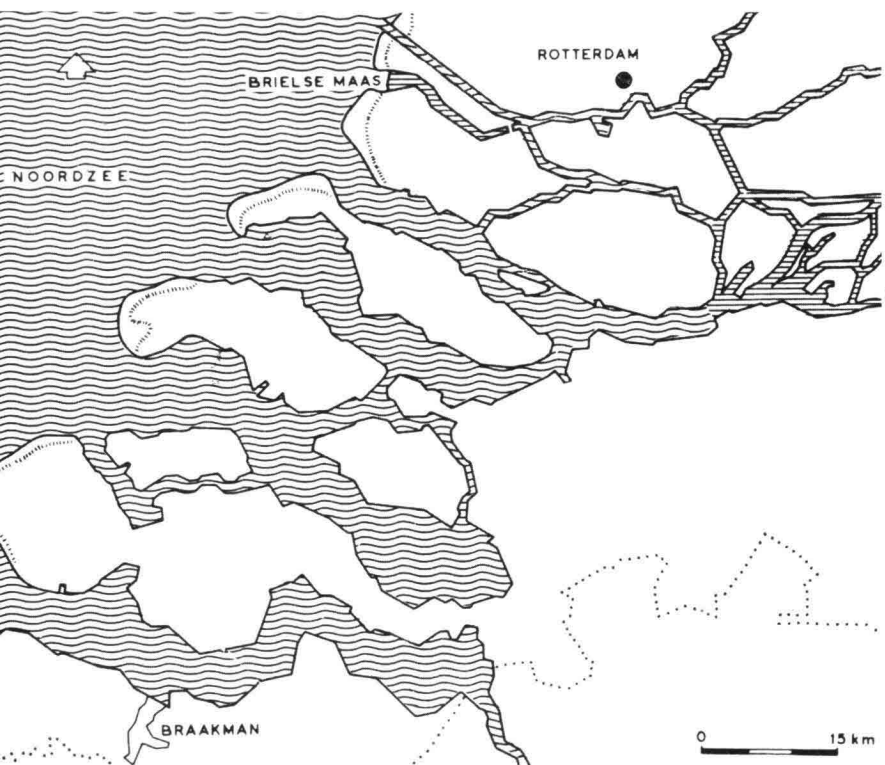
De stand van ervaringen

Het komt zelden voor dat men grote werken moet uitvoeren waarvoor van te voren geen ontwerp is gemaakt noch research is gepleegd. Sinds 1927 beschikt de Nederlandse waterbouwkunde over een Waterloopkundig Laboratorium, waarin alle grote en risikante waterbouwkundige werken van tevoren worden onderzocht en waarin ook tijdens de uitvoering nog de belangrijke en bepalende details door berekeningen en experimenten worden begeleid. Voorts is er ook een constante stroom van fundamentele research die niet direct op een bepaald werk betrokken is, maar in breder verband wel op de achtergronden. Voor al dit soort onderzoeken was in 1945 nauwelijks tijd of gelegenheid. Vrijwel alles is tijdens de uitvoering zelf op het werk beslist en er is dus bij het dijkherstel Walcheren zeer veel geïmproviseerd. Dit gebeurde op grond van inzichten en ervaringen die vaak niet geheel toereikend bleken om de schier onoverkomelijke tegenslagen het hoofd te bieden. Dientengevolge is er ook veel nieuwe ervaring opgedaan die de waterbouwkundige techniek met een sprong vooruit bracht en die na de stormvloed van 1953 voor het provisorische herstel en het definitieve Deltaplan van onschatbare waarde is geweest. Deze ervaring had in de eerste plaats betrekking op het gebruik van grote starre elementen als schepen

en caissons voor het dichten van sluitgaten, met alle complicaties van manoeuvreren en afzinken die daaraan waren verbonden. Verder is er veel praktische ervaring opgedaan met betrekking tot de erosieve kracht van de stroom, de snelheid en de diepte van ontgrondingen, de nodige uitgebreidheid van bezinkingen en de vereiste zwaarte van de stortsteen. Deze laatste elementen hebben dus alle betrekking op de vorming van de drempel waarop caissons worden afgezonken. Tenslotte is veel inzicht verkregen in de noodzaak om achter- en onderloopsnelheid* bij het gebruik van caissons zo veel mogelijk tegen te gaan en na het afzinken snel de kop in te drukken.

Brielse Maas

Gedurende de oorlog en de bezetting 1940 - 1945 zijn de studies met betrekking tot de waterstaatkundige toestand in Zuidwest-Nederland krachtig voortgezet. Dit leidde tot verschillende alternatieve voorstellen van Van Veen waarbij onder meer drie, vier of vijf eilanden zouden worden verenigd (zie ook de Proloog). Bij elk van deze voorstellen was de afsluiting van de Brielse Maas een noodzakelijk onderdeel, zodat ook eer de definitieve beslissing omtrent het geheel der maatregelen was gevallen tot deze afsluiting kon worden besloten (afb. 31)



31. Deltagebiet, eind 1952, met gesloten Brielse Maas en Braakman

Het dijkherstel op Walcheren leidde tot enige vertraging in de aanpak, maar bood tevens de gelegenheid om de plannen in technische zin bij te stellen op basis van de bij Walcheren opgedane ervaringen. Daarbij werden voor de vorming van het eigenlijke sluitgat van de Brielse Maas twee typen caissons geprefabriceerd, te weten een open type dat met een drijvende kraan moest worden geplaatst en een type dat behalve in het midden, van een bodem was voor-

zien en dat drijvend kon worden aangevoerd en afgezonden door afsluiters in de bodem te openen, in elk compartiment een (afb. 32). Daarna werden de caissons zo snel mogelijk gevuld met zand en klei, om de stabiliteit en de aansluiting op de stenen drempel te vergroten, en de situatie te consolideren.

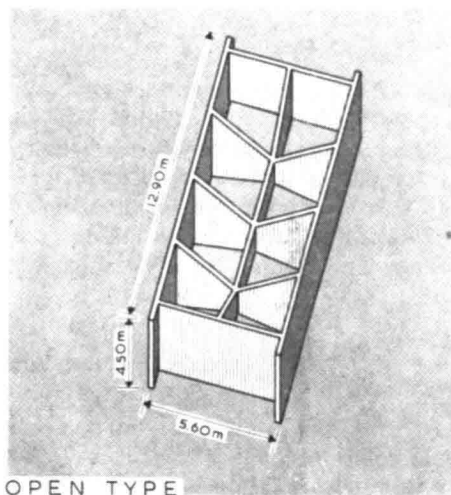
Bij de Brielse Maas was sprake van twee geulen: de (noordelijke) vloed-schaar was circa 375 meter breed en de (zuidelijke) ebschaar* circa 250 meter. Daartussen was een ondiepte over circa 170 meter lengte. De ebschaar was aanmerkelijk dieper dan de vloed-schaar; daarom werd het laatst te sluiten gat van 60 meter lengte in de ebschaar geprojecteerd.

De volgorde van werkzaamheden was ook hier weer dat het eerst de dam over de ondiepe delen op de zandplaten en de aansluiting aan de oevers werd aangebracht, waarbij de vloed-schaar en een deel van de ebschaar met behulp van de geprefabriceerde caissons werden gedicht, in totaal 75 stuks. Daarna werd het overgebleven grote sluitgat gedicht met een 'Normandische' Phoenix B2-caisson. Vanwege een beschadiging van de drempel door het anker van een baggermolen was een extra zinkstuk ter plaatse nodig. Om de diepgang van de caisson daaraan aan te passen moest een deel van de bovenbouw nog worden gesloopt. Op 3 juli 1950 was dit gat gesloten en kon de verdere afbouw beginnen.

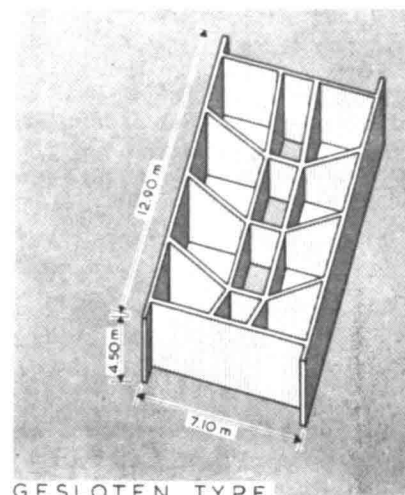
Braakman

In het zuiden van Zeeland lag de Braakman, een inham van de zee die Zeeuws-Vlaanderen bijna in tweeën deelde en bovendien bij stormvloed door de relatief grote dijk lengte waarmee het omgeven was een gevaarlijk aangrijpingspunt voor overstromingen vormde (afb. 31). Afsluiting en gedeeltelijke inpoldering zou dit gevaar letterlijk indammen, 1.300 ha. vruchtbare grond opleveren en van belang zijn voor de waterhuishouding en de recreatie in het gebied. Besloten werd daarom tot afsluiting. Het werk was van een omvang als van de afsluiting van de Brielse Maas, maar vanwege de trechtervormige mond van de Westerschelde was het tijverschil ter plaatse opgelopen tot 3 à 5 meter (doodtij en springtij). Dit leidde tot een zeer grote getijstrooming aan de monding van de Braakman, waardoor een sluitgat nodig bleek van 110 meter breedte. Ook hier viel men terug op de Phoenix-caissons, maar hiervan zouden er twee stuks nodig zijn.

Indien nu de eerste caisson was afgezonken zou in het resterende deel van het sluitgat een te hoge stroomsnelheid gaan optreden. Dat was ontoelaatbaar vanwege de stukgrootte van de steen op de zinkstukken van de drempel en ook vanwege het gevaar van te grote ontgrondingen van de bodem naast de bezinkingen. Ontoelaatbaar vooral vanwege de onmogelijkheid om de tweede caisson direct na het afzinken zo zwaar te ballasten, dat bij het slechts enkele uren daarna komende waterstandsverschil van het getij de zijdelingse druk zou kunnen worden



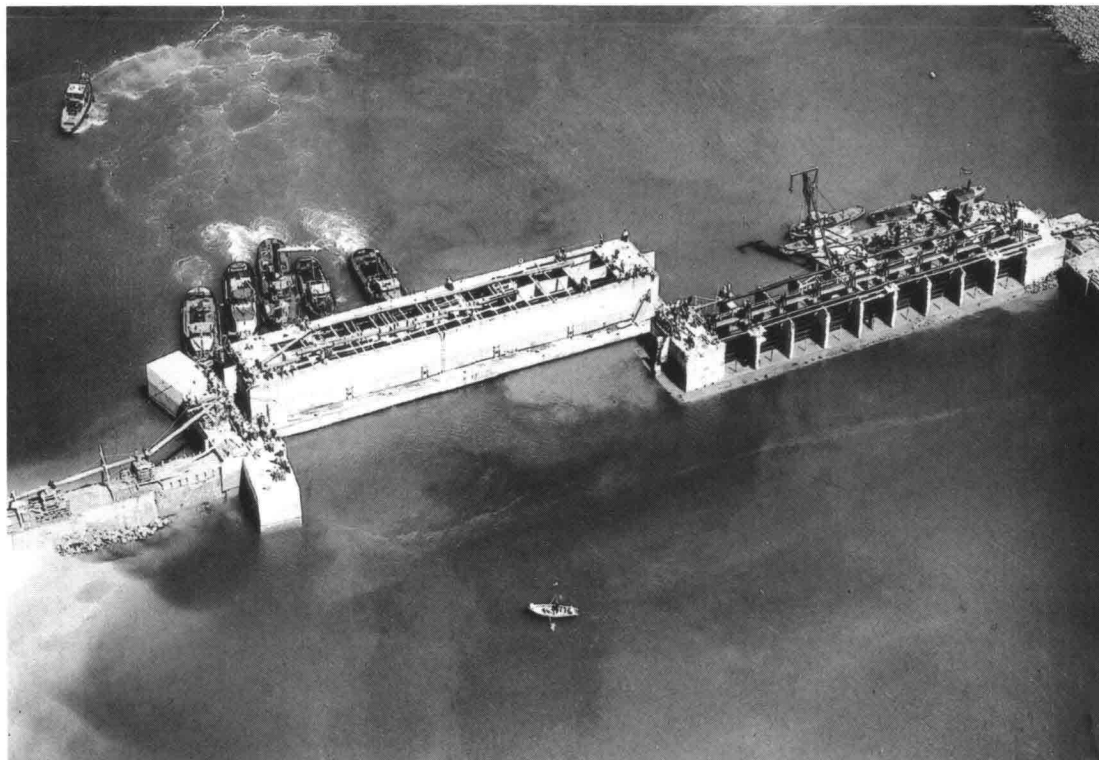
OPEN TYPE



GESLOTEN TYPE

32. Caissons voor de Brielse Maas

weerstaan. Deze caisson zou dus gevaar lopen verloren te gaan doordat hij van de drempel zou worden weggeschoven. Daarom werd van de eerste caisson het bovenstuk ten dele gesloopt en vervangen door stalen schuiven, gemaakt van damplanken (afb. 33). Deze schuiven konden worden bediend door lierwerken*. Na het afzinken kon daarom bij geheven schuiven de stroom in- en uittrekken, zodat de tweede caisson na plaatsing kon worden geballast en aangestort bij een veel geringer waterstandsverschil dan anders het geval zou zijn geweest. Nadat beide caissons waren geconsolideerd kon men de afsluiting in principe voltooien door de schuiven neer te laten en de dam af te bouwen. Dit gebeurde op 30 juni 1952.



33. Braakman gesloten met twee Phoenix-caissons

Door deze gang van zaken was het principe van de doorlaatcaisson voor het eerst toegepast in de Nederlandse waterbouwkunde. Ofschoon reeds in 1922 deze uitvinding van De Booy jr. betreffende een door-

laatcaisson of doorlaatsluis was geëctrooieerd, was ze bij de aanleg van de Afsluitdijk niet toegepast en daarna in het vergeetboek geraakt. Maar ze zou in de toepassing nog een wijde vlucht nemen. Want spoedig kwam de vloed, de stormramp van 1953.

Stormramp en dijkherstel in 1953

De omvang van de ramp

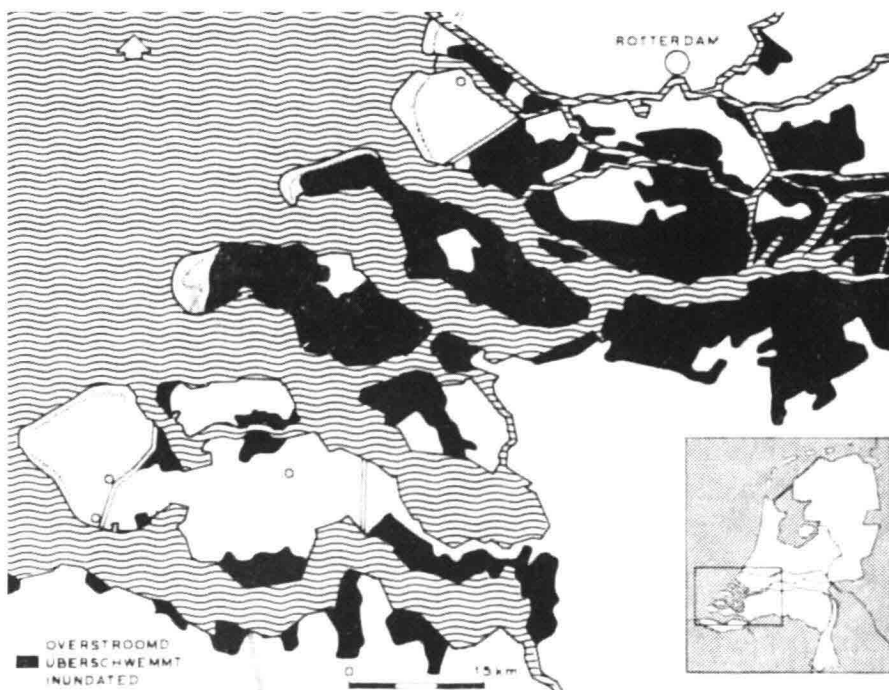
De stormvloed van 31 januari - 1 februari 1953 was er statistisch gezien een met een frequentie van één-maal per 300 jaar. Hij was door de waterstaatsingenieur en onderzoeker Johan van Veen voorspeld op grond van zijn waarnemingen en met de mogelijkheid van een dergelijke storm was rekening gehouden in de plannen om eilanden samen te voegen en dijken te verhogen. (Zie de Proloog). De afsluitingen van de Brielse Maas en de Botlek in het noorden van het Deltagebied en van de Braakman in het zuiden waren een begin van een antwoord, toen deze stormvloed in 1953 optrad met zijn grondige verstoringen van een cultuurgebied en zijn tol aan levens van mens en dier. Het zoute zeewater bedekte 200.000 ha vruchtbaar land, 1.835 mensen en een paar honderdduizend stuks vee verdronken, 47.000 huizen, boerderijen, scholen en kerken werden beschadigd waarvan 3.000 woningen en 300 boerderijen onherstelbaar werden vernield.

Op vele plaatsen is deze nationale ramp beschreven en is de hulp ook van het buitenland gememoreerd. Wij gaan hierop nu niet verder in, omdat het ons gaat om de geschiedenis van de afsluitingstechniek van stroomgeulen.

Er was circa 1.000 km dijk beschadigd, waarvan on-

geveer 500 km geheel of grotendeels was vernield. Veel daarvan kon na de stormvloed op de klassieke wijze vrij snel worden hersteld. Zo waren er op 1 mei 1953 van de circa 90 stroomgaten reeds 58 weer gedicht. Maar hoe ernstig deze ramp ook was, de geschiedenis van het dijkherstel bracht ten aanzien van de methoden van afsluiting van de ontstane stroomgeulen weinig nieuws. De traditie van vele eeuwen, de geschie-

34. De inundaties in 1953



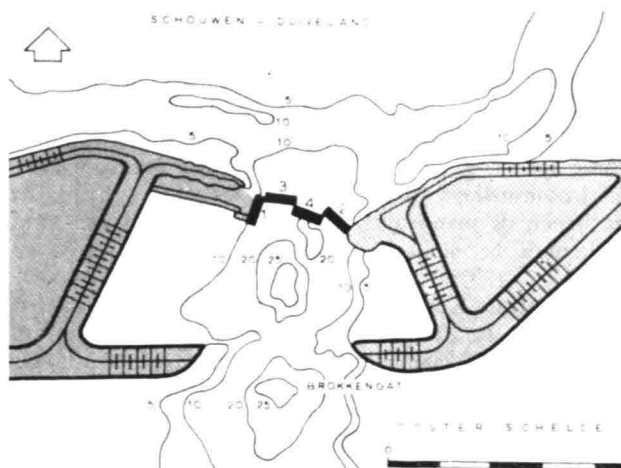
denis van het herstel van de Walcherse dijken in 1945 en de afsluitingen van de Brielse Maas en de Braakman hadden een basis gelegd voor de methoden van aanpak van het dijkherstel die vruchtbaar bleek. De omvang van de overstromingen is weergegeven in afb. 34. Het laatste stroomgat was op 5 november 1953 gedicht, zodat in een periode van 10 maanden het herstel zich heeft voltrokken. Behalve van de klassieke methoden die reeds lang in de traditie waren verankerd is bij het herstel gebruik gemaakt van de recente ervaring in de toepassing van caissons. De eenheidscaissons* die voor de afsluiting van de Brielse Maas en de Braakman waren ontworpen en toegepast, werden bij het herstel op grote schaal gebruikt en ook de nog steeds resterende Phoenix-caissons vonden toepassing.

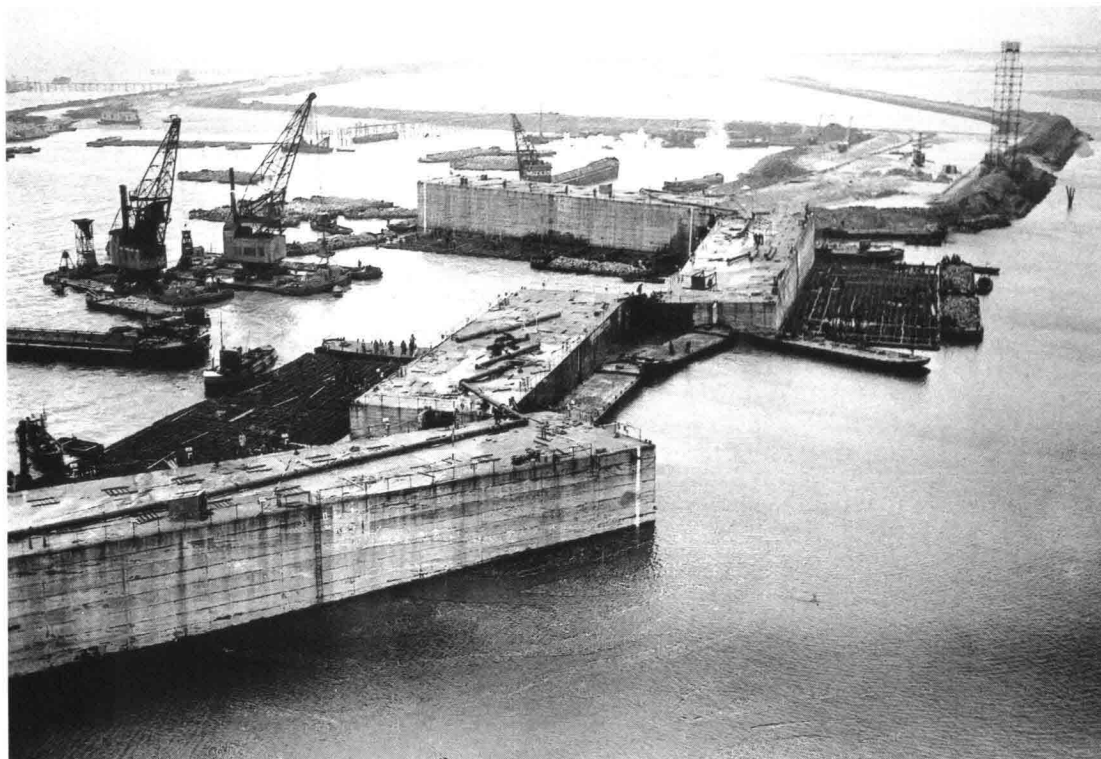
Ouwerkerk

Eén afsluiting willen we hier memoreren, omdat ze met zo veel moeilijkheden en tegenslagen gepaard ging. Het betreft de dijkdoorbraak bij Ouwerkerk, aan de Oosterschelde, op het eiland Schouwen-Duiveland. Dit eiland had weinig verdelingsdijken en een laag gelegen maaiveld, zodat de getijstroom door het gat uitzonderlijk groot was. Daardoor werd dit gat uitgeschuurd tot een diepte van meer dan 25 meter. Aanvankelijk waren er drie gaten in de dijk geslagen, waarvan er een op 4 maart 1953 reeds met een zandzakkendam was gedicht. Voor de andere twee gaten zag men daartoe geen kans en men besloot een ringdijk in dit geval buitenom te maken. Daarin

werden twee sluitgaten geformeerd met zinkwerk en landhoofdcaissons*. Deze raakten bij een van de twee resterende gaten echter ondermijnd en schoven weg. Daarop waagde men de volgende dag nog een poging om met eenheidscaissons (zoals die ook bij de Brielse Maas en de Braakman waren toegepast) dit gat te dichtten. Dagenlang was men daarmee bezig, maar aanvankelijk tevergeefs. Telkens verdwenen er weer caissons in de diepte. Pas na 10 dagen lukte het om het gat te sluiten; schots en scheef stonden de caissons er bij, terwijl de kleinere openingen uiteindelijk met behulp van stenen, klei en antitorpedonetten eveneens waren gedicht. Nu resteerde nog het derde sluitgat. Maar dat lag er inmiddels gehavend bij. De landhoofdcaissons waren ondermijnd en weggespoeld tijdens de worsteling het tweede gat te dichtten. Na veel overwegingen zag men er tenslotte van af het derde gat opnieuw te formeren en af te sluiten. Men viel terug op het gat in

35. Situatie sluiting Ouwerkerk

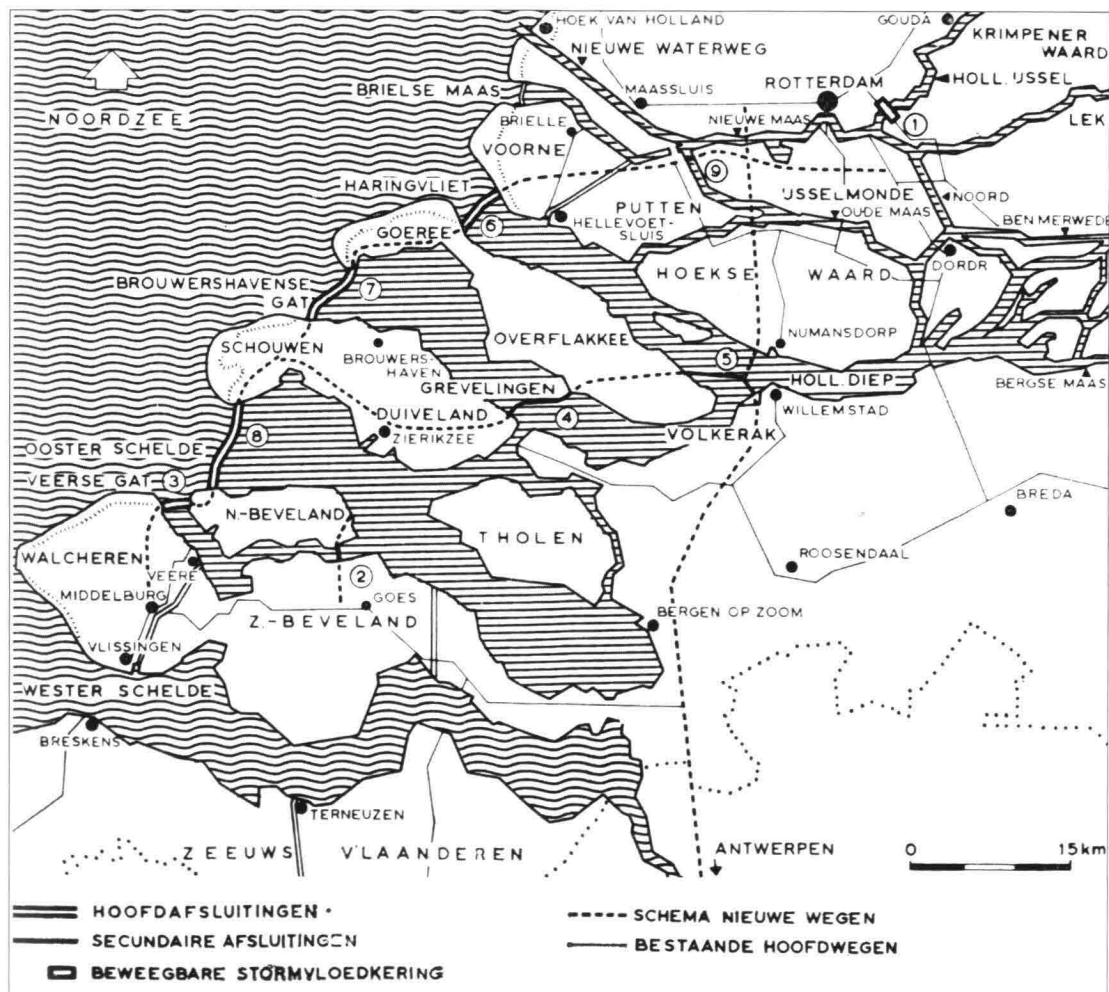




36. Het gat bij Ouwkerk is gesloten; zinkstukken liggen klaar om lekken, onder de caissons door, te beteugelen

het oude dijktracé en verliet dus het 'brokkengat' (zoals de benaming sindsdien luidde). Men werd in die richting ook gestuurd door de resultaten van de inmiddels in het Waterloopkundig Laboratorium verrichte modelproeven. Er werd een bodembescherming van zinkstukken aangebracht van 80.000 m² en vervolgens werd er een drempel geformeerd met een lengte van 200 meter en een breedte van 65 meter; de gemiddelde dikte bedroeg 3 meter. Voor deze drempel was 55.000 ton steen nodig. Omdat het stormseizoen naderde en de dagen korter werden,

werd ook 's avonds en 's nachts tijdens de kenteringen van het getij gewerkt, maar dan bij kunstlicht. De landhoofden werden niet zoals gebruikelijk van eenheidscaissons gemaakt, maar met de veel grotere Phoenix-caissons (afb. 27). Ook het sluitgat werd met Phoenix-caissons gedicht, in twee dagen tijd en in de volgorde als aangegeven in afb. 35. Op 5 november was de sluiting een feit en kon de afwerking beginnen. (zie afb. 36 voor de situatie op deze laatste dag.) Met deze sluiting waren de dijken weer dicht. Maar de schade was nog lang niet hersteld en voor vrijwel iedereen was het duidelijk geworden dat de veiligheid van dit gebied nog veel meer maatregelen vroeg dan oorspronkelijk waren voorzien.



De Deltawerken

Het Deltaplan

Na het herstel van de stormramp van 1953 werden de plannen voor de beveiliging van het zuidwesten des lands, het tegengaan van de verzilting en de verdere ontwikkeling van het gebied dus opnieuw bestudeerd en nu in ruimer verband. Dit leidde tot het ontwerpen en bij wet vaststellen van het Deltaplan in 1958. Maar reeds eerder waren in vijf interim-adviezen van de daartoe benoemde Deltacommissie de noodzakelijke afsluitings- en inrichtingswerken geadviseerd. Men zie hiervoor de uitgebreide rapporten van deze commissie.

Omdat het ons nu gaat om de geschiedenis van de techniek van het afsluiten van stroomgeulen beperken we ons voor wat het algemene plan betreft tot het overzicht van aangelegde dammen en het daarbij behorende tijdschema. Daarbij is door een nummering de volgorde van aanleg aangeduid, lettend op het jaar van afsluiting. In feite zijn dus de sluitgaten genummerd (afb. 37).

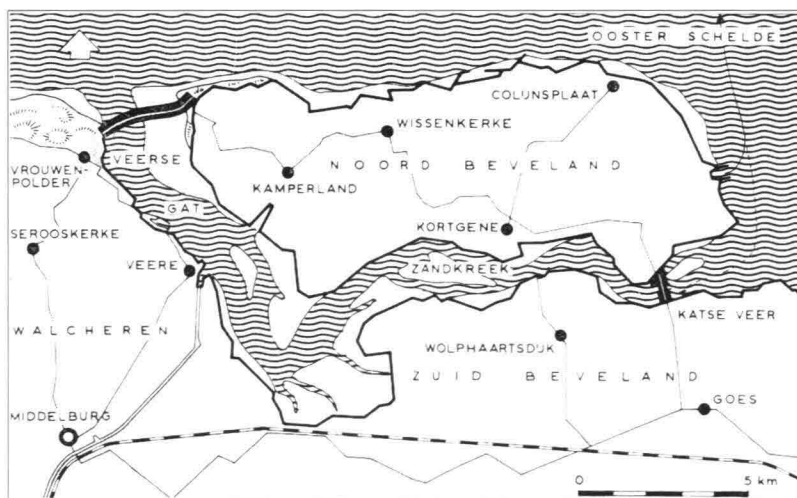
Zandkreek (1) en Veerse Gat (2)

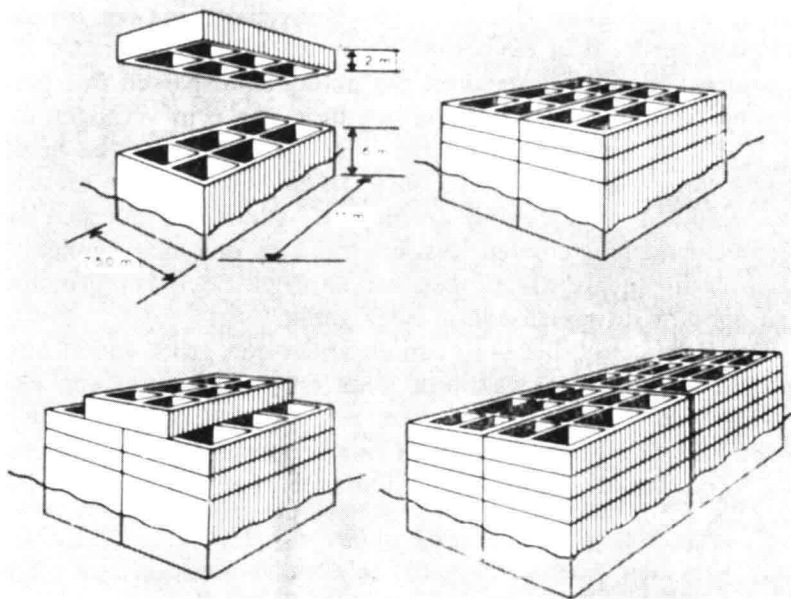
Beide afdammingen maken deel uit van het Drie-eilandenplan voor Walcheren, Noord- en Zuid-Beveland. Uit waarnemingen bleek dat nabij Katse Veer

een wantijgebied lag (afb. 38). Dat werd dus de aangewezen plaats voor een afdamming. Anders zou immers in de Zandkreek een ontoelaatbare bodemerosie ontstaan na het afsluiten van het Veerse Gat. Behalve een afsluitdam was bij Katse Veer ook een schutsluis nodig, om de scheepvaart naar en van het Veerse Meer mogelijk te maken. Om de waterhuishouding te verzorgen is deze sluis tevens als stroomsluis* ingericht. Verder loopt over de sluis en afsluitdam een verkeersweg.

De afsluiting vormde een rustig begin van de hele reeks. Eenheidscaissons waren voldoende om zowel

38. Situatie Drie-eilandenplan





39. Combinatiemogelijkheden van eenheidscaissons

de landhoofden van het sluitgat te formeren als om de sluitdam te maken (afb. 39 en 40). De eenheidscaissons hadden inmiddels hun definitieve vorm verkregen en zij konden op een werkterrein nabij Kats in serie worden vervaardigd. Aanvankelijk werden ze geheel ter plaatse gestort. Het storten van kwaliteitsbeton voor tamelijk dunne wanden is echter problematisch. Mede daarom is men later overgegaan tot het ten dele prefabriceren van de onderdelen, namelijk de wanden, om deze vervolgens op de knooppunten door middel van ter plaatse gestort beton aan elkaar te verbinden. Om bij wat dieper gelegen drempels toch deze caissons te kunnen gebruik-

ken zijn tevens zogenaamde opzetstukken gemaakt, van 2 meter hoogte en in dezelfde vorm als de horizontale doorsnede van de caisson.

Bij de afsluiting van de Zandkreek zijn beide soorten elementen gebruikt. Bij een drempeldiepte van 5 m -NAP betekende dit dus dat men telkens na het afzinken bij laagwater de caissons meteen met zand moest volspuiten en de opzetstukken plaatsen vóór het hoogwaterpeil zou zijn bereikt. Dit geschiedde met een drijvende kraan. De laatste twee caissons waren gekoppeld. Zij werden, steunend tegen een drijvende kraan, tegen de op dat tijdstip nog heersende stroom in, ingedraaid en tegen de reeds geplaatste caissons afgezonken (afb. 40). Tijdens deze manoeuvre daalde de stroomsnelheid van 0,75 naar 0,35 m/s. Na de plaatsing werd door twee perszuigers zand tegen de caissonreeks gespoten, gedurende negen etmalen en met een capaciteit van 35.000 m³/etmaal. Het snelheidsverloop gedurende de manoeuvre werd berekend met behulp van het elektrisch analogon de Deltar, reeds in de Proloog genoemd. (afb. 41).

De ontwikkeling van doorlaatcaissons

De dam door het Veerse Gat vereiste de eerste grote afsluiting in het kader van het Deltaplan. Het getijvolume bedroeg rond 70 miljoen m³ en dit bracht zonder meer de noodzaak mee van een sluitingsmethode analoog aan die van de Afsluitdijk dan wel met behulp van doorlaatcaissons. Vooral de ervaringen

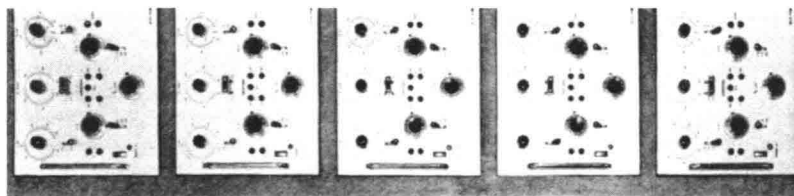


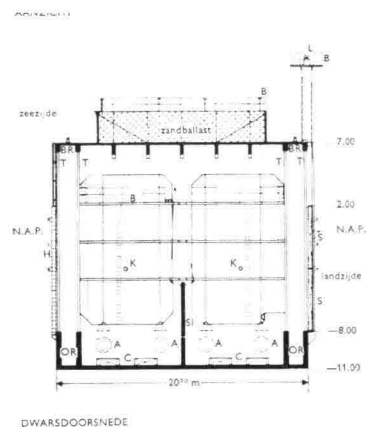
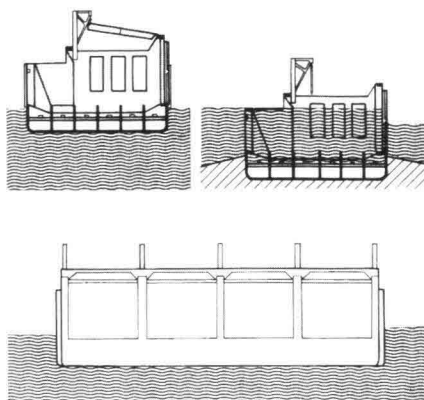
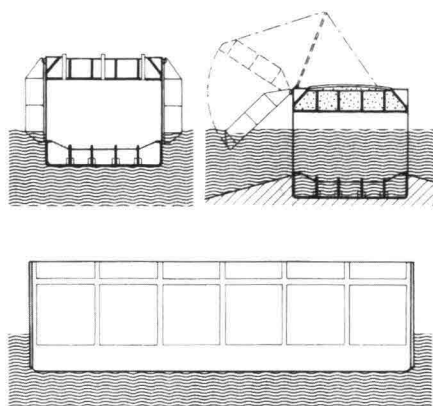
40. De laatste caissons in de Zandkreek worden afgezonken

bij de afsluiting van de Braakman hadden het vertrouwen in het gebruik van doorlaatcaissons doen toenemen en dit leidde tot een intensief zoeken naar een bruikbaar type. Daarbij baseerde men zich aanvankelijk op een modificatie van het aangepaste Phoenix-caisson: een doosligger, waarop dwarswanden met kleppen of schuiven daartussen en een bovenbak of een brug met lierwerken er over (afb. 42 en 43). Maar de wijze waarop een dergelijke drijvende sluis na afzinken op een ruwe stenen drempel zou

komen te rusten was uiteraard onzeker. Daarvoor waren ongunstige aannamen nodig en dit had tot

41. Gedeelte van het elektrisch model, de zogenaamde Deltar; deze analogon-rekenmachine kwam indertijd zeer snel tot oplossingen van getijvraagstukken en dergelijke door toepassing van de analogie tussen elektrische en hydraulische netwerken en daarin optredende stromen





42. Caisson type 1954 (links)

43. Caisson type 1956 (midden)

44. Caisson type 1958 (rechts)

gevolg dat slechts korte eenheden mogelijk waren, omdat anders de materiaalspanningen te hoog zouden oplopen hetgeen tot breuk zou kunnen leiden. Daarbij zou het caisson zodanig kunnen vervormen dat de kleppen of schuiven niet meer zouden fungeren en de sluiting illusoir zou worden. Er was dus een caisson nodig dat in de lengterichting voldoende sterk en stijf zou moeten zijn om breuk of ernstige vervormingen te voorkomen. Dit wees in de richting van hogere en sterkere langs- of zijwanden dan met alleen een onderbak of zelfs met een onder- plus bovenbak mogelijk was. Maar tegelijkertijd was een zo groot mogelijke doorstroombopening nodig. Dit leidde tot een ontwerp waarbij zowel een onderbak als een bovenbak aanwezig was, terwijl van de

zijwanden, die daarmee een geheel moesten vormen als ligger, alleen de wapening en niet de beton moest worden aangebracht om dwarskrachten te weerstaan. De caisson zou zowel moeten kunnen dragen in het midden van de lengte als op de beide uiteinden, omdat tenslotte het vlak en horizontaal afwerken van de stenen drempel wel wenselijk maar niet te garanderen was. De caisson was qua vorm een korte gedrongen ligger teneinde binnen de toelaatbare spanningen en vervormingen te blijven. Verder waren voornamelijk schuifspanningen in de zijwanden aanwezig. Hierdoor was het ontwerp tenslotte uitgegroeid tot een caisson waarvan de beide langswanden bestonden uit totaal vier tralieliggers van staal en voorts met een onder- en een bovenbak, als de randen van deze ligger. Daarbij kon de bovenrand tevens als ballastbak fungeren om de caisson na het afzinken en vóór het sluiten voldoende gewicht te geven tegen een horizontale verschuiving over de

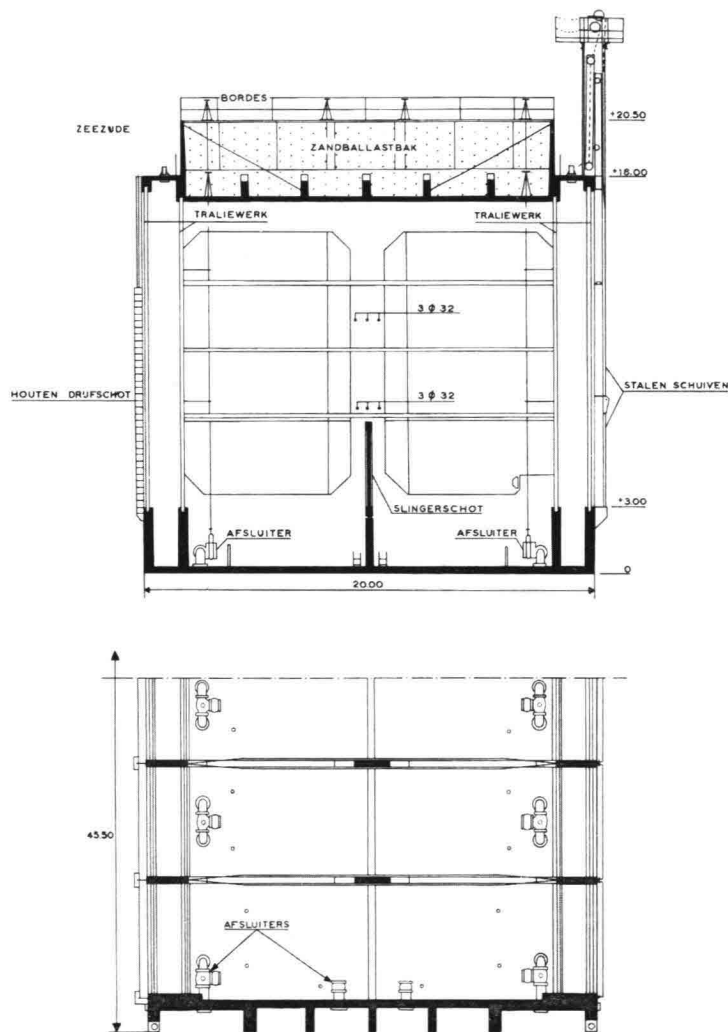
drempel onder invloed van het optredende waterstandsverschil na het sluiten (afb. 44).

Een verdere ontwerpeis was de noodzaak van een voldoende metacenter-hoogte* tijdens het drijven en verslepen, maar ook tijdens het afzinken. De caisson zou immers anders kapseizen. Daartoe werd in het midden op de onderbak over de volle lengte een slingerschor* aangebracht, dat na het afzinken in gedeelten kon worden platgelegd om de voorlopig nog noodzakelijke doorstroming niet te hinderen (afb. 45). Verder moest uiteraard een goed drijfvermogen aanwezig zijn en dit betekende dat de zijwanden tijdens het transport waterdicht moesten zijn. Hierin werd aan de ene zijde voorzien door stalen schuiven, die voor de sluiting immers toch nodig waren, in sponningen tegen een der langswanden te monteren, terwijl de andere langswand een tijdelijke dichting kreeg met behulp van zware houten schotten, over de volle lengte en tegen de buitenkant vastgezet (afb. 45).

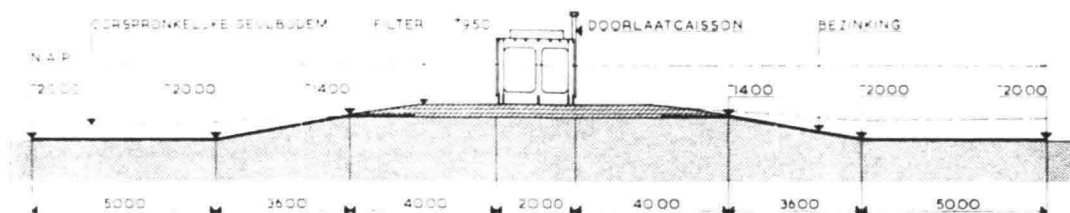
Zo bleek het ontwerp van een doorlaatcaisson, hoe geniaal ook de oorspronkelijke idee was, toch nog uit te groeien tot een schaap met vijf poten. Desalniettemin hebben ze goed gefunctioneerd, al bleken natuurlijk verbeteringen mogelijk. Daarover later.

De sluiting met doorlaatcaissons

Het sluitgat van het Veerse Gat was ruim 300 meter breed, de drempel lag op 11 m - NAP en was 100 me-



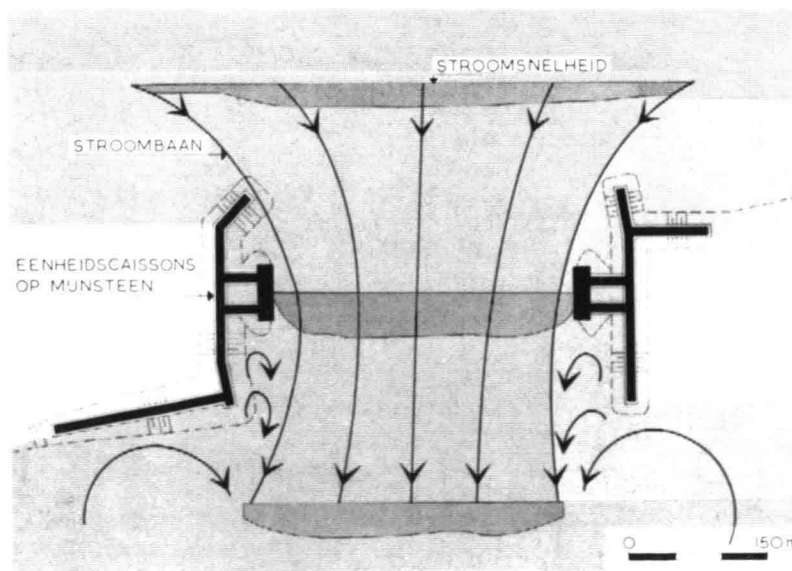
45. Dwarsdoorsnede en bovenaanzicht van het definitieve ontwerp van de caissons voor het Veerse Gat



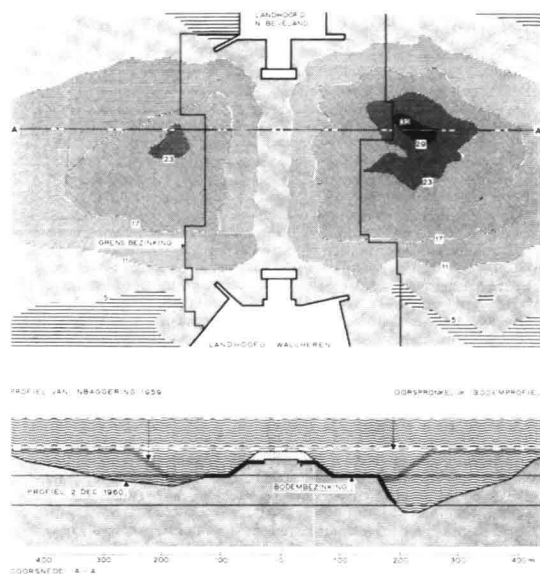
46. Doorsnede van de drempel met opbouw van filter onder caisson

ter breed. Deze drempel was niet meer gemaakt met behulp van klassieke rijzen zinkstukken, maar was opgebouwd als een filterconstructie* (afb. 46).

47. De gekozen sluitgatvorm met de sterkste contractie van de stroom boven de drempel in het sluitgat



Daarbij werd telkens een laag van grover grind of steen aangebracht van zodanige dikte dat de onderliggende laag door de werking van de overtrekkende stroom niet via de holle ruimte van de er bovenliggende laag kon worden weggezogen. Verder was de toplaag van de drempel gemaakt van stortsteen van zodanige stukgrootte dat ze ook tijdens de zwaarste stroming vóór de sluiting stabiel zou blijven liggen. De landhoofden waren opgebouwd uit caissons, waaronder eenheidscaissons en Phoenix-caissons. De hydraulische vormgeving was gevolgd uit laboratoriumproeven met schaalmodellen. De ontzandingen naast de bodembescherming bleken aan de zijkan-ten bijna twee maal zo diep te zijn als in het midden van het sluitgat. Het driedimensionale effect van de wervelstraten* is dus aanzienlijk (afb. 47 en 48). De eb- en vloedstroom door het sluitgat was zodanig dat er ook aanzandingen plaatsvonden op de drempel aan de westzijde. Kort voor de sluiting was men dus genoodzaakt de drempel daar ter plaatse door voorzichtig baggeren van dit zand te ontdoen, ten-einde ook de caissons aan de westzijde gelijkmatig te doen dragen. De rechthoekige sluitgatvorm had toch ook zichtbaar zijn bezwaren. Dit heeft ertoe bijge-



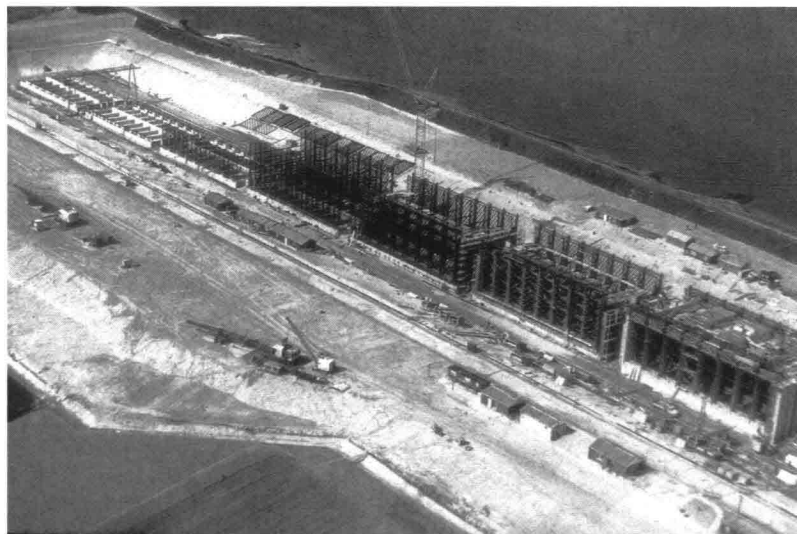
48. De verdiepingen aan weerszijden van het sluitgat

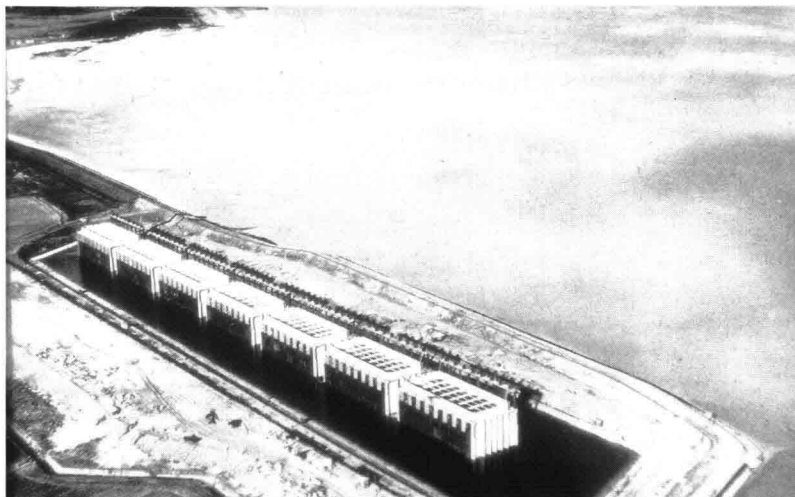
dragen dat bij de verdere caissonsluitingen trapeziomvormige landhoofdcaissons zijn toegepast.

De zeven doorlaatcaissons waren in een apart daarvoor in de nabijheid gemaakt poldertje in serie gebouwd; het poldertje was ingericht als een bemalen bouwput of bouwduk (afb. 49 en 50). De caissons werden met behulp van onder andere sterke zeesleepboten naar het sluitgat gebracht en daar afgezonken vlak voor laagwaterkentering in een doortijperiode. Daarbij werden ze telkens door de boten tegen de voorgaande reeds geplaatste caisson geduwd, terwijl de laatste caisson als een grote deur werd ingedraaid tegen de nog juist lopende ebstroom in

(afb. 51). Vervolgens werden ze afgezonken door de afsluiters in de bodem te openen. Door een niet juiste communicatie tussen caisson en wal strandde het eerste caisson tijdens mist; hij kon echter met extra sleepboten worden vlotgetrokken. De caissons hadden aan de koppen een aantal verticale ribben die bij plaatsing langs elkaar gleden. De tussenruimte werd daarna met lichte stortsteen of grof grind gevuld. Alleen bleef na het afzinken van de laatste caisson een speling over van circa 5 meter. Dit was nodig om de caissons in te draaien, waarbij de lengte van de diagonaal immers vereist was. Deze ruimte werd eveneens opgevuld met stortsteen of grof grind, nadat ze was overbrugd met behulp van kettingnetten.

49. De bouw van doorlaatcaissons in het bouwduk





Na het afzinken werden de zijkanten onmiddellijk aangestort met loodslakken*, afgedekt met basaltstortsteen* tegen onderloopsheid en om de weerstand tegen verschuiven te verhogen; in totaal met 10.000 ton loodslakken en 10.000 ton basaltstortsteen. Meteen werden ook de houten drijfschotten* met behulp van sleepboten weggehaald, werden de schuiven gehesen en de slingerschotten platgelegd (afb. 52). Ook werden de ballastbakken met zand gevuld en afgedekt met mijnsteen (reststeen uit kolenmijnen) om verkeer met vrachtauto's en werktuigen over de rij caissons mogelijk te maken.



Nadat op 24 april 1961 het laatste caisson was afgezonken trok de getijdenstroom twee maal per dag door de nog openstaande caissonreeks (afb. 53). Tenslotte vond de blokkering van de stroming door het sluitgat plaats op 27 april door de schuiven neer te laten. Daarbij werd voor het starten van deze manoeuvre telkens een korte tijdphaseverschuiving in

50. De caissons liggen gereed in het volgelopen bouwdok.
Op de achtergrond het sluitgat (boven)
51. De laatste caisson wordt ingedraaid en afgezonken
(linksonder en rechterpagina)
52. Drijfschotten verwijderen (rechts)







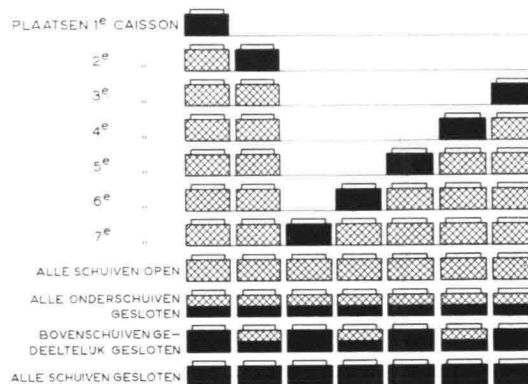
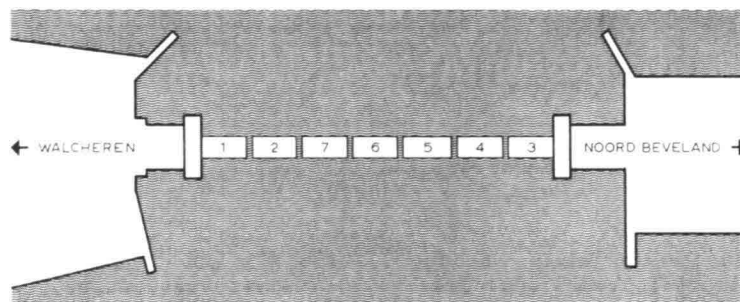
acht genomen, omdat anders de stroomstoot te veel zou zijn voor het elektrische net (afb. 54). Overigens waren steeds reservegeneratoren aanwezig.

Tot slot konden de lierwerken worden verwijderd en kon de dam met al zijn bijkomende werken verder worden aangelegd (afb. 55) en voor het verkeer opengesteld.

In feite verbindt deze dam de twee duinkusten van de eilanden Walcheren en Noord-Beveland. Het tracé had wel verder naar binnen kunnen worden gekozen. Dan zouden de werken minder kans hebben gelopen door de zee-invloed te worden bemoeilijkt. Maar hiervan was juist afgezien omdat een geëxponeerde ligging ook voor de dammen door het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde een nuttige werkervaring zou kunnen opleveren. Gelet op de omvang van deze werken was een dergelijke ervaring geen luxe maar eerder een noodzaak.

Intermezzo I

Toen ik in 1961 naar de Deltadienst werd overgeplaatst was de afsluiting van het Veerse Gat vol in bedrijf. Zoals ik reeds in de proloog opmerkte wilde prof. Jansen meteen in de ontwerpfase een grotere invloed op de vormgeving van de kunstwerken in



Het schema van de sluiting



53. Ebstroom door de zeven caissons (linkerpagina rechtsboven)

54. Het schema van de sluiting (midden)

55. De gereedgekomen Veerse gatdam; aan de zeezijde heeft zich een strand gevormd (onder)

beton en staal, waarvoor formeel de directies Sluizen en Stuwen en Bruggen verantwoordelijk waren. De doorlaatcaissons lagen in het geïnundeerde* bouwdok gereed; ze werden stuk voor stuk van drijfschotten voorzien, leeggepompt en naar het sluitgat versleept om daar te worden afgezonken. Het spreekt vanzelf dat ik deze manoeuvres met volle aandacht volgde, want tenslotte waren het prototypes; voor de nog volgende afsluitingen moesten zeer waarschijnlijk nog vele doorlaatcaissons worden aangemaakt.

De geleidelijke sluiting met behulp van kabelbanen was alleen nog maar een idee dat als alternatief op nadere uitwerking en uitvoering wachtte. Maar ook de doorlaatcaissons moesten nog aan een verder onderzoek worden onderworpen teneinde ze te ontwikkelen tot eenheden die uiteindelijk geschikt zouden zijn om zo mogelijk ook het grootste sluitgat te blokkeren. Dat was de Roompot, de zuidelijke geul van de Oosterschelde, met een getijvolume dat bijna het tienvoudige was van dat van het Veerse Gat.

Het lag dus voor de hand en tevens in de aard en het doel van prof. Jansen dat hij zijn oordeel over de Veersegatcaissons aan mij kenbaar maakte. Dat oordeel was aanvankelijk niet onverdeeld gunstig: hij vond ze te mooi, te degelijk. Naar zijn mening hadden ze moeten worden ontworpen volgens het principe van de 'limit design'*. "Maar nu", zei hij, "zijn het toch weer kunstwerken geworden die een paar eeuwen zouden kunnen trotseren".

Ik kon daarin wel een eind met Jansen meegaan, maar uitte toch één wezenlijke bedenking tegen een

lichter ontwerp: "We kennen de spanningsverdeling tussen caisson en drempel slecht en als er een te grote vervorming of breuk ontstaat bij het ballasten kunnen op het kritieke moment wellicht enkele schuiven niet worden gesloten en mislukt de gehele afsluiting".

Dergelijke opmerkingen van Jansen kwamen vaker voor in onze veelvuldige gesprekken en dat stimuleerde mij sterk in een kritische houding bij het verdere ontwerpen. Juist het contact tussen caissonbodem en drempel is onderwerp geworden van een forse proevenserie op ware grootte, waardoor bij latere caissons een beter bekende krachtsoverdracht* en een hogere wrijvingscoëfficiënt* kon worden aangenomen.

Ook zijn de betonblokken als stortmateriaal bij de geleidelijke sluiting uit goedkope ruwe beton met een laag cementgehalte uitgevoerd, dus volgens het principe van de 'limit design'.

Op dit soort aspecten wordt in het vervolg nog nader ingegaan. Wel kan ik hier reeds stellen, dat gedurende de paar jaar die ik onder prof. Jansen mocht werken - hij vertrok immers vrij abrupt reeds in november 1962 en ik was in het voorjaar van 1961 bij de dienst gekomen - mij mede uit de veelvuldige contacten een vrij scherp beeld voor ogen was gaan staan betreffende de te volgen methoden van afsluiten. Wilden we voor de Oosterschelde een zo breed mogelijke ervaring hebben en een zo diep mogelijk inzicht in de daar te volgen afsluitingsmethode, dan konden we met inbegrip van het Veerse Gat drie

maal zowel een geleidelijke afsluiting als een caissonafsluiting toepassen, te weten:

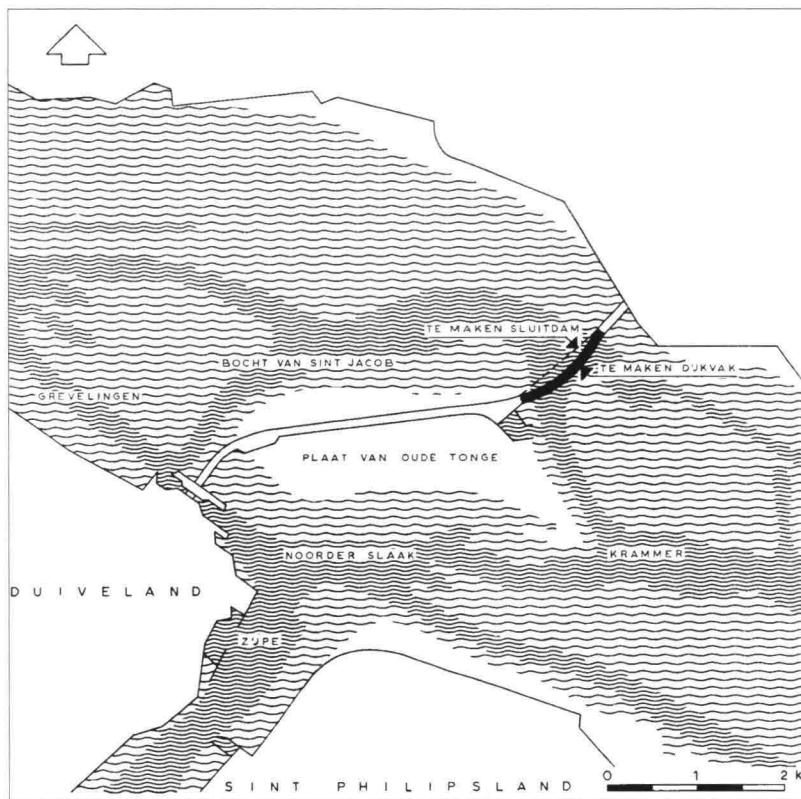
- a) een geleidelijke sluiting voor Grevelingen-noord, Haringvliet en de zuidelijke stroomgeul van het Brouwershavense Gat;
- b) na het Veerse Gat een caissonsluiting voor het Volkerak en de noordelijke geul van het Brouwershavense Gat.

En zo is het ook gebeurd. De opvolgers van Jansen hebben op die beleidslijn weinig of geen invloed ter verandering meer kunnen uitoefenen, zo ze dat al zouden hebben gewild. Toen Jansen vertrok was in feite de koers voor de toe te passen afsluitingsmethoden uitgezet.

Grevelingen-zuid (3) en Grevelingen-noord (4)

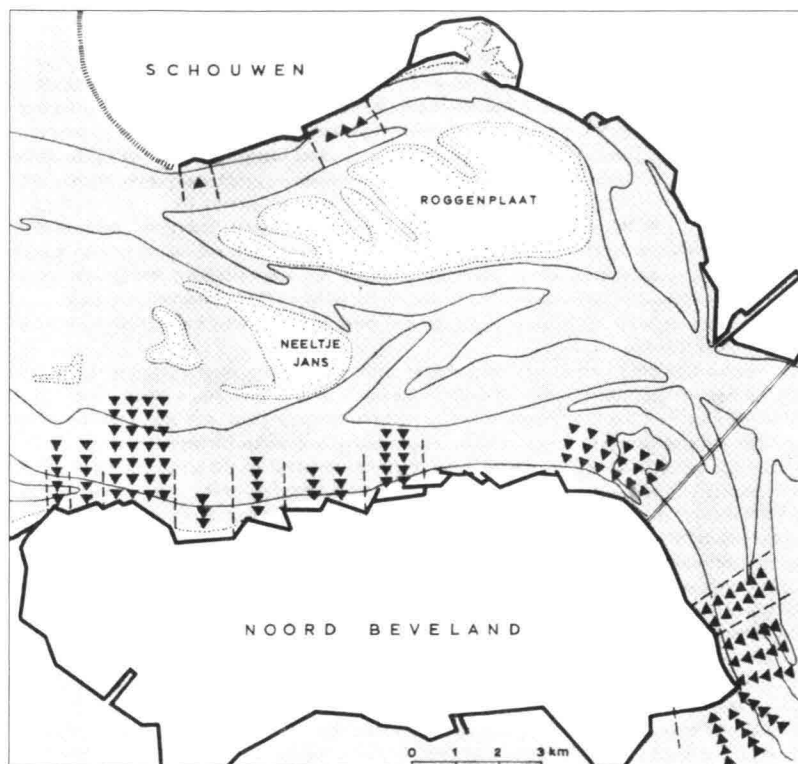
De geulen van de Grevelingen verkeerden eveneens ongeveer in de omstandigheden dat ze in de buurt lagen van een wantijgebied. Dit maakte het afsluiten dus gemakkelijk en voor Grevelingen-zuid is dan ook een sluitingsmethode gevolgd overeenkomstig die van de Zandkreek, namelijk met behulp van eenheidscaissons; zie voor de situatie afb. 56. Alleen voor de drempel zijn ook bij wijze van experiment andere dan de klassieke materialen toegepast, zoals bijvoorbeeld zandasfalt.

Maar voor Grevelingen-noord is deze weg niet gevolgd, omdat hier de gelegenheid zich voordeed om met een alternatieve sluitingsmethode te experimenteren. Daarvoor was inmiddels wel een reden



56. Situatie van de Grevelingendam

gebleken. Ruwweg kon men zeggen dat de omvang en de moeilijkheidsgraad van de afsluiting van het Brouwershavense Gat ongeveer drie maal zo groot was als die van het afsluiten van het Veerse Gat. Verder moest ten aanzien van de afsluiting van de Oosterschelde een moeilijkheidsgraad worden overwonnen die men weer het drievoudige zou kunnen noemen van die voor het Brouwershavense Gat.

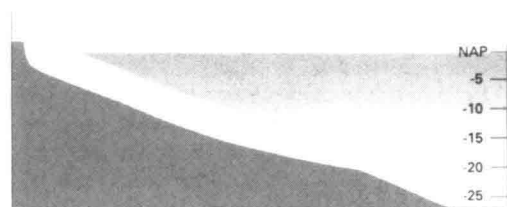


57. Oevervallen op Noord-Beveland. Elk pijltje betekent een oeverval sinds 1880

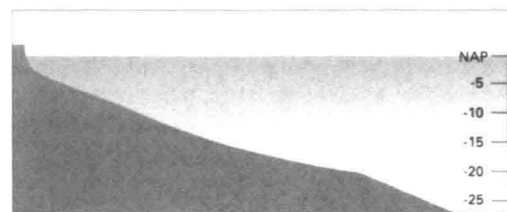
58. Het principe van een zettingsvloeiing zoals deze ook bij een oever-, dijk- en plaatval optreedt

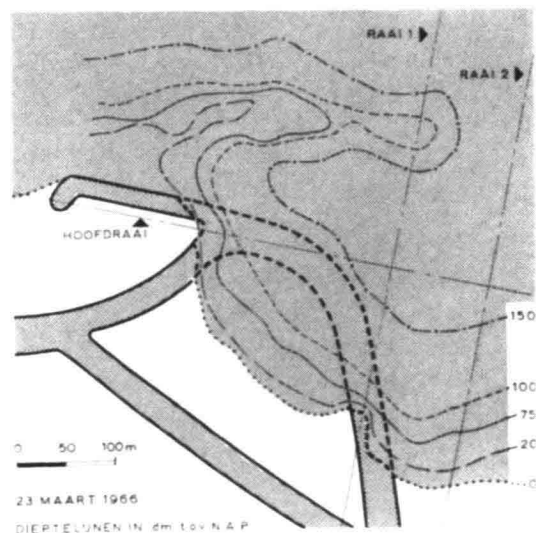
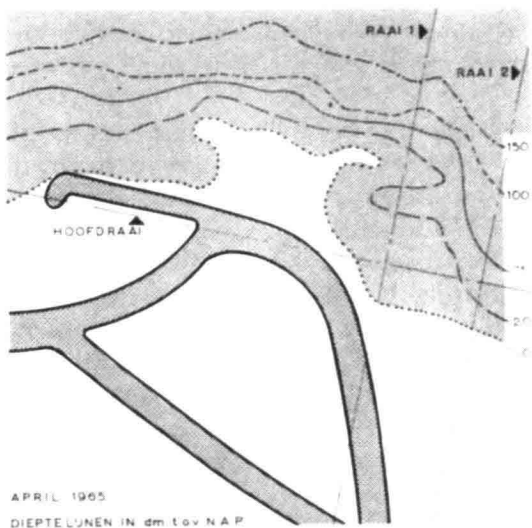
Dit was op zichzelf reeds een reden om niet alles te zetten op de ene kaart van de sluitingsmethode met doorlaatcaissons: de omvang van de werken. Maar daar kwam nog iets bij: de bodemgesteldheid. Langs de noordkust van Noord-Beveland kan men reeds met een blik op de kaart een brokkelig geheel con-

stateren van polders en dijken (afb. 57). De oorzaak daarvan ligt in het veelvuldig voorkomen van oever- en dijkvallen. Na een springvloed of stormvloed had men reeds vaak kunnen constateren dat de onderzeese oever met een deel van de dijk als een zware vloeistof in de diepte was verdwenen. Behalve oever- en dijkvallen komen daar ook verder uit de oever plaatvallen voor. De oorzaak zit in het feit dat er zeer uitgestrekte en dikke pakketten (fijn) zand voorkomen met een gelijkmatige korrel en van een subkritische dichtheid* (afb. 58). Er hoeft soms maar een geringe initiale schok of trilling voor te komen of deze plant zich snel door de zandmassa voort, waarbij er een herschikking van de korrels wil plaatsvinden zodat er een dichtere pakking wil ontstaan. Dit kan echter niet omdat het water niet zo snel kan uit-treden. Het gevolg is dat de korrels als het ware in het water gaan zweven, waardoor de korrelspanning



na een oeverval





en dus de wrijving plotseling wegvalt en het zandmassief in een zware vloeistof met een dichtheid van ongeveer 2,0 verandert. Zo kunnen miljoenen m^3 naar de diepte verdwijnen (afb. 59).

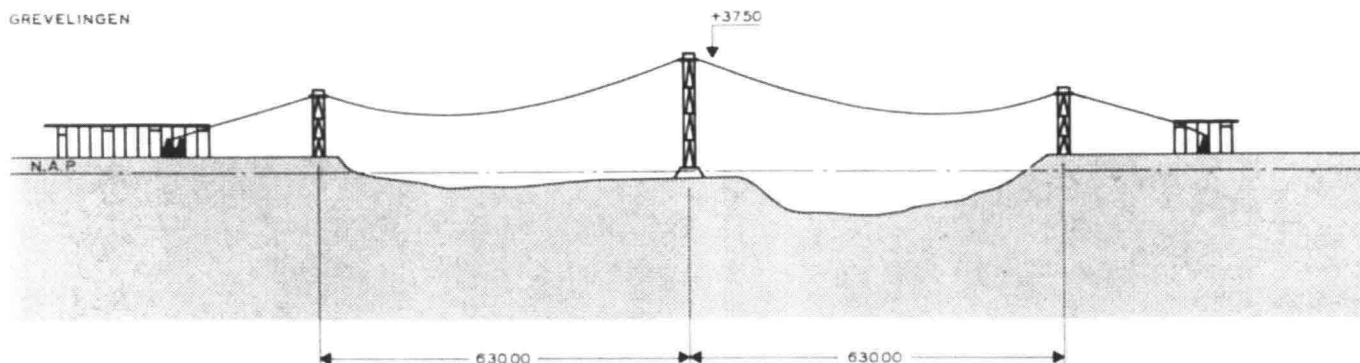
Boringen tot op vrij grote diepte met de mogelijkheid om monsters te nemen en te beproeven hadden nu aangetoond dat deze zandlagen op uitgebreide schaal aanwezig waren ter plaatse van de toekomstige Oosterscheludedam.

Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat een drempelgedeelte, waarop pas geplaatste caissons, kort na het sluiten zou verzakken, waardoor het sluitgat niet alleen weer open zou zijn, maar ook ter plaatse onherstelbaar diep en wijd zou worden uitgespoeld door erosie. De redenering was dat een sluitdam, die zou zijn opgeworpen met een brug of kabelbaan, en die zou wegzakken met het bekende gevolg, wel weer ter plaatse zou kunnen worden gedicht. Dan moesten wel de enkele pijlers van zo'n brug of kabelbaan zeer diep worden gefundeerd. Wel was het risico niet geheel weggenomen, maar hij was toch wel sterk verkleind.

De ontwikkeling van de kabelbaan

Wij zagen al eerder dat een kabelbaan met een aantal zelf aangedreven wagens het beste aan de eisen van het sluitingsbedrijf tegemoet zou komen. Ook bij het uitvallen van een of van enkele wagens zou dan het bedrijf als geheel immers nog niet tot stilstand komen. Dit type kabelbaan was ontwikkeld door

GREVELINGEN



Neyrpic te Grenoble en deze kreeg dan ook de opdracht om in samenwerking met Rijkswaterstaat een aangepast prototype te ontwerpen en te leveren voor de sluiting van Grevelingen-noord. In afb. 60 is deze opstelling weergegeven. Hierbij was slechts op één oever een laadstation* aanwezig, zodat wel het laadbedrijf kon worden beproefd, maar de baan slechts op halve capaciteit kon werken (afb. 61). Ook werd daarbij een steennet ontwikkeld, voor stenen tot 300 kilo, die geleidelijk konden worden gelost door het net aan één kant te vieren (afb. 62).

Zowel voor het theoretische als voor het veld- en laboratoriumonderzoek van het verschijnsel zettingsvloeiing heeft het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft zich verdienstelijk gemaakt, waarbij

we in het bijzonder de naam van ir. H.L. Koning noemen.

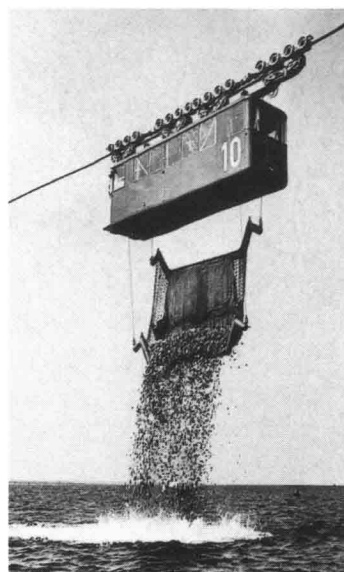
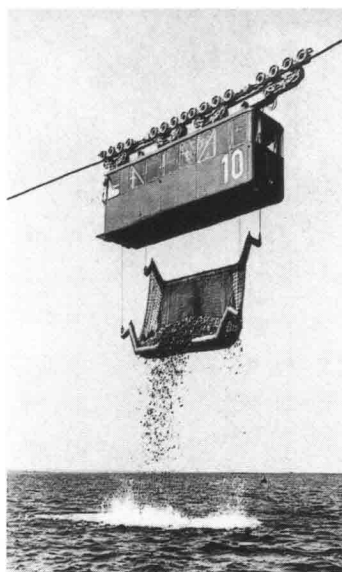
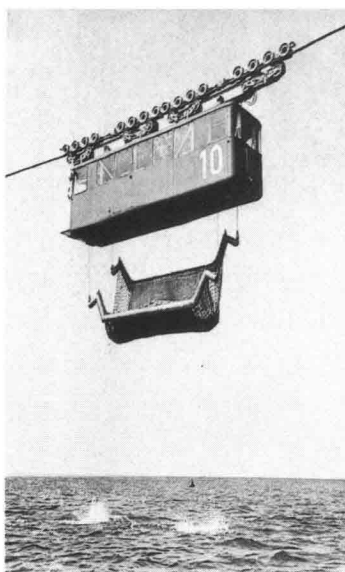
Talrijke diepe boringen tot in de verdachte grondlagen werden verricht, waarbij ongeroerde monsters naar boven werden gebracht over vele meters lengte. Verdachte delen hiervan werden in het onderzoeksapparaat weer in de oorspronkelijke spanningstoe-

60. Overzicht van het noordelijk sluitgat van de Grevelingendam met de kabelbaanopstelling

61. Overzicht van het werktein op het zuidelijk landhoofd*

62. Het geleidelijk lossen van een steennet (rechterpagina)





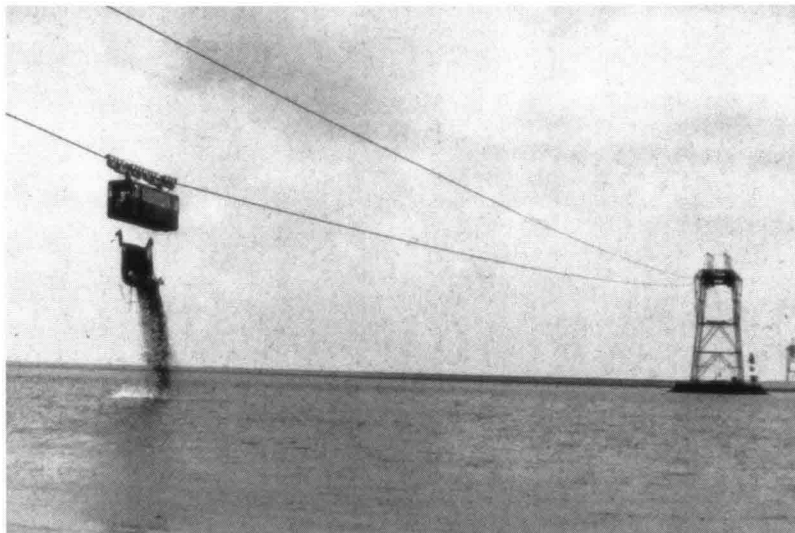
stand gebracht, waarna door deze toestand te variëren de kritieke dichtheid kon worden vastgesteld en de kans op een zettingsvloeiing kon worden nagegaan.

Het was weliswaar te voorzien dat bij volgende sluitingen stortmateriaal nodig zou zijn van veel groter stukgewicht, maar voor de Grevelingen was zulks nog niet nodig en de ontwikkeling daarvan vergde meer tijd dan nog beschikbaar was. Hetzelfde gold voor de funderingswijze. Van de drie pylonen of draagtorens was er slechts één in het water gesitueerd. Aangezien oever- en dijkvallen ter plaatse niet voorkwamen werd het niet bezwaarlijk geacht deze middenpyloon op een viertal eenheidscaissons te funderen nadat deze op een stenen bedding waren afgezonken. Wel werden enkele waterspannings-

meters onder deze caissons in de bodem aangebracht om het proces te kunnen volgen. Inderdaad zijn er omstandigheden voorgekomen dat bij de kabelbaan in vol bedrijf de grondwaterspanning zodanig opliep, dat er enige uren moest worden gerust om risico's te vermijden. De waterspanning kon dan weer dalen en de korrelspanning navenant stijgen, zodat de wrijvingsmogelijkheid en dus de stabiliteit weer toenam.

De sluiting met behulp van een kabelbaan

Afb. 63 geeft de kabelbaan in bedrijf weer, terwijl afb. 64 de situatie van de gestorte stenen sluitdam ten opzichte van het gebogen dam- en wegtracé toont. De sluitdam kon in een regelmatig tempo



63. De kabelbaan in bedrijf

worden opgeworpen, waarbij de capaciteit van het hele bedrijf maximaal 160 ton/uur bedroeg. De installatie had daarmee zijn bruikbaarheid bewezen. Uiteraard werden veel gegevens verzameld voor een volgend type, waarbij in het bijzonder de ongunstige verhouding tussen het eigen gewicht van een wagen (circa 20 ton) tegenover de nuttige lading (circa 10 ton) tot probleem werd gemaakt. Daarover verder meer.

Tijdens het op spanning brengen van de zware draagkabels deed zich een ongeluk voor. De leverancier had een methode ontwikkeld om door tussenkomst van een zware klem de kabel op te trekken tot de kracht van circa 300 ton zou zijn bereikt waarop het

contragewicht in werking zou komen. De installatie was in zijn geheel statisch bepaald. Toen echter deze kracht bijna was bereikt, slipte de kabel in de klem. De buitenste draadlagen werden opgestroopt, de kabel brak en viel neer onder een oorverdovend lawaai. Gelukkig was er geen persoonlijk letsel. Wel moest een nieuwe kabel worden geslagen en dit vertraagde de uitvoering met ettelijke weken. Aangezien de winter met zijn stormen in aantocht was – het was inmiddels herfst 1963 – werd tot het volgende voorjaar gewacht eer de kabelbaan werd afgemonteerd en in werking werd gesteld.

De oorzaak van het ongeval is nauwkeurig onderzocht. Door de klembouten van schotelveren* te voorzien kon herhaling worden voorkomen; de klemkracht kon nu tijdens het op spanning brengen niet meer verminderen door de lichte diameterverkleining (afb. 65). Het leveringscontract bepaalde dat

64. Opbouw van het damlichaam door het noordelijke sluitgat van de Grevelingen



de montage geheel plaatsvond onder verantwoordelijkheid van Neyrpic te Grenoble, de ontwerper en leverancier.

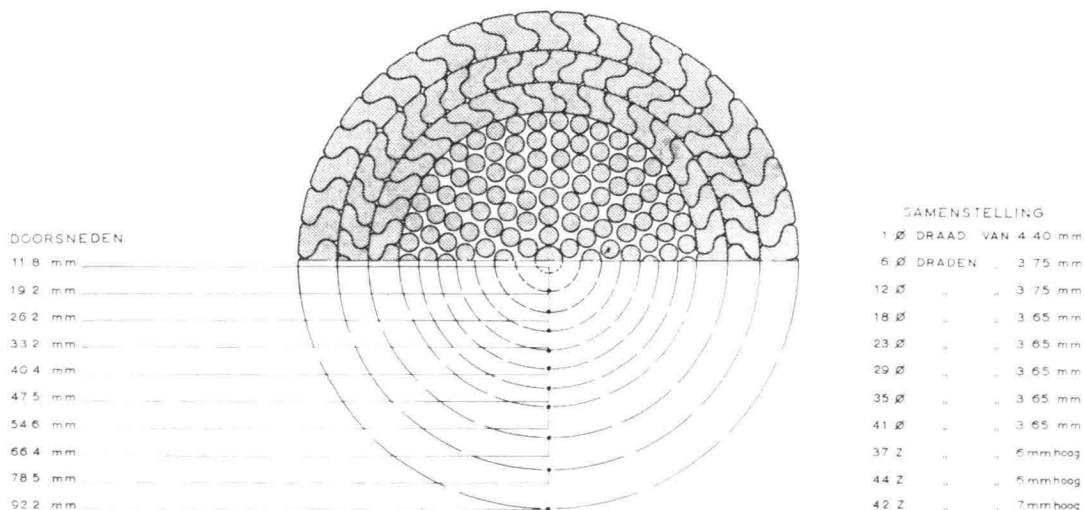
Van elke nieuw geslagen kabel werd een monster geprepareerd door een stuk van 3m aan weerszijden van een conusvormig gietstuk te voorzien en deze in een trekbank tot breuk te belasten. Deze breuk vond telkens plaats bij circa 1000 ton, in een afgeschermd ruimte voorzien van een kijkglas; dat gaf telkens een enorm zware dreunende klap. Het laboratorium waar dit steeds plaatsvond is in Bochum (Duitsland) gevestigd.

We streefden naar een veiligheidscoëfficiënt van 2,6. Uit veiligheidsoverwegingen is nooit een kabel meer dan éénmaal gebruikt. De kabels waren van het gesloten type, waarbij de buitenste lagen uit profiel-



65. De kabelklem na het ongeval. Links de opgestroopte buitenmantel van de kabel, rechts de afgestroopte kern

66. Doorsnede Grevelingenkabel



draden waren opgebouwd, die nauwkeurig en waterdicht tegen elkaar sloten (afb. 66). Toen na ruim een jaar een stuk van de gebroken kabel weer uit de Grevelingen werd opgevist bleek geen druppel water naar binnen te zijn gedrongen.

Besloten werd beide sluitingsmethoden – met behulp van doorlaatcaissons zowel als met behulp van kabelbanen – verder te ontwikkelen en verder te gaan in het systematisch uitbouwen van de nodige ervaring, gaande naar het moeilijkste karwei: de afsluiting van de Oosterschelde. Het programma voor de afsluiting was, zoals reeds eerder genoemd: Volkerak: doorlaatcaissons; Haringvliet: kabelbaan, dus geleidelijke sluiting; Brouwershavense Gat: de noordelijke geul met doorlaatcaissons en de zuidelijke geul met een kabelbaan (geleidelijke sluiting).

Intermezzo II

Per 1 november 1962 legde prof. Jansen dus zijn functie van Hoofd van de Deltadienst neer, om weer geheel beschikbaar te zijn als hoogleraar en voor adviezen, ook in het buitenland. Zijn medewerkers wisten echter dat hij grotere bevoegdheden verlangde met betrekking tot de uitvoering van de Deltawet langs de gehele Nederlandse kust. Toen hem deze werden onthouden gaf hij zijn verantwoordelijkheid als hoofd van de Deltadienst uit handen met de aanbeveling ir. P.A. van de Velde in zijn plaats te benoemen aangezien deze met het werk voor de afsluitingen geheel vertrouwd was en de ruimste ervaring

had. Uiteraard werd dit niet publiek zo gesteld, maar onder de medewerkers werd dit openlijk zo besproken. Het gaf een schok door de gelederen. Zijn advies voor zijn opvolger werd niet gevolgd; het werd ir. J. Volkers, die van het Noordzeekanaal kwam. Er was kennelijk bij de leiding van de Waterstaatsdienst een vrees dat een dienst met zo grote bevoegdheden als Jansen vroeg zich zou verzelfstandigen, zoals dit ook met de Dienst der Zuiderzeewerken was gebeurd. Maar ten aanzien van ir. Van der Velde als opvolger voor Jansen was er voor deze vrees toch geen grond en door Volkers te benoemen betekende dit tevens het einde van een periode waarin vanuit de leiding van de Deltadienst sturing werd gegeven aan de technische oplossingen van de afsluitingswerken. Natuurlijk omvatten de afsluitingswerken niet de gehele taak van de Deltadienst; er waren ook nog de inrichtingswerken die hoe langer hoe belangrijker zouden worden. Maar de afsluitingswerken zouden toch nog zo'n 15 jaar de hoofdzaak moeten zijn en zij konden alleen tot een goed einde worden gebracht als zij als een eenheid zouden worden gezien en behandeld. Daarom kwam de dienst door het vertrek van Jansen en de benoeming van Volkers wel degelijk in een kritieke fase. Gelukkig bleek er voldoende besef bij de staf dat dit gevaar dreigde: zij sloot de rijen dichter ineen en bleef als team opereren.

Inmiddels had Jansen, zoals reeds eerder vermeld, wel zodanig zijn stempel gedrukt op de richting waarin de afsluitingswerken moesten verlopen, dat daarin in principe geen wijziging meer is gekomen

tot en met de afsluiting van het Brouwershavense Gat.

Zelf had ik nog vrij regelmatig contact met hem omdat de afsluiting van de Oosterschelde een geliefd afstudeeronderwerp was voor de studenten in de civiele techniek. Door zijn bemiddeling vroeg men mij dan om medebegeleiding; we kenden elkaar immers in dit opzicht nog uit mijn eigen studietijd, toen ik tevens als vast assistent aan de TH (nu TUD) was verbonden.

Er werden daarbij ook wel eens oplossingen aangedragen die Jansen eigenlijk niet zinden. Zo herinner ik mij een afstudeeronderwerp waarin een brug was geprojecteerd tussen Zierikzee en Noord-Beveland. Vanaf die brug konden dan stroombestendige materialen worden gestort om een dam te vormen die het grote bekken in tweeën deelde. De Oosterschelde kon daarna gemakkelijk worden gesloten omdat het getijvolume sterk was verminderd. Jansen verzette zich daar scherp tegen. Hij zei: "Dat moet je nooit doen, want dan wordt de aandrang te groot om van de Oosterscheldeafsluiting af te zien en blijven we met de instabiele oevers van Noord-Beveland zitten."

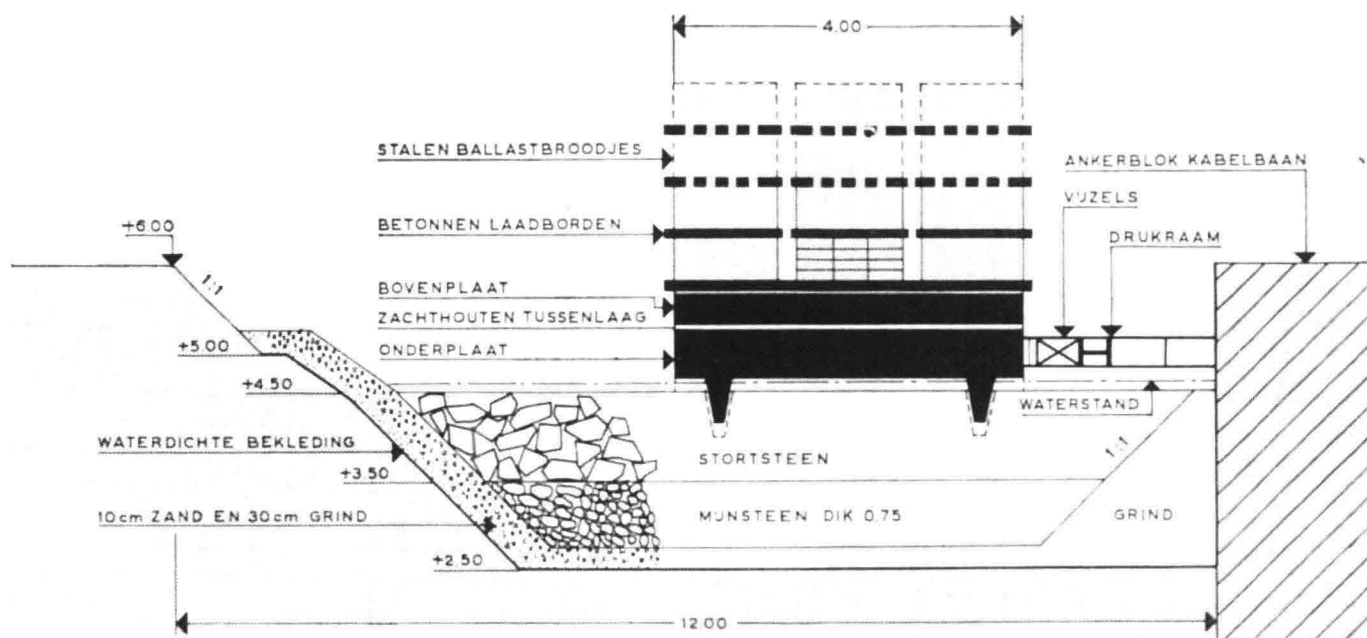
Later kwam dan toch de Zeelandbrug, waar de provincie onder leiding van ir. J.G. Snip zo voor geijverd heeft. De zware en lange funderingsputten waarop deze brug rust werden dan ook naderhand door de grote drijvende bok "Ir. J.G. Snip" geplaatst. Maar toen dachten wij nog dat de Oosterscheldedam niet meer bedreigd was. Naderhand bleek wel dat we ons in dit opzicht vergisten; de gesloten Ooster-

scheldedam werd gewijzigd in een afsluitbare stormvloedkering. Maar daarover later.

Volkerak (5)

Hoewel de afsluiting van het Veerse Gat met doorlaatcaissons alleszins bevredigend was verlopen waren er toch redenen om het ontwerp van het caisson nog eens te herzien. Dit leidde tot de volgende aanpassingen en verbeteringen:

1. Uit proeven op ware grootte bleek dat de wrijvingscoëfficiënt tussen caissonbodem en stenen drempel bij een lichte verschuiving opliep tot 0,5 in plaats van $1/3$ zoals voor het Veerse Gat was aangenomen. De caisson kon dus veel lichter worden uitgevoerd en kreeg daardoor ook minder diepgang. Dit was gunstig voor het bouwdok, het transport en de drempeldiepte. Bij een geribde vloer liep de wrijvingscoëfficiënt zelfs nog veel hoger op, tot boven de 0,6. Uit deze zettings- en wrijvingsproeven* bleek dat de verschuiving van een caisson tot enkele decimeters kon oplopen eer de maximale wrijving werd bereikt. Daarbij trad ook een zetting op van enkele decimeters bij een vlakke plaat, bij een geribbelde plaat zelfs tot driekwart meter (afb. 67). Ook het verschijnsel van een zekere "creep", een doorgaande geringe vervorming, werd daarbij onderzocht, zowel bij een drempel van stortsteen als van een met asfalt gepenetreerde stortsteenlaag. Door deze grenzen vast te stellen kon hier wel het beginsel van de 'limit design' worden toegepast;

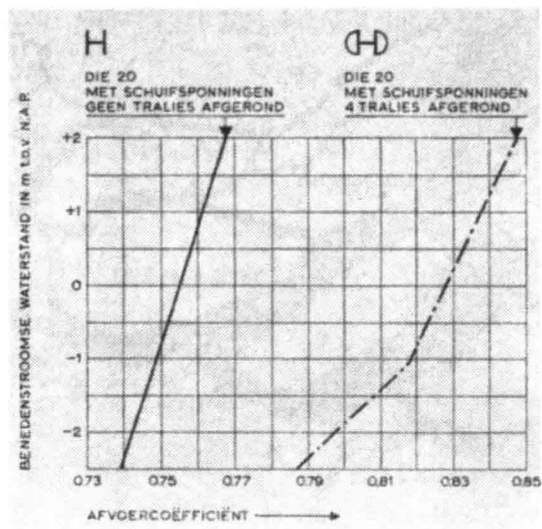


67. Zettings- en wrijvingsproeven

2. De tralieliggers* boden veel weerstand aan de stroom, zodat de effectieve doorstroomopening naar verhouding klein was ($Cw^* \gg 0,5$). Door ze te vervangen door enkelvoudige stalen DIN-profielen* met afgeronde zijken was de effectieve doorstroming veel groter ($Cw \gg 0,7$ en hoger, afb. 68);
3. De wijze van krachtoverdracht tussen caisson en drempel bleek gunstiger te kunnen worden gemaakt dan voor de statische berekening vroeger was aangenomen. Uit de zettingsproeven* op ware grootte volgde namelijk dat bij een caissonbodan die aan de einden en in het midden geribd en op $1/4$ en $3/4$ van

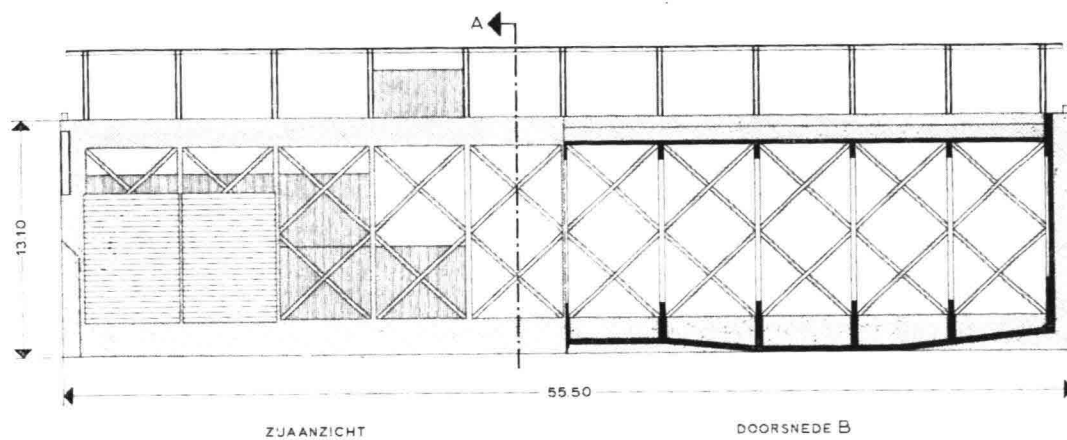
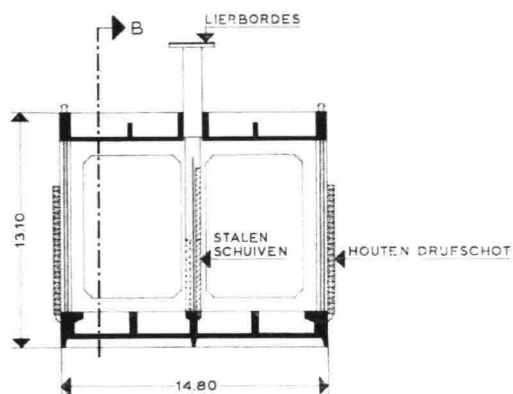
de lengte vlak was, een veel gunstiger draagwijze kon worden bewerkstelligd (afb. 69 en 80). Dit betekende een lichtere constructie en vooral een langere caisson, zodat naar verhouding de zinkmanoeuvre minder vaak behoefde te worden uitgevoerd en bij het verslepen een betere koersstabiliteit aanwezig was;

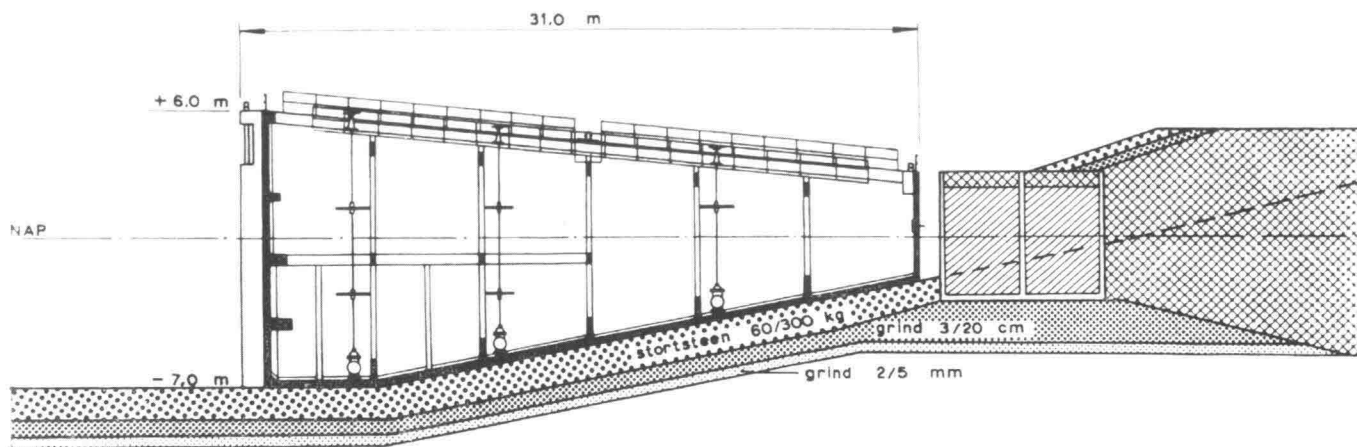
4. Door de caisson in dwarsdoorsnede symmetrisch te maken, met de schuiven in het midden, was het metacentrum* steeds in het midden ook tijdens de gehele zinkmanoeuvre. De caisson kreeg dus geen slagzij meer vlak voor hij op de drempel neerkwam. Ook was geen extra slingerschot meer nodig, maar wel een extra stel houten drijfschotten. Al deze aan-



68. Afvoercoëfficiënt van de caissons

69. Geschematiseerd voorontwerp van de doorlaatcaissons* voor het Volkerak, vlakke bodem





70. Schuine landhoofdcaissons Volkerak

passingen en verbeteringen werden voor de caissons van het Volkerak toegepast, behalve dan dat nog met een vlakke en niet met een gewelfde bodem werd gewerkt. Behalve het nodige onderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium werden ook sleep- en afzinkproeven gedaan in het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen (thans 'Marin');

5. Door scheve, wigvormige, landhoofdcaissons toe te passen kon de grote ontgronding hier ter plaatse naast de bezinking worden verminderd. Die ontgronding ontstond namelijk vooral in de lange periode gedurende welke het wintersluitgat open moest liggen (afb. 70);

6. Voor nog enkele verdere bijzonderheden van deze sluiting wordt verwezen naar afb. 71 en 72.

Lauwerszee

Deze afsluiting is uitgevoerd met behulp van doorlaatcaissons. Als variant werden hierbij kleppen in plaats van schuiven toegepast, terwijl de caissons in een reeks van vijf stuks van de bouwplaats naar het sluitgat werden versleept. Een en ander als een aanpassing aan de lokale omstandigheden en met een succesvol verloop. Aangezien hieruit geen nieuwe gezichtspunten voor de afsluitingen van het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde naar voren kwamen laten we hier een verdere beschrijving achterwege.

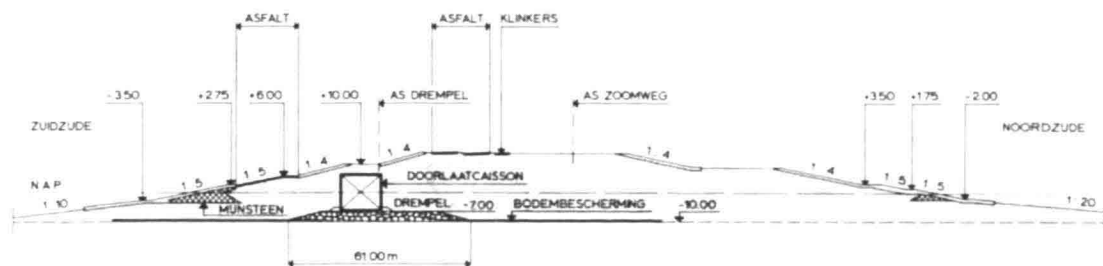
Haringvliet (6) (afb. 73)

Besloten werd dezelfde kabelbaan als die voor de Grevelingen ook voor de afsluiting van het Haring-



71. De doorlaatcaissons voor de afsluiting van het Volkerak in het geï-
nundeerde bouwdoek. Op de achtergrond het toekomstig sluitgat en de
Haringvlietbrug

72. De plaats van de caissonreeks in het damlichaam



vliet te gebruiken (afb. 74). Wel zijn nieuwe kabels geslagen ten einde alle risico's op dit onderdeel uit te sluiten. Verder werden andersoortige funderingen toegepast: een puttenfundering voor het laadstation, met aangepaste contragewichten* en verder stalen pylonen of torens met tussenstukken van voorgespannen beton* (afb. 75 en 76). De fundering van deze torens in de stroomgeul werd gemaakt overeenkomstig de pijlerfundering van de Zeelandbrug. Het risico van een zettingsvloeiing* was hierdoor bezworen en het was een beproefde constructie die ook eventueel voor het Brouwershavense Gat toepasbaar zou zijn.

Bijzonderheden.

De vrees bestond dat de zware draagkabels op zekere dag zouden aangroeien met ijzel, waardoor de doorhang of zeeg zo groot zou worden dat de vrije slag van de contragewichten zijn grens zou hebben bereikt. Wel was hiervoor speling ingebouwd, maar de grootte hiervan was toch slechts schattenderwijs bepaald. Gelukkig heeft zich een dergelijke ijzelvorming nooit voorgedaan.

Verder was er de vrees dat bij een bepaalde windsnelheid en windsoort wat de vlagerigheid en de windrichting betreft de kabels wel eens zouden kunnen gaan slingeren. Inderdaad heeft zich dit eens voorgedaan, tijdens het in bedrijf zijn voor de sluiting. We konden toen niet anders doen dan het bedrijf stilleggen en zorgen dat de mensen uit de buurt bleven tot de bui over was. We hadden geen gelegenheid om te

meten, maar namen als de waarschijnlijke oorzaak aan dat de windvlagen qua frequentie interfereerden met de eigen slingertijd of bepaalde boventonen daarvan van de kabel.

Bij de leiding van de Dienst was mede hierdoor een zekere ongerustheid ontstaan. Van der Velde vroeg mij een analyse te maken of in te schatten van wat de gevolgen van een kabelbreuk zouden zijn en dit in een ondertekend rapportje hem te geven. Voor als het eens mis zou gaan. Aan die vraag heb ik voldaan. Belangrijk was verder de toepassing van nieuw stortmateriaal. De hoge stroomsnelheid maakte blokken of steenbrokken nodig van 2.000 à 3.000 kilo. Opslag en transport van deze zware steen gaf de nodige problemen. Daarom was reeds gedurende een jaar geëxperimenteerd met betonblokken van circa 1 m³, voorzien van een haak of oog voor het transport. Het was gelukt een blok te ontwerpen van beton met een zeer grove grindtoeslag en een zeer laag cementgehalte van 75 kg/m³. De vorm liet een dichte en regelmatige stapeling toe (afb. 77).

Zo'n blok had voldoende valbestendigheid en juist het feit dat het een laag cementgehalte had deed dit het blok niet splijten maar wat afbrokkelen. De bedoeling was de blokkenvoorraad van te voren in zijn geheel fabrieksmatig te vervaardigen en op te slaan, om ook dit onderdeel uit te proberen. Maar de aannemer gaf de voorkeur aan een meer gebruikelijke fabricagemethode door laag voor laag te storten en het cementgehalte al sterk te verhogen met het oog op de verwerking van de verse beton. Op dit punt werd dus weinig nieuws geleerd. Voor het transport

onder de zelf aangedreven wagens werd door de afdeling Nieuwe Werkmethoden een hijsbalk ontworpen met vier haken. De inrichting was zodanig dat de blokken met korte tussenpozen de een na de ander werden gelost (afb. 78). Daarmee werd een te fors opslingeren van de draagkabels voorkomen. In totaal zijn er ruim 90.000 blokken gestort om de sluitkade te vormen. Er waren echter 140.000 blokken aangeemaakt om een ruime reserve te hebben. De blokkendam zou immers een ruim profiel kunnen aannemen onder invloed van de golfwerking.

Verdere opmerkingen

Door de afdeling Nieuwe Werkmethoden zijn onder leiding van de hoofdwaterbouwkundige ing. N. Smit zeer veel onderzoeken en experimenten gedaan met betrekking tot andere en goedkopere stortmaterialen dan steen en beton. Vooral zandzakken, al dan niet vacuüm gezogen, zijn uitvoerig op betrouwbaarheid en val- en stroombestendigheid onderzocht. Ondanks de grote inventiviteit van Smit heeft dit onderdeel van zijn werk toch niet tot praktische resultaten geleid. Wat wel bijzonder succesvol was betrof de stalen hijsbalken voor het automatisch oppakken, vervoeren en stuk voor stuk of twee aan twee lossen van de betonblokken. Juist door de nauwkeurigheid in de maatvoering van deze blokken was laden en lossen vlot mogelijk zonder dat er mensenhanden aan te pas kwamen.

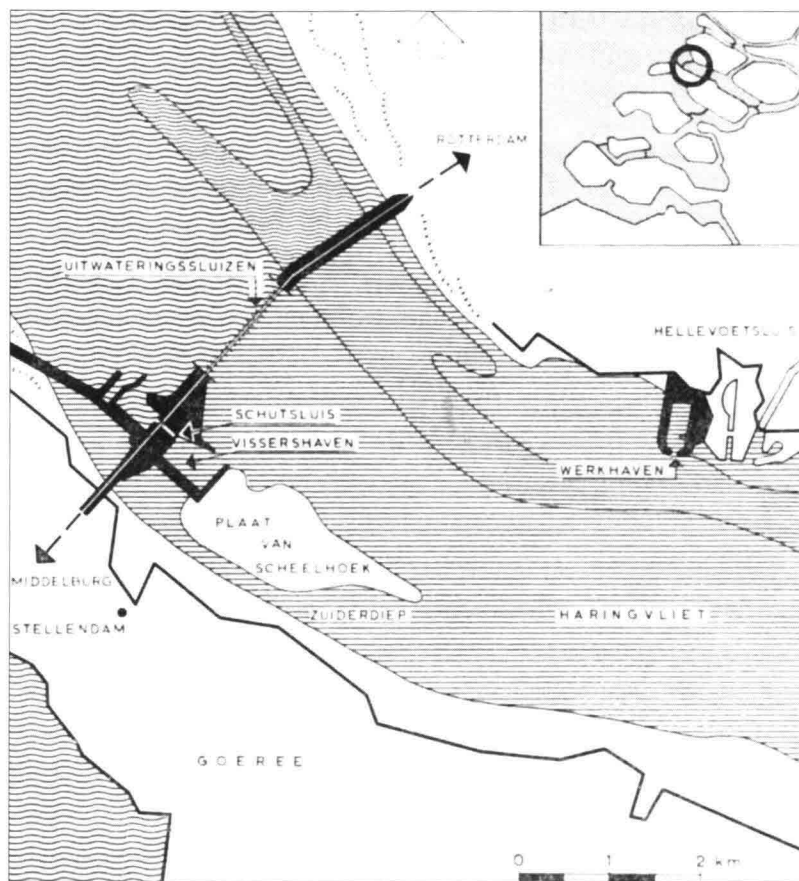
Bij de bouw van de havenmond IJmuiden waren de zware natuursteenbrokken voorzien van stalen ha-

ken die in een geboord gat werden vastgelijmd. Dit was echter een oplossing die voor het dichten van sluitgaten te kostbaar zou zijn en vooral door te weinig transportcapaciteit onmogelijk was. Toen dan ook voor het maken van betonblokken zeer grof grind kon worden gebruikt om het cementgehalte klein te houden en het soortelijk gewicht van het blok te verhogen lag deze oplossing voor de hand en konden de hijsogen meteen nauwkeurig worden ingestort.

De betonsamenstelling en de valbestendigheid zijn vastgesteld door valproeven. Juist omdat de betonkwaliteit door het lage cementgehalte vrij laag was sprongen er bij het neerkomen van vrij grote hoogte hier en daar hoeken en stukken af, maar werd er maar een klein percentage gespleten. De stroombestendigheid bleef daardoor intact, terwijl het weinige puin dat er van afkwam alvast enigszins de holle ruimte tussen de blokken opvulde.

Ook hier dus een soort 'limit design', in tegenstelling tot b.v. de veel zwaardere blokken voor de havenhoofden van Europoort, die van een grote dichtheid en soortelijk gewicht waren door toepassing van een basalttoeslag; maar daardoor spleten ze ook gemakkelijker bij een te grote valhoogte. Maar daar betrof het ook kwaliteitsbeton voor blijvend werk dat telkens weer een zware golfaanval had te doorstaan.

Een blokkendam bleek een poriënvolume* te hebben van 40% en door de relatief grote holten stroomde het water turbulent, zodat een apart dichtingmateriaal* nodig was om naderhand het zand van de



73. Situatie afsluiting Haringvliet

dam te doen neerslaan. Dit werd bij de Haringvliet-dam gevonden in een banket van grof grind tegen de blokkendam met daarboven een laag warm zand-asfalt.

Dit bleek goed af te dichten, maar wel duur te zijn. Bij de blokkendam in het Brouwershavense Gat werd

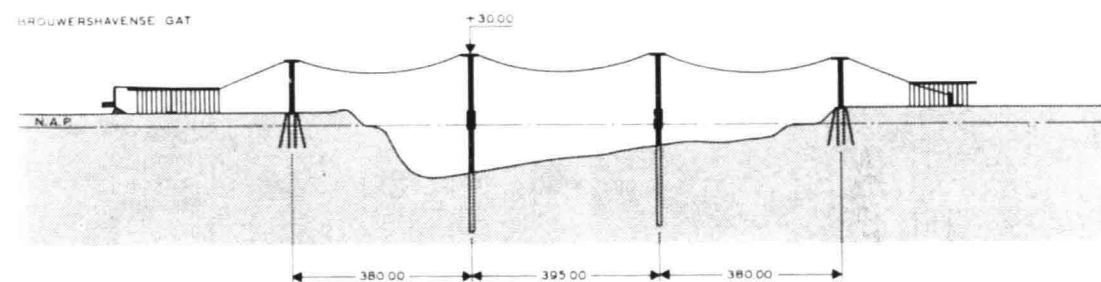
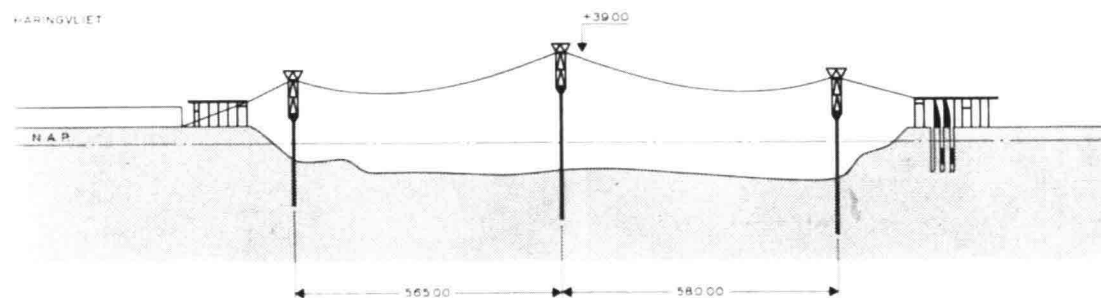
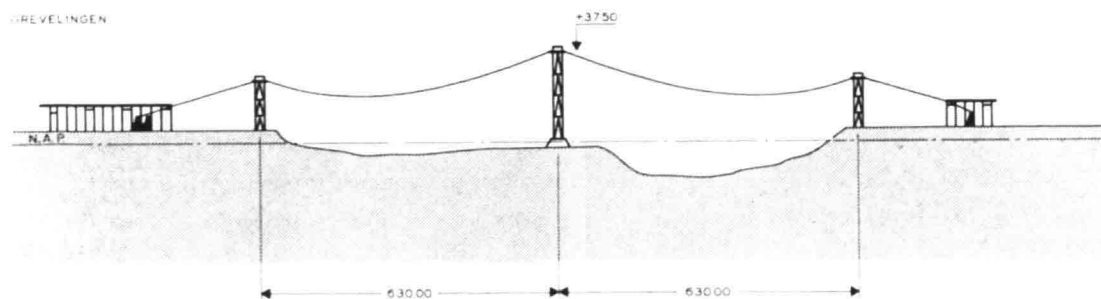
daarom een methode van dichting toegepast waarbij grof grind reeds tijdens de opbouw van de blokkendam in deze dam zelf werd aangebracht.

Een bijkomend voordeel van een geleidelijke sluiting is nog, dat men de stortlagen niet steeds horizontaal hoeft aan te brengen, maar in een flauw hellend talud van bijvoorbeeld 1 : 50 tegen de oever aan. Dit is in het Haringvliet aldus toegepast.

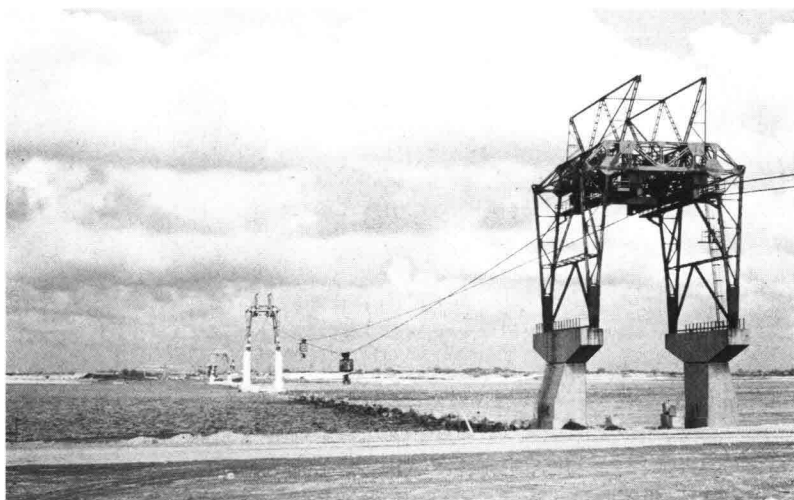
Uiteraard zijn deze en dit soort maatregelen steeds genomen na uitvoerig waterloopkundig laboratoriumonderzoek.

Haringvliet (6) (vervolg)

In afb. 74 is een overzicht gegeven van de afsluitingswerken. Voor het eerst op grote schaal is hier zinken op stroom toegepast, waarbij het stuk tussen twee speciale schepen, de trekker en de drukker, op zijn plaats werd gehouden. In de zinkstukken zelf werden veel kunststoffen verwerkt. De uitvoering van de Deltawerken vroeg zoveel oppervlakte aan bodembescherming dat de groei van rijshout hiertegen niet was opgewassen. Ook de grote aantallen rijswerkers die uiteindelijk nodig zouden zijn, waren niet beschikbaar; de sociale omstandigheden waaronder de rijswerkers altijd hadden moeten werken begonnen ook uit de tijd te raken. Om die redenen begonnen kunststoffen en asfalt hoe langer hoe meer toepassing te vinden en werd een fabrieksmatige vervaardiging steeds meer ontwikkeld.



74. Schema van de kabelbaan met eindstations



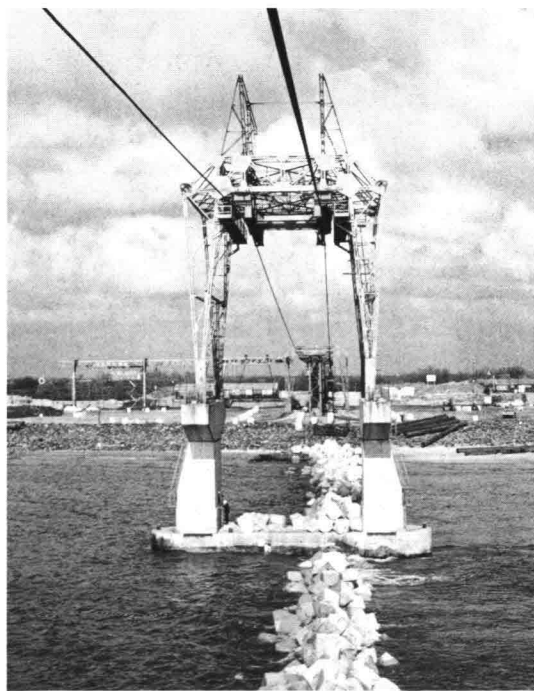
75. Kabelbaan Haringvliet in bedrijf

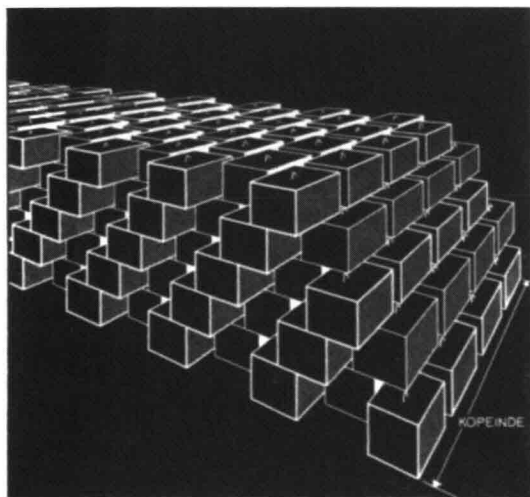
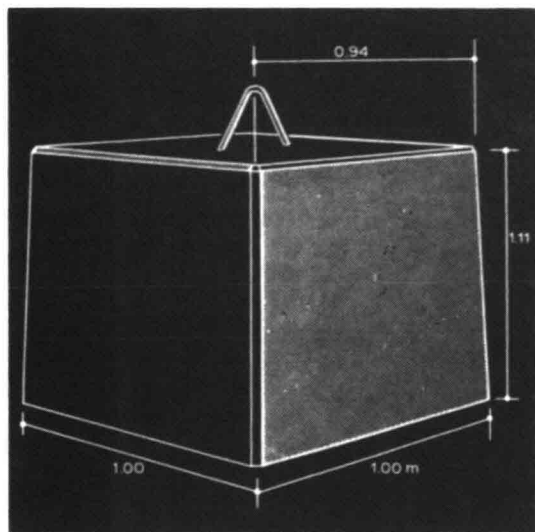
76. Kabelbaan met blokkendam

Brouwershavense Gat-noord (7) en -zuid (8) (afb. 79)

De voorbereidingen en de ervaringen tijdens de voorafgaande afsluitingen waren inderdaad zodanig geweest dat de afsluitingswerken hier volgens plan op de voorgenomen wijze konden worden uitgevoerd. Wat de noordelijke geul (7) betreft: hiervoor werden de lange caissons met gewelfde vloer toegepast (afb. 80). De statische berekening van een dergelijke ruimtelijk lichaam kon eindelijk worden uitgevoerd, rekeninghoudend met de driedimensionale structuur. De programma's voor een dergelijke berekening waren overigens nog maar kort in het buitenland beschikbaar gekomen. Er bleek nu inderdaad dat er onder bepaalde omstandigheden bij de

krachtsoverdracht tussen caisson en drempel wringspanningen* konden optreden die, gecombineerd met uit anderen hoofde reeds optredende schuifspanningen, sommige onderdelen tot dicht bij de breukgrens zouden kunnen belasten. In feite een toestand die wij altijd al hadden nagestreefd, omdat ze voor de korte periode waarin de caissons effectief moesten fungeren, zo efficiënt mogelijk was en een zuinig ontwerp demonstreerde. Ook hier zijn schuine landhoofdcaissons toegepast. Tenslotte was deze oplossing reeds bij het Volkerak succesvol gebleken. Een overzicht van beide sluitgaten biedt afb. 79.

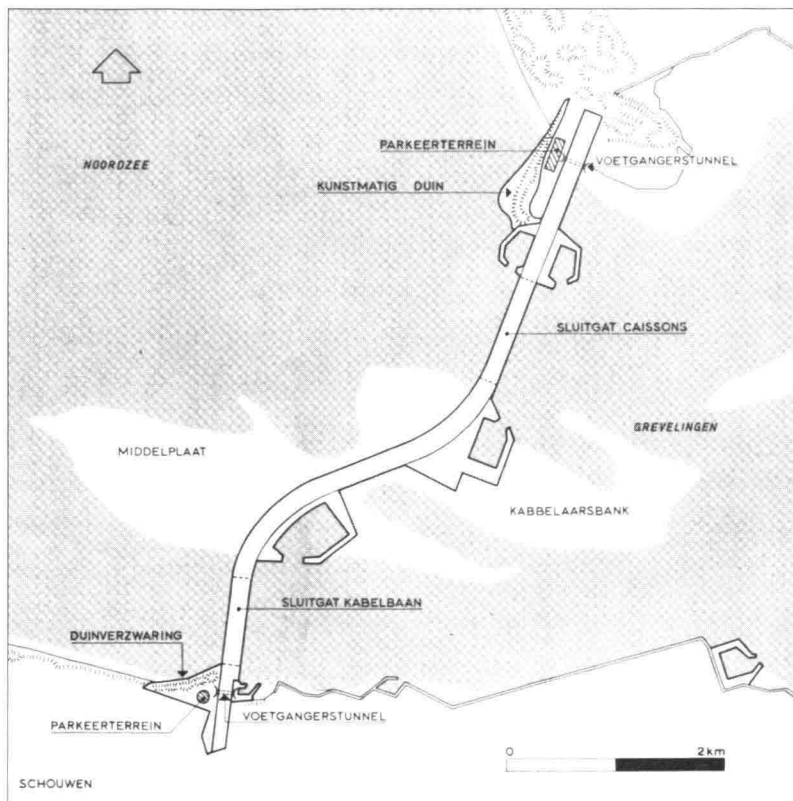




77. Ontworpen blok en blokkenstapeling

78. De blokken worden automatisch na elkaar gelost





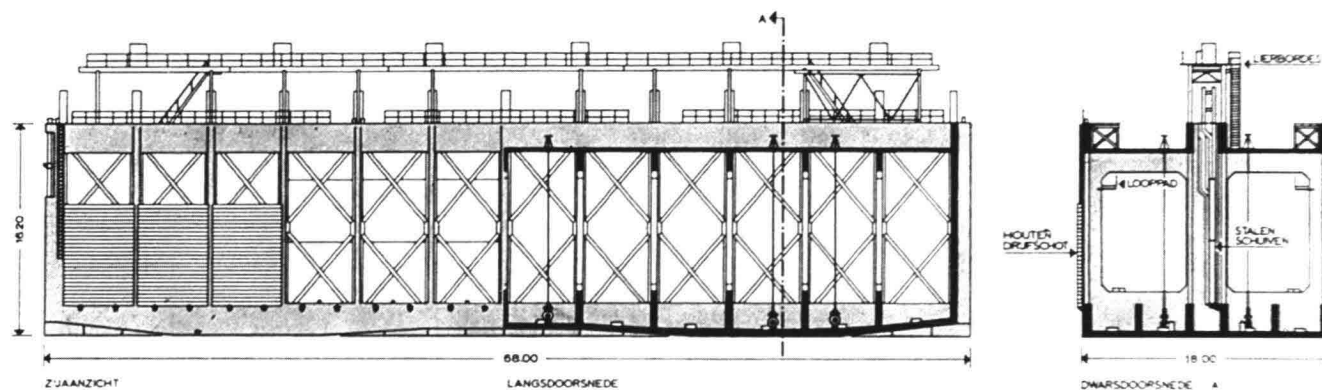
79. Situatie afsluitingen Brouwershavense Gat

In vergelijking met het Haringvliet is voor het dichtten van het zuidelijke sluitgat (8) met behulp van een kabelbaan nog een aantal verbeteringen doorgevoerd.

1. In de eerste plaats zijn nu de blokken fabrieksmatig in een continubedrijf vervaardigd. Daarbij bleek verhogen van het cementgehalte van 75 kg/m^3 tot ruim 125 kg/m^3 in feite nodig om een verwerkbare

beton te krijgen. Hier wreekte zich het gebrek aan ervaring die we hadden kunnen opdoen bij het Haringvliet als we daar het fabrieksmatig vervaardigen van de blokken hadden voorgeschreven. Nu had de aannemer daar een klassieke wijze van storten toegepast en hij had daartoe op eigen kosten het cementgehalte aanmerkelijk verhoogd, zodat hij met het gebruikelijke materieel kon werken. Wel was er twijfel gerezen aan de verwerkbaarheid van het mengsel met 75 kg/m^3 , zodat dit via 100 kg/m^3 in het bestek voor de blokken van het Brouwershavense Gat reeds was verhoogd naar 125 kg/m^3 , op grond van verdere proeven. Het ging hier om 260.000 blokken van $1,04 \text{ m}^3$ per stuk, later verminderd tot 210.000 stuks. De aannemingssom was bijna f 14 miljoen en de beschikbare tijd ongeveer 150 werkdagen. De aannemer 'Blokkom' - een combinatie van Van Hattum en Blankenvoort en Dirk Verstoep - zette een fabriek op voor het maken van 1820 blokken per dag, te maken in twee ploegen en te storten in stalen bekistingen met kistrillers. De fabriek werd in 15 weken opgebouwd, maar bleek bij het proefdraaien op belangrijke punten te falen. Vooral het aanvankelijk gebruikte type molen bleek bij het voorgeschreven mengsel ontmenging te veroorzaken en bovendien te traag te zijn.

Vervanging van deze molen door een dwangmenger, waarvan de trommel stil staat en waarvan de aan een verticale as bevestigde schoepen in dezelfde richting blijven draaien wanneer de bodemschuif voor het lossen wordt geopend, bleek een bruikbare oplossing te bieden mits het cementge-



halte tevens werd verhoogd tot 200 kg/m^3 .

De verschillen met het bestek waren:

samenstelling in kg/m^3	grof grind	beton- grind	zand	cement
besteksmengsel	1110	525	625	125
toegepast mengsel	1010	520	700	200

Op grond van de gemaakte extra kosten en op grond van billijkheidsoverwegingen is de door de aanne-mer ingediende schadeclaim gehonoreerd tot een bedrag van bijna f 2 miljoen.

De kosten per blok bedroegen ca. f 60,-, dat is f 24,- per ton, inclusief het transport over water van de Dintmond naar de opslag op het damvak en de da-maanzet van de zuidelijke geul van het Brouwers-havense Gat. Dat was rond 30% goedkoper dan de

80. Lengte- en dwarsdoorsnede van de doorlaatcaissons

81. Een caisson wordt met sleepboten naar het sluitgat (noord) getrans-
porteerd





82. Blokkendepot met kabelbaan op de achtergrond

buitenlandse zware basalt van 1-3 ton/stuk.
Ik ben nog met ir. W. Noteboom van de Hoofddirectie van de Waterstaat, die alle steenaankopen regelde,

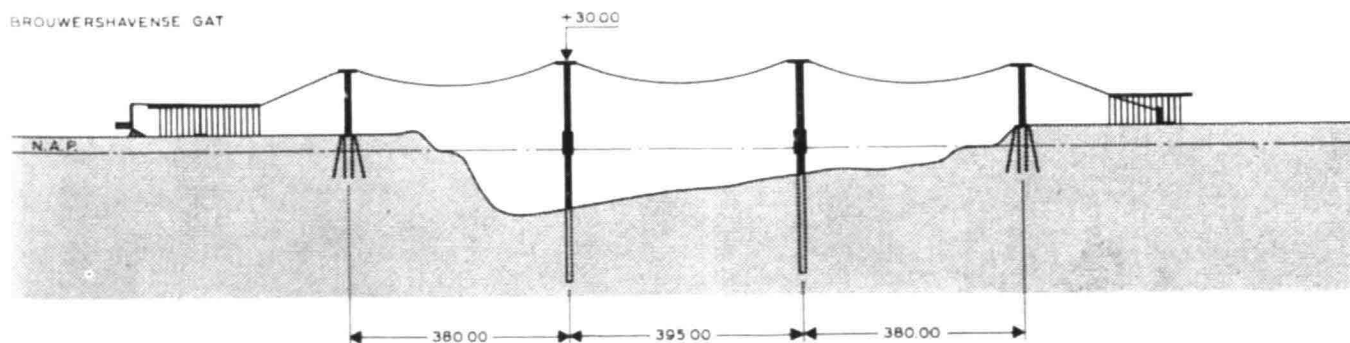
naar de basaltgroeven in West-Duitsland geweest om valproeven met zware steen van ca. 3 ton stukgewicht te doen en over de prijs te praten.

De 'Steenkoning van het Roergebied' Jüst geloofde niet dat wij goedkoper met beton konden werken dan hij met basalt. "Sie kommen noch zurück" zei hij. Aber wir sind doch nicht zurückgekommen.

Het totaal aantal geprefabriceerde blokken bedroeg 202.000 stuks. Ze zijn per schip naar de werkterreinen aan weerszijden van het sluitgat getransporteerd en daar opgeslagen (afb. 82). Voor laden en lossen waren weer speciale hijsbalken ontworpen, telkens werden zes blokken opgenomen en aan de wagens gehangen, terwijl het lossen twee aan twee plaatsvond.

2. De wagens waren gebouwd volgens een nieuw ontwerp van de directie Bruggen van Rijkswaterstaat zelf. Geen zware dieselmotor, maar een veel lichtere gasturbine vormde de aandrijving. Geen mechanische maar hydraulische overbrengingen naar de wie-

83. Overzicht kabelbaanconstructie

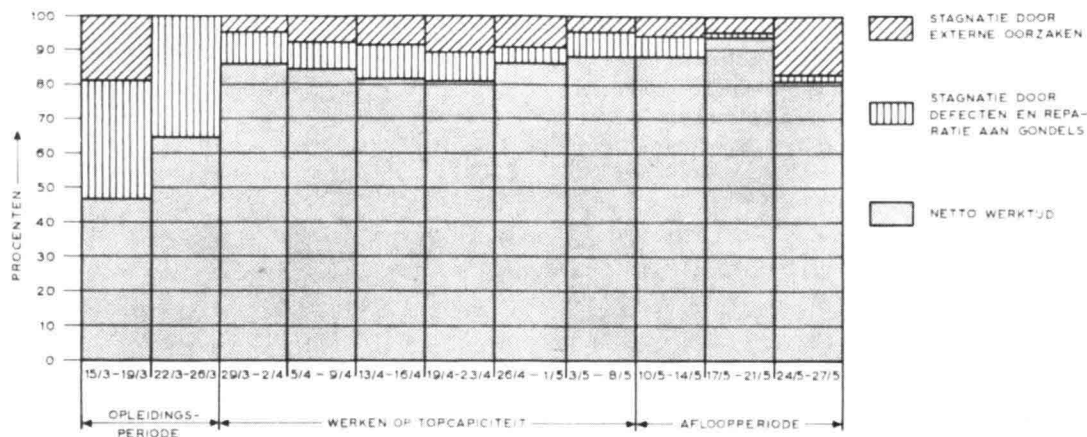




84. Kabelbaan in bedrijf

len zorgden voor een rustig en goed lopend bedrijf. Het gewicht van deze wagen was nu circa 15 ton, zodat ook 15 ton lading kon worden meegenomen. Dat wil zeggen dat zes blokken in plaats van vier in één keer konden worden behandeld.

3. Van de vier pylonen of draagtorens waren er twee in de geul gesitueerd (afb. 83). De fundering hiervan bestond telkens uit twee putten (zware holle palen) van hetzelfde type als waarop de Zeelandbrug rust. Ze zijn eveneens op het werkterrein te Kats gemaakt.



85. Productiegrafiek van het kabelbaanbedrijf

Deze putten waren boven water verbonden door een zware sloof van beton, waarop in het midden een holle toren, eveneens van voorgespannen beton. Op deze toren rustte een betonnen juk met stalen geleidegoten waardoor de kabels werden ondersteund en konden glijden. De gondels bewogen zich dus over de kabels ter weerszijden van de torens.

Deze hele constructie heeft zeer goed voldaan. Ik heb aanbevolen tenminste één van deze torens te behouden, inwendig van een lift te voorzien en op de kop van een veilig platform te plaatsen om zo een riant uitzichtpunt te creëren voor het publiek. Maar de Rijkswaterstaat was niet bereid het wegtracé daartoe een weinig aan te passen.

Soms heeft de Waterstaat toch maar weinig fantasie.

4. Het laadbedrijf was aan weerszijden van het sluit-

gat werkzaam. Dit verhoogde de capaciteit uiteraard aanzienlijk, bijna met 100 %. De laadsporen rustten op jukken van voorgespannen beton, een en ander zo veel mogelijk geprefabriceerd. Ook dit bedrijf heeft tot volle tevredenheid gefungeerd. Totaal zijn de bijna 200.000 stuks blokken in het sluitgat gedeponeerd in een werkperiode van 11 weken. Tijdens het volle bedrijf bedroeg de capaciteit van de baan $2 \times 140 \text{ blokken/uur} = 700 \text{ ton/uur}$.

De contragewichten waren hier weer gevormd door een scharnierende balans, op analoge wijze als bij de Grevelingenbaan. Bij de Haringvlietafsluiting hingen de contragewichten in diepe puttenfunderingen*, voornamelijk wegens ruimtegebrek op het werkterrein. Deze putten hadden ook bij het in de grond brengen voor heel wat problemen gezorgd.

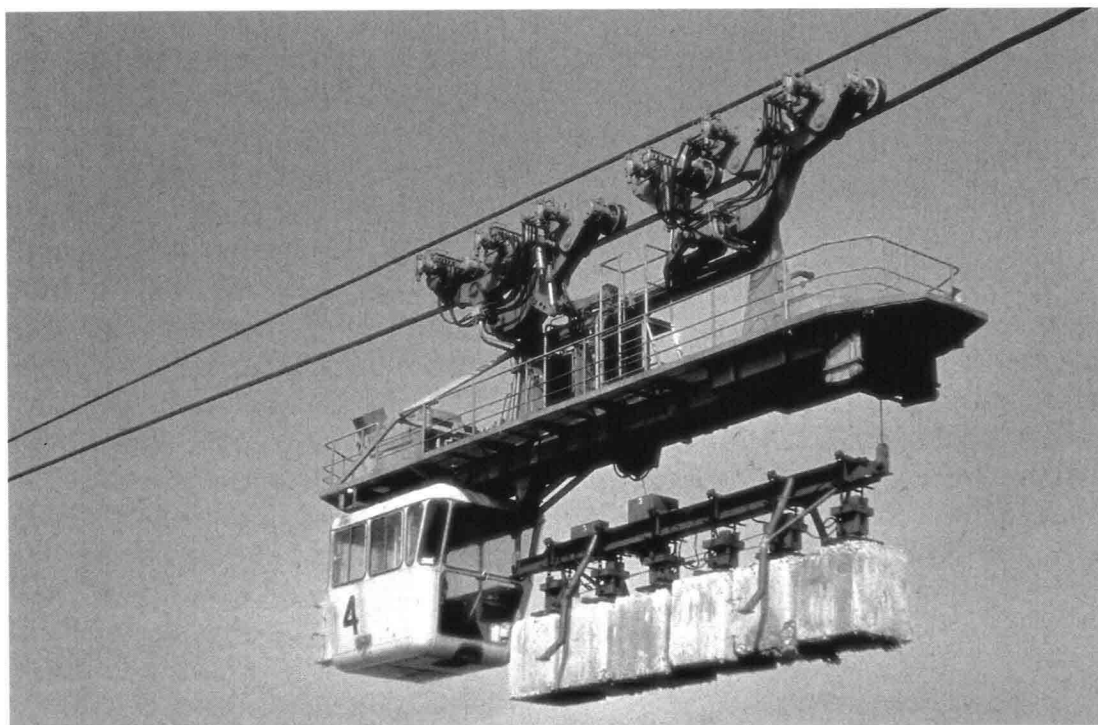
Intermezzo III

Inmiddels was in 1969 Volkers met pensioen gegaan en in zijn plaats was ir. H.A. Ferguson benoemd als Hoofd van de Deltadienst. Negen jaar daarvoor had Ferguson afscheid genomen van de Deltadienst als hoofd van de Waterloopkundige Afdeling om hoofd-ingenieur-directeur te worden van de Directie Benedenrivieren, waar hij onder meer belast was met de bouw van de nieuwe havenmond van Hoek van Holland.

Zoals bekend zijn deze havendammen grotendeels aangelegd als dammen van natuursteen, met asfalt ingegoten en afgedekt met gestorte zware betonblokken. Ik had in die tijd in de ontwerpfase van de nieuwe havenmond ir. Ferguson nader leren kennen doordat hij mij vroeg als een alternatief voor de blokkendammen caissondammen te ontwerpen, ongeveer zoals ook voor de haven van Genua was gekozen.

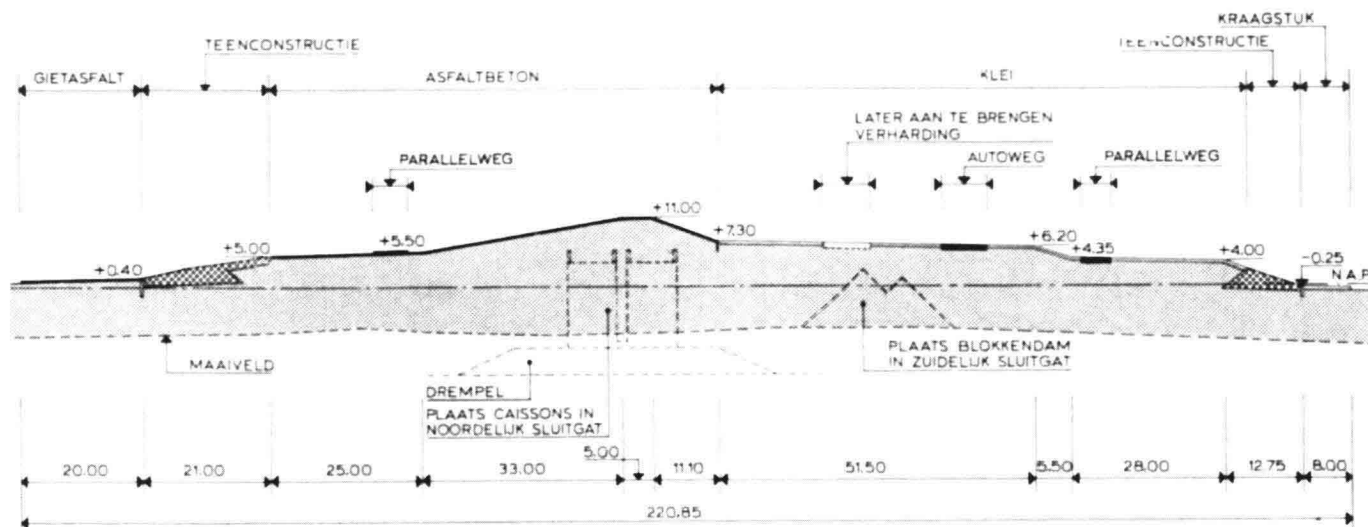
Op deze voorontwerpen was hij niet nader ingegaan;

86. De wagens transporteren 6 blokken van 2,5 ton = 15 ton nuttige last



NOORDZEEZIJD

GREVELINGENZIJD



87. Plaats van de caissons en van de blokkendam in dwarsprofiel

aan de gestorte dam werd namelijk als constructie de voorkeur gegeven. De reden daarvoor is mij ontschoten; ik kan mij voorstellen dat een gestorte dam de golven beter opvangt en goedkoper is dan een caissondam.

Met Ferguson had ik vele gesprekken over de technische oplossingen voor de afsluitingsproblemen en uiteraard ook over meer algemene onderwerpen. Het bleek mij al gauw dat zijn technische belangstelling vooral uitging naar zinkwerken en de ontwikkeling van het steenbedrijf, een en ander in verband met de waterloopkundige problemen die daarmee in verband stonden.

Maar van constructies in staal en beton had hij weinig verstand en hij wilde er ook eigenlijk geen verantwoordelijkheid voor dragen. De bijzondere aandacht die prof. Jansen hiervoor aan de dag had gelegd en waarop mijn werk berustte, was bij Ferguson geheel afwezig. Hij wilde het betonwerk voor caissons en kabelbanen het liefst weer terugschuiven naar Sluizen en Stuwen, maar besepte ook dat het met betrekking tot het afsluiten van het Haringvliet en het Brouwershavense Gat qua research en verdere voorbereidingen al veel te ver binnen eigen huis was gevorderd om er nog vanaf te kunnen. Hoe gezellig en interessant de gesprekken met Ferguson ook waren, voor de technische zaken kon ik in feite bij hem niet terecht maar bleef ik het contact

onderhouden met Van de Velde en Biezeveld die resp. over de Afsluitingswerken Noord en Zuid de leiding hadden. En verder was er uiteraard het frequente contact met de collega-ingenieurs op de verschillende werken en met de Waterloopkundige Afdeling.

Als Ferguson in *Delta-Visie* schrijft dat hij zich met het werk voor de afsluiting van het Brouwershavense Gat niet helemaal op zijn gemak voelde, dan kan ik mij dat volledig indenken. Eigenlijk lag alles al in hoofdlijnen vast toen hij zijn rentree maakte bij de Deltadienst.

Intussen ging ik rustig mijn gang; in een intensief contact met de directie Bruggen, in het bijzonder met ir. drs. H. Kuiper en met ir. P.A.A. Volker, werden de kabelbanen verder ontwikkeld. De stalen bovenbouw en de gondels werden geheel onder leiding en directie van Bruggen ontworpen en gebouwd. De onderbouw van de kabelbaan plus de te storten blokken werden door mijn afdeling van de Deltadienst voor wat betreft ontwerp en directievoering verzorgd, ten dele weer samen met de ingenieurs van de Deltadienst op de werken zelf.

Ook ontwerp, research en berekening van de doorlaatcaissons werd onder mijn leiding gedaan door de afdeling Kunstwerken; de bouw en de directievoering door Sluizen en Stuwen.

Zo is het gegaan tijdens de periode-Volkers (1962-1969) en zo is het voortgezet tijdens het bewind van Ferguson, ondanks zijn huiver om ook voor betonwerken mede eindverantwoordelijkheid te dragen. Zijn grote verdienste lag in het tijdig onderkennen

van het milieuprobleem, dat door de aanleg van de afsluitingswerken werd opgeroepen en vooral in het inzicht dat de Deltadienst zelf een leidinggevende aandacht moest schenken aan het oplossen van dat probleem.

De afdeling Waterhuishouding van de Deltadienst onder leiding van ir. P. Santema was hem in het bestuderen van het milieuprobleem voorgegaan en eind 1969 was reeds een afzonderlijke afdeling opgericht, als onderdeel van de afdeling Waterhuishouding, Milieuonderzoek en Inrichtingswerken. Maar naarmate de afsluitingsplannen van de Oosterschelde een begin van uitvoering kregen gingen ook de publieke opinie en de politiek zich ermee bemoeien. Voor Ferguson het sein om daar positief op te reageren en hij bracht de studie op een ruimere basis dan die van de Deltadienst alleen.

Oosterschelde (9)

Na al deze ervaringen bleek het mogelijk voor de drie sluitgaten van de Oosterschelde ontwerpen te maken, zowel met doorlaatcaissons als voor een geleidelijke sluiting met kabelbanen. De caissons moesten wel zeer groot worden en ook kwamen de reeds bekende bezwaren tegen deze sluitingsmethode met het oog op eventuele zettingsvloeiingen weer naar voren. Zonder alle overwegingen verder omstandig hier te noemen kan worden gezegd dat door vrijwel alle betrokkenen de voorkeur werd gegeven aan geleidelijke sluitingen met een drietal nieuw te bouwen kabelbanen.



88. Luchtfoto gereedkomen Brouwersdam op 29 maart 1972

Dit resultaat werd verkregen door het werk van een

ad-hoc studiegcommissie, waarin de afdelingen van de Deltadiensl en ook de directies Sluizen en Stuw en Bruggen waren vertegenwoordigd. Wij brachten

uiteraard eveneens al onze ervaringen van de afdeling Kunstwerken, Planning en Kostprijsberekening in - het laatst genoemde onderdeel was reeds enkele jaren eerder toegevoegd - en leverden ook veel van het teken- en rekenwerk voor de commissie.

Via alle geruchten, berichten en gesprekken had ik inmiddels begrepen dat de kans klein was geworden om de Oosterschelde overeenkomstig de nog vigerende planning af te sluiten. De milieueisen vroegen om een geheel of ten dele open blijvend zeegat; de inzichten waren sinds 1958 sterk gewijzigd. Naar mijn gevoel kon dit, indien het al zou doorgaan, wel eens een vertraging van vele jaren opleveren met veel studie en overleg, waarbij vooral voor de uitvoerende dienst het wachten wel eens voor veel interne spanningen zou kunnen zorgen.

Ik nam mij voor de Deltadienst te verlaten en besprak dit vertrouwelijk met de technisch-hoofdamttenaren Mellema en Van Rossen. Mellema was nog maar enkele jaren van zijn pensionering verwijderd en wilde bij de Deltadienst blijven. Maar Van Rossen was het met mij eens dat een overgang naar Sluizen en Stuwen voor hem en een groot deel van zijn mensen in Goes nog de beste perspectieven bood.

Zo hebben we dat toen ook op voorhand met ir. Blokland, inmiddels hoofdingenieur-directeur van de directie Sluizen en Stuwen, geregeld - officieus, maar wel afdoende. En zo heeft het zich ook voltrokken: Van Rossen heeft als technisch inspecteur een belangrijke leidende rol gespeeld bij het maken van het zeer omvangrijke betonwerk voor de Stormvloedkering in de Oosterschelde.

Want de funderingen voor de kabelbanen waren nog maar ten dele klaar toen de studies ten aanzien van het milieu de doorslag gaven om geen dichte dam te bouwen, maar een regelbare stormvloedkering. Het ontwerp hiervan is op vele plaatsen elders besproken. Uiteraard bracht deze koerswijziging zeer veel vertraging en ook hoge onvoorziene kosten met zich mede. Maar in de overweging dat natuur en milieu in het nieuwe beleid voor het maken van grote ingenieurswerken een veel geprononceerder aandeel moesten krijgen was het zeker een op de toekomst gerichte juiste beslissing, zij het dan ook dat zij ten slotte op politieke gronden werd genomen. En het is wel exorbitant duur geworden, terwijl ook de onderhoudskosten van een dergelijk groot en aan zee gelegen kunstwerk niet gering zijn.

Slotopmerkingen

In het voorgaande is het dichten van stroomgeulen besproken door de geschiedenis te memoreren van de wijze waarop daartoe in Nederland sluitingsmethoden en -technieken zijn ontwikkeld en toegepast teneinde de sluitdam te formeren. Hoe belangrijk ook, dit is slechts een van de onderdelen van de werken. Om een dam door een stroomgeul in zijn totaliteit aan te leggen zijn nog andere onmisbare werkzaamheden en constructieonderdelen nodig, zoals de bodembeschermingswerken bij een zandige bodem, de kunstwerken als sluizen en bruggen, de bekledingswerken tegen golven, stromingen en wind, het grondtransport in den natte

en in den droge, etc. Op al deze gebieden zijn er ingrijpende ontwikkelingen geweest die niet in kort bestek kunnen worden besproken binnen de door ons aanvaarde beperkingen. Ook de uitgebreide en vaak diepgaande onderzoekingen moeten worden genoemd, waarmede diverse laboratoria het werk hebben ondersteund; in het bijzonder heeft het Waterloopkundig Laboratorium te Delft hierbij een onmisbare rol gespeeld, maar ook het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft en het Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouw-

constructies te Rijswijk alsmede het Scheepsbouwkundig Proefstation (thans "Marin") te Wageningen hebben belangrijke aandelen in de research gehad.

Dit waren allen instituten die hun werk deden op natuurwetenschappelijke basis en ten behoeve van de techniek. Pas toen het besef doorbrak dat de natuur zelf hierdoor niet kon worden uitgesloten, maar schade ging leiden in haar bestaan en ontwikkeling werd het roer omgegooid om naar een nieuw compromis te zoeken.

Epiloog

Voor de Deltawerken was oorspronkelijk een planning opgesteld om deze in 25 jaar aan te leggen; daarbij zou de Oosterschelde in 1978 worden afgesloten. Dat schema was voor prof. Jansen heilig en er werd slechts met grote moeite van afgeweken. Toch was de oorspronkelijke keuze van 25 jaar enigszins een gok, want men wist immers niet welke bijzondere moeilijkheden nog te wachten stonden. Toen ik Jansen eens vroeg waarop die planning gedetailleerd berustte was zijn antwoord: "In feite voornamelijk omdat een kwart eeuw zo aannemelijk klonk; het omspande één generatie, zodat de bouwkosten over beide generaties konden worden verdeeld". Ik hield de planning bij en toen we halverwege in de tijd waren was ook de helft van de totale bouwsom geïnvesteerd, als we met een gemiddelde geldontwaarding van 5% rekening hielden".

De hartstocht waarmee het schema werd aangehouden is ook de belangrijkste verklaring voor het feit dat de Haringvlietsluizen in feite wel onder wat lichtere randvoorwaarden hadden kunnen worden ontworpen als het ontwerp een jaar later was afgerond en dus ook het bouwwerk een jaar later zou zijn gereedgekomen en daarmee ook de andere afsluitingen.

We verspeelden dat jaar toch doordat de experimenten voor de geleidelijke afsluiting meer tijd vroegen, alleen al door de breuk van de draagkabel in de

Grevelingen. Tenslotte is door de omwenteling in de kijk op het belang van het milieu de tijd waarop ook het Oosterscheldebekken veilig was gesteld met acht jaar verlengd ten opzichte van het oorspronkelijke plan.

Na mijn afstuderen in 1955 nam ik mij voor om een aandeel te leveren in het ontwerpen en bouwen van civiel-ingenieurswerken die aan het front van de techniek lagen. Vooral onderzoek en ontwerp trokken mij aan. Na wat vallen en opstaan gelukte het om dat voornemen in daden om te zetten en het geeft mij nog altijd veel voldoening dat ik bij de Deltadienst daartoe de gelegenheid vond. Daarbij is het wel nodig dat je in een positie komt waarbij de baas je er de ruimte en het vertrouwen voor geeft of tenminste laat.

Eerder al, onder Van Veen, hadden die ideeën bij mij postgevat. Van Veen was een gedrevene, zoals ik in de proloog reeds beschreef. Hij was de zoon van een herenboer uit Noord-Groningen, en ik kende het type vanaf mijn jeugd, die ik eveneens op het Hogeland van Groningen had doorgebracht.

Eggink, de hoofdingenieur-directeur bij Sluizen en Stuwen was een kunstenaar in zijn vak, die stimulerend met je omging als hij je een bepaald project voorlegde, vooral als hij de resultaten naar buiten tot gelding kon brengen. Hij speelde dat dan bijzonder

listig en vond in de psychologie een omvattende verklaring voor het gedrag van mensen. Hij hield van onderlinge competities, ook binnen zijn bureau en behandelde de medewerkers meestal als een roedel honden, waarvan hij onderwerping eiste.

Jansen was een geboren *primus inter pares* met een scherp technisch inzicht op velerlei gebied, een sterk sociaal gevoel en een grote eerbij. Hij was altijd bereid zich te verantwoorden en besteedde veel aandacht aan de periodiek van de Deltadienst, de *Driemaandelijke Berichten*. Hij gaf mij als medewerker veel vertrouwen. Het is jammer dat hem niet de gelegenheid werd geboden een ruimere verantwoordelijkheid ten aanzien van onze kustverdediging vorm te geven. Maar men vreesde een herhaling van de structuur van de Dienst der Zuiderzeewerken, die lange tijd als dienst rechtstreeks onder de Minister viel.

Volkers' verdienste was het dat hij de winkel gaande hield in de koers die door Jansen was uitgezet, waar toe de ook wetenschappelijk zo bekwame Van de Velde voor Noord en de rijk met ervaring toegeruste Biezeveld voor Zuid alleszins in staat waren.

Ferguson was een zeer erudiete man die van vele markten thuis was en met zijn ruime blik het milieuvraagstuk tijdig als uiterst belangrijk onderkende. Hij voelde zich vaak meer arts dan de typische civiel-ingenieur, zoals hij me eens toevertrouwde. Hij verklaarde de menselijke samenleving graag uit het gedrag van dieren. Hij had een zekere angst voor de pure techniek, zeker als het ging om beton en staal,

maar wilde overal toch graag bij zijn om mislukkingen te voorkomen. Soms werd hem ook de kop gek gemaakt door de jongere garde van ingenieurs die haar entree maakte en zich terecht ook moest profileren. Maar zijn uitspraak "God zegene de greep" (NRC-Handelsblad van 10 augustus 1991) is toch ontsproten aan een te zwaarmoedige opvatting omtrent de bekwaamheid van de onderzoekers en ingenieurs. Ik was zeer vereerd en verrast hem bij mijn afscheid als hoogleraar de feestrede te horen uitspreken, speels, geestig en vol lof. Maar hij bleek mijn functie bij de Deltadienst toch wat vergeten te zijn, een kwestie van verdringing. Zelfs in zijn namenlijst in zijn *Delta-Visie* was hij mij vergeten.

Rest mij nog mijn grote waardering uit te spreken voor de collega-ingenieurs met hun staf op de verschillende afsluitingswerken, met wie de samenwerking altijd zo'n goed verloop had om tot een succesvolle afsluiting te komen: Han Wiggers, Piet v.d. Weele, Gerard Swier, M.J. Loschacoff, Henk van der Tuin. En tenslotte wil ik nog opmerken dat zonder de technische hoofdamttenaren als P.J. van Maldegem, L. Becu, W.J. Schuil, G. Mellema, C.J. van Rossen, A.J. Eggebeen en anderen, die de dagelijkse leiding op de werken hadden er niets tot stand zou zijn gekomen. En nu hebben we alleen nog maar het aandeel van de Rijkswaterstaatsmensen enigszins in het licht gesteld. De aannemerswereld en haar indrukwekkende aandeel in de vooruitgang van de waterbouwkunde te beschrijven zou een apart boek vergen.

Bij het publiek zijn de afsluitingswerken wat in het vergeetboek geraakt, omdat alle aandacht is gaan vallen op de stormvloedkering in de Oosterschelde. Toch hebben ook die afsluitingswerken een tijd lang in de volle aandacht gestaan en vertegenwoordigen zij een groot belang. Ze hebben veel inspanningen geleverd en de waterbouwkunde heeft mede daardoor een opmerkelijke ontwikkeling doorgemaakt. Het stemt mij tot voldoening daartoe een bescheiden maar wel op een essentieel punt gelegen bijdrage te hebben mogen leveren, in het bijzonder ten aanzien van de continuïteit in de koers die door Jansen voor de techniek van afsluiten was uitgezet. Natuurwetenschap en biologie, psychologie, moraal en economie, het zijn tenslotte creatuurlijke aspecten van het menselijk bestaan die ons geen universele normen kunnen aanreiken. Maar wel vereisen zij de verantwoordelijkheid voor een evenwichtig compromis.

In mijn bemoeienissen als hoogleraar met Derde Wereldproblemen heb ik dat vaak opnieuw bevestigd gezien. Voor de samenhang tussen deze aspecten en voor het leidende beginsel kan men het beste bij de Schepper zelf te rade gaan.

Intensief contact met de landbouw heeft mij doen inzien dat de civiel-ingenieur krachtens zijn opleiding en instelling bijna onvermijdelijk eenzijdig is in zijn aanpak van maatschappelijke problemen. Het blijft mede daarom opmerkelijk dat een groot project als de Deltawerken, waaraan meer dan één gene-

ratie haar bijdrage heeft geleverd, toch als een evenwichtige éénheid tot stand is gebracht, rekening houdend met meer dan het technische aspect alleen. Alleen in een democratie is zulks in beginsel mogelijk, want dan kan er voldoende spel en tegenspel worden geleverd. In een dictatuur worden naar mijn ervaring grote projecten eenzijdig en tot meerdere glorie van de machthebber gerealiseerd, waarbij de natuur onnoemelijk veel schade lijdt. Toch blijft ook in een democratisch bestel waakzaamheid geboden. Want wat oorspronkelijk met het doel van een grotere noodzakelijke veiligheid tot stand gebracht is, kan ook een zodanige economische waardevermeerdering krijgen dat het doel wordt voorbijgestreefd in een onmatige begeerte naar grotere revenuen, ten koste van de natuur, maar ook van het milieu in een deltagebied.

Milieu is het resultaat van de menselijke invloed op de natuur. Ontoereikende veiligheid kan resulteren in een rijke natuurontwikkeling, maar is zonder twijfel verontrustend en schadelijk voor het milieu, zoals Van Veen reeds onderkende. Een evenwicht moet worden gevonden in die maatregelen welke een Leefbaar Laagland garanderen.

Op deze wijze leveren wij een juiste bijdrage aan de waterstaatkundige toestand van Nederland.

Bennekom

31 oktober 1997

Lijst van verklarende begrippen

ALLUVIAAL – Afgeleid van: Alluvium.

ANALOGON – Het analogon is een elektrische, analoge rekenmachine en het principe ervan berust op de hydraulisch-elektrische analogie, namelijk de overeenkomst tussen elektrische en hydraulische netwerken en de daarin optredende stromen. De Deltar is speciaal gebouwd om te worden gebruikt voor de simulatie van de getijdenbeweging in het Deltagebied in combinatie met afvoeren van Rijn en Maas.

ANKERBLOK – Een ankerblok dient voor de bevestiging van de draagkabels van een kabelbaan.

ANTITORPEDONETTEN – Zware netten van staaldraad, die tijdens de Tweede Wereldoorlog werden ingehangen in haventoeegangen om daarmee door de vijand gelanceerde torpedo's op te vangen.

BASALTSTORTSTEEN – Zie stortsteen. Basalt is een hard gesteente van vulkanische oorsprong.

BEETLES – Pontons van gewapend beton, met een lengte van 12,75 m., een breedte van 4,65 m. en een hoogte van 2,60 m.

BETEUGELINGSDAM – Onderzeese dam onder water gelegd in een sluitgat, bedoeld om de bodem vast te leggen en om daarmee te voorkomen dat in de sluitingsfase bij oplopende stroomsnelheden gevaarlijke uitschuring van de bodem optreedt.

BINNENTALUD – Een naar het land gekeerde dijkhelling.

BUITENTALUD – Een naar het water gekeerde dijkhelling.

BRUGPIJLER – Een vrijstaande drager, die wordt gerekend

tot de onderbouw van een brug en daartoe bestemd is om de krachten uit de bovenbouw (eigen gewicht, verkeer, wind) tezamen met de krachten door grond-, water-, en ijsdruk over te brengen op de draagkrachtige ondergrond. Dit geschiedt via de fundering onder de pijler.

CAISSONSLUITING – 1. De afsluiting van een na dijkdoorbraak ontstane stroomgeul; 2. De afsluiting van het overgebleven sluitgat in een afsluitdijk van een te bedijken gebied resp. van een af te sluiten zeearm met gebruikmaking van caissons.

CONTRAGEWICHTEN – De beide draagkabels van de kabelbaan waren onafhankelijk van elkaar en werden aan één uiteinde verankerd en aan het andere einde door een span- of contragewicht strakgetrokken. De gemiddelde werkspanning van 300 ton in een kabel werd in stand gehouden door een contragewicht of tegengewicht van 300 ton, dat op de Voornse oever in een ringvormige schacht verticaal kon bewegen.

CW – Afvoer- of weerstandscoefficiënt van de door de betonconstructie omraamde doorlaatopeningen in een tralieliggercaisson is een maat voor de effectieve doorstroomopening. De afvoer door de effectieve doorstroomopening komt overeen met de afvoer zonder traliewand minus de afvoerreductie door de traliewand.

DICHTINGSMATERIAAL – Het materiaal dat gebruikt wordt om de "lekage" door de holle ruimten in een damlichaam te doen verminderen. Als dichtingsmateriaal komen o.m. klei, fijn of grof grind in aanmerking.

DILUVIAAL – Afgeleid van Diluvium. Het Diluvium – nu Pleistoceen geheten – is het op een na jongste tijdvak van de geologische geschiedenis. Dit tijdvak begon ongeveer 1,5 miljoen jaar geleden en eindigde 10.000 jaar geleden.

Het Pleistoceen wordt gekenmerkt door het optreden van ijstijden (glacialen), die worden afgewisseld door warmere perioden (interglacialen). De bovenzijde van afzettingen van het Pleistoceen bestaat uit grove, grindrijke rivierzanden.

DIN-PROFIELEN – Stalen balkprofielen, met aan de binnenkant hellende flens volgens het DIN-systeem (Duitse Industrienormen).

DOORLAATCAISSONS – Een doorlaatcaisson is een caisson, waarvan de zijwanden bestaan uit openingen met verticaal beweegbare schuiven, die gesloten zijn tijdens het (drijvend) transport van de caisson, maar die geopend worden zodra de caisson zijn plaats in het sluitgat definitief heeft ingenomen, opdat de getijstroom door het sluitgat zo min mogelijk belemmerd wordt.

DRIJFSCHOTTEN – Waterdichte houten schotten die aan de buitenzijde van de tralieliggers van de doorlaatcaisson worden bevestigd en er voor zorgen dat de caisson tijdens het transport ook aan die zijde dicht is en niet vol water loopt. Na het plaatsen van een caisson in een sluitgat kunnen de drijfschotten op eenvoudige wijze worden losgemaakt en blijven deze daarna naast de caisson drijven om vervolgens opgepikt te worden.

DIJKLICHAAM – Een opgeworpen grondmassa, die de dijk vormt.

DIJKSKRUIJN – Het bovenste vlak van een dijk.

EBSCHAAR – Geul in een estuarium, waardoorheen de eb-stroom trekt.

EENHEIDSCAISSONS – Kleine elementen van gewapend beton die als hulpmiddel worden gebruikt bij het opbouwen van dijkvakken in stroomgeulen en het afgrenzen van kleine sluitgaten. In het rampjaar 1953 werd door een aantal samenwerkende betonfirma's een zeer groot aantal standardelementen met en zonder bodem gebouwd volgens een door de Rijkswaterstaat ontworpen en berekend systeem, waardoor het mogelijk werd caissons van zeer verschillende afmetingen voor de diverse sluitgaten te assembleren.

ESTUARIA – Meervoud van estuarium. Een estuarium is een min of meer trechtervormige riviermonding met het onmiddellijk aanluitend zeegebied, waarin de waterbeweging wordt bepaald door het naar zee stromende rivierwater en de werking van de getijden.

FILTERCONSTRUCTIE – De drempel in een sluitgat kan worden opgebouwd als filterconstructie. De bedoeling van de laagsgewijze filteropbouw is, dat een onderliggende laag van fijn materiaal niet door de daarboven gelegen laag van grover materiaal gespoeld of gezogen kan worden. Indien de eerste laag van de filterconstructie boven de (zand-)bodem bestaat uit grindzand wordt, om alvorens een laag grind aan te brengen, vaak een nylondoek toegepast als tussenlaag. Dit nylondoek heeft als functie om het onderliggende zand vast te houden, maar wel het water door te laten. De bovenste laag (toplaag) van de filterconstructie bestaat in de regel uit zeer zware stortsteen.

GEÏNUNDEERD – Met vooropgezet doel – meestal van militaire aard – land onder water gezet.

GEULENSTESEL – Bij de doorbraak van een zeedijk ontstaat een stroomgat waardoor het zeewater tijdens vloed naar binnen en gedurende eb naar buiten stroomt. Is het door de dijkdoorbraak overstroome gebied nogal uitgestrekt en is bovendien het getijverschil vrij groot dan bereikt het in- en uittrekkende water hoge stroomsnelheden in het stroomgat. Onder invloed van de getijwerking (eb en vloed) aan de zeezijde van het stroomgat verandert de stroom van richting en snelheid. Naarmate het stroomgat langere tijd open blijft en mede afhankelijk van de mate van stroombestendigheid van de ondergrond, kunnen vanuit het stroomgat meerdere geulen zich waaivormig ontwikkelen. Ditzelfde kan zich voordoen aan de zeezijde van het stroomgat gedurende de ebperiode. Vanwege hun onderlinge samenhang vormen deze geulen tezamen een geulensetsel.

GIERPONT – De gier- of trekpunt wordt gebruikt voor de overtocht over een rivier. Deze wordt getrokken langs een leikabel, die van oever tot oever is gespannen.

GRIENDEN – Een met rijshout (wilgen) begroeid buitendijks land langs de benedenrivieren. Vanwege de grote behoefte aan rijshout in de 20^e eeuw zijn toen ook binnendijks grienden aangelegd.

HOOGWATERKENTERING – De overgang van vloed- (stroom) naar eb(stroom). Tijdens het kenteren treedt een toestand van stil(staand) water op, die onder normale omstandigheden ongeveer een half uur aanhoudt.

KLEPPENCAISSONS – Zie doorlaatcaissons.

De openingen in de zijwanden van de caisson kunnen gesloten worden (transport) dan wel geopend (na plaatsing op de drempel in het sluitgat) worden door zware stalen kleppen, die draaien om een hooggelegen hori-

zontale as. Dit caissonstype is niet verder gekomen dan het ontwerpstadium.

KRACHTSOVERDRACHT – De wijze waarop de krachten van het ene lichaam of constructie op het andere lichaam of constructie worden overgebracht.

LAADSTATION – Het laadstation diende voor de “overslag” van de met een vrachtwagen aangevoerde betonblokken naar de stortbalk onder de zelfaangedreven gondel van de kabelbaan. De betonblokken van 1,04 m³ met een stukgewicht van 2,5 ton en voorzien van stalen ogen waren opgeslagen in een depot. Vanuit dit depot werden telkens vier blokken met een vrachtwagen, waarvan de laadbak verwijderd was, naar het laadstation vervoerd. Reed de auto op het laadstation onder de gondel, dan stonden de blokken op de juiste plaats voor de hijs-/stortbalk met vier haken, die onder de gondel hing om ze moeiteloos te kunnen oppakken.

LANDHOOFD – Een in het water uitgebouwd bouwwerk, dat de aansluiting van een te maken afsluitdam met de oever vormt.

LIERWERKEN – Een combinatie van bordes, lieren en elektromotoren voor het verticaal heffen en neerlaten van de stalen schuiven van de doorlaatcaissons. Een lier is een hefwerktuig, bestaande uit een elektrisch aangedreven trommel, waarop een kabel kan worden opgewonden.

LIMIT DESIGN – Kostenbesparende ontwerpmethodie, die beperkt van opzet is en veelal wordt gebezigd op basis van vooraf bepaalde randvoorwaarden, waaraan de constructie moet voldoen.

LOODSLAKKEN – Slakken, die bij het smelten van lood uit looderts worden gevormd. Deze loodslakken hebben een hoog soortelijk gewicht.

MANTROLLEY – Een luchtkabelspoorweg met bestuurderscabine.

METACENTERHOOGTE – Ook wel: metacentrumhoogte.

Dit is de hoogte van het metacentrum boven het zwaartepunt van een schip. Deze hoogte is een maat voor de stabiliteit van het schip. Daarbij wordt onder de stabiliteit verstaan het vermogen van een schip om in de evenwichtstoestand terug te keren.

METACENTRUM – Het metacentrum is het snijpunt van de resulterende opwaartse drijfkracht (=gewicht van het schip) met de middenas van het schip bij een kleine dwarshelling. Het zwaartepunt van het schip ligt op de middenas. Indien het zwaartepunt onder het metacentrum ligt, vormen het scheepsgewicht en de opwaartse drijfkracht bij dwarshelling een koppel, dat deze dwarshelling teniet doet. Het schip is dan stabiel in dwarsrichting. Naarmate het metacentrum verder boven het zwaartepunt van het schip (metacentrumhoogte) ligt is de stabiliteit groter.

MUZ-KRANEN – Bij de dijkbouw wordt voor het onder water storten van zand, klei e.d. gebruik gemaakt van onderlossers. Een onderlosser is een transportbak met taps toelopende beun, waarvan de bodemkleppen in geopende toestand geheel onder het bodemvlak van het vaartuig uitsteken. Bij de dijkbouw voor de Zuiderzeewerken bleek het onder water storten van keileem uit onderlossers niet mogelijk. Om die reden kwamen de z.g. keileemonderlossers met verticale beunwanden in gebruik. Wanneer de keileem niet meer uit deze onderlossers was te storten werd overgegaan op het gebruik van drijvende kranen voorzien van grijpers. Toen dit goed bleek te voldoen is door de N.V. Maatschappij tot

Uitvoering van Zuiderzeewerken (MUZ) in 1926 het speciale type MUZ-kraan met laag ingeplante lange arm ontwikkeld en in gebruik genomen.

ONDERLOOPSHEID — De mogelijkheid, dat water onder kunstwerken doorstroomt; hiervan is veelal sprake geweest bij caissonsluitingen.

PONTONS – Drijvende bakken voor het dragen van steigers, rijvloeren e.d.

PORIËNVOLUME – De totale holle ruimte tussen de korrels van een bepaald volume van een grondsoort. Deze holle ruimte dient voor de luchtverversing en de afvoer van overtollig water. In overdrachtelijke zin betreft het hier de totale holle ruimte in de betonblokkendam.

PUTTENFUNDERING – Fundering op ringen van beton, die men tot op de vaste, draagkrachtige bodem laat zakken door de grond uit de ring uit te graven en deze vervolgens met zand of beton op te vullen.

PYLONEN – Als staalconstructie uitgevoerde toren, waarvan de vorm doet denken aan het torenachtige poortgebouw van een Egyptische tempel.

RIJSHOUT – Rijshout bestaat uit takken of twijgen van wilgen of andere taaie houtsoorten.

RIJSPAKWERKEN – Rijspakwerken bestaan uit een laagsgewijze opeenstapeling van rijshoutbossen, naar buiten afwaterend vastgelegd met vlechttuinen. Ze dienen voor de verdediging van de oever boven de gewone waterstand tegen inscharing (landwaartse oeverafname door stroomschuring) of om een beloop (talud) steiler te kunnen opzetten.

RIJZENDAM – Een rijzendam is opgebouwd uit een opeenstapeling van boven elkaar afgezonken zinkstukken.

SCHEVE, WIGVORMIGE LANDHOOFDCAISSONS – De

drempel in een caissonsluitgat is tot aan de Volkerakafsluiting over de gehele lengte tussen de verticale begrenzing met de eenheidscaissons aan weerszijden horizontaal gehouden. Om de daarbij optredende wervelstraten bij de overgang drempel- eenheidscaissons te beperken is bij het Volkerak de sluitgatdrempel aan beide uiteinden over de laatste 25 m onder een helling 1:5 gelegd tegen de begrenzing, gevormd door de eenheidscaissons. Voor het verkrijgen van de overgang tussen de eenheidscaissons en de doorlaatcaissons zijn voor de oplopende drempelende schuine, wigvormige landhoofdcaissons toegepast.

SCHOORPAAL – Schuingeheide paal voor een fundering, bijv. voor een ankerblok* voor een kabelbaan, ten behoeve van de overdracht van verticale en horizontale krachten naar de draagkrachtige ondergrond.

SCHOTELVEREN – Schotelvormige veren met trapeziumvormige doorsnede. Bij belasting van de ronde “schotelbodem” kan deze maximaal worden ingedrukt tot de “schotelrand”.

SCHUIVENCAISSONS – Zie doorlaatcaisson.

SEGMENTSCHUIVEN – Een segmentschuif is een boogvormig, plaatstalen afsluitmiddel, bijv. voor een sluis, die met een tweetal armen is verbonden met een horizontale draaiax. De schuiven worden bewogen via een ketting, die aan de bovenzijde van de schuif is bevestigd. De waterdichtheid aan de onderzijde wordt verkregen door een houten lijst en aan beide zijkanalen en aan de bovenzijde door een elastische afdichting.

SLINGERSCHOT – Het slingerschot is midden in elke doorlaatcaisson met tralieliggers (afsluiting van het Veerse Gat) in de lengterichting aangebracht. Het is scharnie-

rend aan de vloer van de onderbak bevestigd, maar wordt door middel van staaldraden overeind gehouden totdat de caisson op de drempel is gezonken. Het slingerschot dient ter verzekering van de stabiliteit tijdens het zinken; zodra de caisson op de drempel staat moet door het kappen van de kabels het slingerschot worden neergeklapt teneinde de getijstroom door te laten.

SONDERINGEN – Sonderen is het onderzoeken van de samenstelling en drukweerstand van de bodem, zulks ter bepaling van de draagkracht van de ondergrond.

STORTSTEEN – Stort- of zinksteen moet zijn basalt, Maassteen, Doornikse steen, Noors of Zweeds graniet, waarvan het soortelijk gewicht tenminste 2,3 bedraagt. Stortsteen moet hoekig en onregelmatig van vorm zijn met uiteenlopend gewicht. De stortsteen dient voor het bestorten en afdekken van bodems alsmede van onder L.W. gelegen belopen en voor het ballasten van zinkstukken, zulks ter bescherming tegen stroomuitschuring.

STROOMSLUIS – Scheepvaartsluis, waarmee tevens gestroomd (geloosd) kan worden; daartoe zijn de sluisdeuren voorzien van o.a. kleppen of schuiven. In de sluis-muren worden daarvoor ook wel (omloop-)riolen ingebouwd.

SUBKRITISCHE DICHTHEID – Een dichtheid die maar weinig afwijkt van de kritische dichtheid.

TRALIELIGGER – Een ligger met een gewapend betonnen onder- en bovenrand en voorzien van een lijf bestaande uit twee tralielwanden op 1.38 m uit elkaar. Elke tralielwand bestaat uit diagonaal verlopende stalen staven met een onderlinge afstand van ruim 90 cm, het geheel gevat in een raamwerk van profielstaal, dat als kozijn in het betonwerk werd verankerd. De tralielwanden geven de

ligger de nodige draagkracht en laten bij geheven schuiven het stromende water passeren.

TRAPEZIUMVORMIG – In de vorm van een trapezium. Een trapezium is een vierhoek met twee evenwichtige zijden van verschillende lengte met basishoeken kleiner dan 90 graden. De basis wordt daarbij gevormd door de langste evenwijdige zijde.

VIZIERSTUWEN – Het beweegbare deel van de stuw heeft de vorm van een middeleeuwse ridderhelm, waaraan hij ook zijn naam ontleent. De vizierstuw bestaat uit een gebogen halve cilinder met een middellijn van ca. 50 m, die aan de beide uiteinden scharnierend met de landhoofden en de tussenpijlers is verbonden.

VLOEDSCHAAR – Geul in een estuarium, waardoorheen de vloedstroom trekt.

VOORGESPANNEN BETON – Als een betonbalk, aan beide einden ondersteund, in het midden wordt belast en doorbuigt zullen er aan de ene (bolle) zijde trekspanningen optreden en aan de andere (holle) zijde drukspanningen. In de trekzone gaat het beton scheuren. Door voortgaande kwaliteitsverbetering is het mogelijk geworden om de toelaatbare drukspanning van beton steeds verder op te voeren, niet echter de trekvastheid. Dat laatste was wel mogelijk met staal. Door een combinatie van beider eigenschappen kunnen de stalen kabels (voorgespannen kabels) in de trekzone de rek voor hun rekening nemen en het beton de druk. Tevoren wordt dus in beton, vooral in de trekzone, drukspanning opgewekt. Bij belasting van het voorgespannen beton moet de opgewekte drukspanning eerst worden overwonnen voordat in de betontrekzone trekspanningen gaan optreden. Meestal wordt de voorspanning zo

groot gekozen, dat er in de trekzone geen scheuren ontstaan.

WERVELSTRATEN – Wervelstraten kunnen o.a. ontstaan bij sluitgaten in stromend water, veroorzaakt door het verschil in stroomsnelheid tussen de hoofdstroom en de neer achter een landhoofd. Een neer is een rond-draaiende waterbeweging waarbij de stroomsnelheid van buiten naar binnen afneemt. Op de buitenrand van de neer worden kleine en soms grote draaikolken of wervels gevormd. In deze wervels zijn de stroomsnelheden plaatselijk veel groter dan die van de aandrijvende hoofdstroom. Een baan van wervels wordt een wervelstraat genoemd. In de wervelstraat is het water zeer turbulent.

WRINGSPANNINGEN – Wringspanningen treden op in een materiaal, indien dit materiaal draaiend beweegt onder druk. Vergelijk de eigenschap van kabels om bij belasting of ontlasting uit- resp. in elkaar te draaien.

WRIJVINGSCOËFFICIËNT – Wanneer twee lichamen over elkaar glijden ontstaat een wrijvingskracht tegen de (eventuele) bewegingsrichting in. Dit wordt uitgedrukt in de formule: $W = f \cdot N$, waarin W de wrijvingskracht, N de normaalkracht en f de wrijvingscoëfficiënt is. De normaalkracht is de kracht die door het ene lichaam op het andere wordt uitgeoefend in een richting loodrecht op het aanrakingsoppervlak, zodanig dat er in die richting evenwicht is. Het aanrakingsoppervlak is bijv. het vlak tussen de onderkant van het caisson en de stortsteen op de bovenzijde (top) van de drempel in een sluitgat. De grootte van de wrijvingscoëfficiënt is o.m. afhankelijk van de aard van de oppervlakken (ruwheid, soort materiaal).

WRIJVINGSPROEVEN – Wrijvingsproeven dienen ter bepaling van de maximale wrijvingskracht, waarbij een lichaam, bijv. een caisson, onder invloed van een daarop toenemende horizontale belasting nog net niet in beweging komt. Met de formule: $W_{\max} = f \cdot N$ kan de daarbij behorende wrijvingscoëfficiënt worden bepaald.

ZETTINGSPROEVEN – Zettingsproeven dienen ter bepaling van de zetting (zakking) van de ondergrond ten gevolge van een bovenbelasting.

ZETTINGSVLOEIING – Een zettingsvloeiing treedt op bij losgepakt zand. Zowel de zandmassa's, die in de natuur onder water zijn afgezet als de kunstmatig in of boven water gedeponeerde zandmassa's kunnen een losse pakking bezitten van bijv. 50-60% vaste stof en dus 50-40% poriën (normaal is een poriëngehalte van ca. 30%). Een

evenwichtsverstoring van dit losgepakte zand kan bijv. ontstaan door de snelle daling van (langdurige) hoge buitenwaterstanden. In dat geval blijft in een dijklichaam veel grondwater achter en deze gewichtstoename kan het evenwicht in de (diepere) ondergrond verstoren. Dit leidt tot herschikking van de zandkorrels onder invloed van de toegenomen belasting van de bovengrond en heeft zetting tot gevolg.

ZODEN – Zoden voor waterbouwkundig gebruik worden gewoonlijk ontleend aan terreinen, die bestemd zijn voor gebruik als zate (buitendijks gelegen bouwplaats voor zinkstukken) of voor grondhaling (binnendijks gelegen terrein waaraan klei voor dijkbouw ontleend mag worden). Deze terreinen worden voor die doeleinden van hun grasmata ontdaan.

Literatuur

- Blocq van Kuffeler, V.I.P. de, Betonconstructie De Booy in de sluitgaten van den afsluitdijk van den Zuiderzee (met naschrift van ir. J. de Booy Jr), in *De Ingenieur* 45 (1930) B 249-250
- Booy, J. de Jr., Werkwijze voor het afdammen van stroomend of aan getijbeweging onderhevig water. *De Ingenieur* 45(1930) B199-205
- Deltacommissie, Verhoging Schouwense Dijk. Eerste Interimadvies (Den Haag 26 mei 1953)
- Deltacommissie, Afsluiting Hollandse IJssel. Tweede Interimadvies (Den Haag 26 mei 1953)
- Deltacommissie, Afdamming Zeearmen. Derde Interimadvies (Den Haag 27 februari 1954)
- Deltacommissie, Afdamming Veeregat en Zandkreek. Vierde Interimadvies (Den Haag 5 januari 1955)
- Deltacommissie, Nadere beschouwingen in verband met de afdamming van de Zeearmen. Vijfde Interimadvies (Den Haag 18 oktober 1955)
- Deltacommissie, Rapport Deltacommissie (Den Haag 1960) 6 delen
- Dronkers, J.J., Tidal computation in rivers and coastal waters. (Amsterdam 1964)
- Eggink, A., Gezonken tunnels. *De Ingenieur* 69(1957) B109-117
- Ferguson, H.A., Delta-Visie, een terugblik op 40 jaar natte waterbouw in Zuidwest-Nederland (Den Haag 1988) Rijkswaterstaatserie 49
- Huitema, T., Dijken langs zee, rivieren en kanalen. Kaden om pol-
ders, droogmakerijen enz. Samenstelling, aanleg, onderhoud (Amsterdam 1947)
- Josephus Jitta, J.P., Een eenheidscaisson voor de sluiting van een sluitgat in een aan te leggen afsluitdijk. *De Ingenieur* 66(1954) B 29
- Lingsma, J.S., Gids voor de Deltawerken (Amsterdam 1969, 4^e druk)
- Lorentz, H.A., Verslag Staatscommissie Zuiderzee, 1918-1926. (Den Haag 1926)
- Mazure, J.P., De berekening van getijden en stormvloed op benedenrivieren. (Delft 1937; diss.)
- Neyt, P.J., De afdamming van het Sloe. *Tijdschrift van het KIVI* (1872/1873) 209-241
- Sandick, R.A., Octrooi no 667, kl. 84a groep 4, Jan de Booy Jr: Werkwijze voor het afdammen van stroomend of aan getijbeweging onderhevig water, *De Ingenieur* 39 (1924) 165-166
- Stamhuis, E., De Schakeltunnel. *De Ingenieur* 72(1960) B153-163
- Stamhuis, E., Het ontwerp in de waterbouwkunde. Openbare les, Landbouwhogeschool Wageningen (16 maart 1973)
- Stamhuis, E., Deltaontwikkeling. De betekenis van de weg- en waterbouwkunde voor de ontwikkeling van deltagebieden. Afscheidrede Landbouwuniversiteit Wageningen (12 maart 1987)
- Stamhuis, E., Het afsluiten van de stroomgeulen in rivieren en estuaria*. De ontwikkeling van deze techniek in Nederland. *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* 4(1995) 21-32

Veen, J. van, Getijstroomberekening met behulp van wetten analoog aan die van Ohm en Kirchhoff. *De Ingenieur* 52(1937) B73-81

Veen, J. van, Electrische nabootsing van getijden. *De Ingenieur* 58(1946) B17-20

Veen, J. van, De Delf. *Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, deel LXVIII 4 (1951) 368-375

Ven, G.P. van de (red.), *Leefbaar Laagland. Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland* (Utrecht 1993)
Wet op de afsluiting van de Zeearmen tussen de Westerschelde en de Rotterdamse Waterweg en de versterking van de hoofdwaterkering ter beveiliging van het land tegen de stormvloed later, ook officieel genoemd de Deltawet (8 mei 1958)

Illustratieverantwoording

Afbeeldingen omslag en achterkant
Zeeuws Archief, Rijkswaterstaat

Jan Henning, Vlissingen
Afbeelding: 21

T. Huitema, *Dijken langs Zee, Rivieren en Kanalen, Kaden om polders, droogmakerijen enz*, Kosmos, Amsterdam, 1947.
Afbeeldingen: 1, 2, 3, 6, 8, 14, 15, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29

Rijkswaterstaat:
Afbeelding: 22, 41, 63, 65, 79, 86

Foto V. d. Boudt:
Afbeeldingen: 27, 28

Tijdschrift voor Waterstaatgeschiedenis, 4^e jaargang, nr. 1. mei 1995, pagina 21 – 32,
Afbeeldingen: 4, 5

ANP
Afbeelding: 36

R.C. Hol, *Zeshonderdvijftig jaar Neder-Betuwe*, Amsterdam, 1977
Afbeelding: 7

Aerocarto Rotterdam:
Afbeelding: 50

E. Stamhuis (tekeningen en foto's)
Afbeeldingen: 9/10, 12, 16, 75, 76, 82, 84

Bart Hofmeester Rotterdam
Afbeeldingen: 51, 55, 61, 62, 64, 71, 82, 88

Tijdschrift van het Klv 1872/1873
Afbeelding 13

John Merk:
Afbeelding: 52

KLM-Aerocarto
Afbeelding: 18, 33, 40, 49

Aero Camera Rotterdam
Afbeelding: 53

Driemaandelijks Bericht Deltawerken
Afbeeldingen: 11, 19, 20, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 77, 79, 80, 83, 85, 87

Colofon

Redactie: ir. J.J. Pilon †, dr. M.L. ten Horn en
drs. H.C. Toussaint.

Vormgeving: Walburg Pers Zutphen

© 1997 Prof. ir. Eize Stamhuis

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 juncto het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351 zoals gewijzigd bij Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

ISBN 90.5730.176.8

Afsluitingstechnieken in de Nederlandse Delta biedt een persoonlijke terugblik van de in 1998 overleden hoogleraar civiele techniek Eize Stamhuis, die bij de Deltadienst een stempel heeft gezet op de afsluitingstechnieken voor een aantal Deltawerken: de Zandkreekdam, de Veerse-Gatdam, de Grevelingendam, de Volkerakdam, de Haringvlietdam en de Brouwersdam. Voor deze werken zijn verschillende vernieuwende technieken ontwikkeld, zoals het gebruik van caissons voor het afsluiten van de zeegaten. Scherp laat Stamhuis zien dat innovatieve toepassingen tot stand kwamen in het hoogwaardig intellectueel klimaat van de Deltadienst, waarbij na uitgebreide discussies voor vaak verrassende oplossingen werd gekozen. De auteur lardeert zijn analyses met anekdotes en karakteristieken over een aantal kopstukken van de Deltadienst en biedt zo een boeiende inblik in een ingenieursgemeenschap uit de jaren zestig.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat

