

**Het Dossier**  
**WATERSTAATS-  
WONDER**

*Sluitbare kering  
in de zeearm*

**Delfts lab**

# *Overheerste*



*Het hefschip Ostrea haalt de pijlers op  
die klaarstaan in het bouwdok Schaar.*



**Deltadienst, aannemers en  
leveren het grootste ingenieurswerk**

# *Oosterschelde*

*De mannen van Rijkswaterstaat zijn gewend zeearmen te sluiten met caissons of blokkendammen als ze plotseling voor de opgave staan in de Oosterschelde een open kering te maken, die alleen bij storm dichtgaat. 'We kiezen de oplossing die het minste is onderzocht, want daarvan zijn de problemen het minst bekend.' Een reconstructie van het grootste Nederlandse ingenieurswerk, dat 25 jaar geleden gereedkwam.*

## BODEMLEVEN HERSTELT ZICH

‘Met de veiligheid gaat het fantastisch, het weerstaan van stormen is tot nu toe gelukt’, begint drs. Eric van Zanten, projectleider verkenning zandhonger Oosterschelde bij Rijkswaterstaat over de mate waarin de doelen die met de Oosterscheldekering werden gesteld, ook zijn bereikt. Ook al heeft een echt grote storm als in 1953 zich nog niet voorgedaan, de dijken langs het Oosterscheldebekken zijn door de kering wel ontlast. Ook de mosselvisserij floreert. ‘De mosselpercelen worden nog steeds volop gebruikt, de sector is intact gebleven.’ De ecologische doelstelling levert volgens hem

‘een gemengd’ verhaal. ‘Met de unieke onderwatercultuur is het goeddeels gelukt. De Oosterschelde is een geliefd duikwater, er is zo veel te zien aan sponzen, kreeften, zeepaardjes. De sepiatrek is een ware attractie. Daar mogen we trots op zijn.’ Het lastige deel van het verhaal is de verstoring van de balans tussen sedimentatie en erosie. ‘Door de weerstand van de kering en de verkleining van het bekken door de Oester- en Philipsdam is het debiet, de transportsnelheid van het water, met 30 % afgenomen. Dat heeft op de zandtransportcapaciteit een negatief effect van

75 %, waardoor de voeding van de platen en slikken achterblijft, terwijl de erosie wel doorgaat.’ Sinds 1987 wordt bijgehouden hoeveel platen en slikken bij laag tij droogvallen. ‘Het oppervlak daarvan is met zo’n 10 % afgenomen.’ Ook de hoogte van de platen en slikken is verminderd: van het volume van 140 miljoen m<sup>3</sup> is zo’n 35 miljoen verdwenen, oftewel een kwart. ‘Het zijn platte plakken geworden, dus het droogvallende areaal zal in de toekomst waarschijnlijk sneller verminderen.’ Effect op het bodemleven is er volgens Van Zanten nauwelijks. ‘Het punt is dat de vogels niet meer bij de pieren en kokkels kun-

### ‘DE DICTATUUR VAN DOS’, REAGEERT

prof.dr.ir. Han Vrijling op de vraag over zijn betrokkenheid bij de Oosterscheldekering. Hij doelt op de zes weken in 1974 dat de aannemerscombinatie Dijkbouw Oosterschelde feitelijk de zeggenschap bij het Waterloopkundig Laboratorium in De Voorst, Noordoostpolder, overnam om de haalbaarheid van een doorlaatbare dam te onderzoeken. Hoe kon het zover komen?

Het zijn hectische tijden, begin jaren zeventig. Er is opstand alom, de Club van Rome voorspelt uitputting van de aarde, het kabinet-Den Uyl treedt aan. In eerste instantie is daar in de Oosterschelde niets van te merken. Rijkswaterstaat werkt hard aan de voltooiing van de Zeeuwse Deltawerken, die een herhaling van de watersnoodramp van 1953 voorgoed onmogelijk moeten maken. Geheel volgens de oorspronkelijke plannen maken aannemers op zandplaten in de zeearm de werkeilanden Neeltje Jans en Noordland, die ze daarna verbijn-

*De bouw van de pijlers, met onderaan de voet de grindzakken die het insluipen van zand moeten voorkomen.*

den met het damvak Geul. Het afsluiten van de stroomgeulen gebeurt door het storten van blokken vanuit een kabelbaan, zoals dat ook eerder met succes was gedaan bij de Grevelingen, het Haringvliet en het Brouwerhavense Gat. De eerste pylons zijn alvast op hun plaats gezet.

Maar ook rond het Zeeuwse water broeit het. De oester- en mosselvisserij keren zich al langer tegen afsluiting vanwege het dreigende verlies van hun broodwinning en een in hun ogen te karige schadeloosstelling. Een groep notabelen uit de wereld van de biologie, de civiele techniek, het bankwezen en de watersport bekommert zich vooral om het unieke estuarine milieu en vormt in 1967 de studiegroep Oosterschelde.

Net als elders in de samenleving krijgt het verzet tegen afsluiting begin jaren zeventig momentum. Delftse studenten stedenbouw presenteren het idee van open caissons die met schotten of sluisen worden afgesloten. Mosselvisserij, studiegroep en milieuvrijwilligers vormen samen het Comité Samenwerking Oosterschelde. Terwijl Rijkswaterstaat nog eens benadrukt dat afsluiting is te combineren met een goed milieu, stelt het kabinet-Den Uyl een commissie in die moet onderzoeken of er een alternatief is voor volledige afsluiting. Op 1 maart 1974 ligt er het voorstel een open blokkendam te maken, eventueel later gevolgd door de aanleg van een stormvloedkering.

‘Niet afsluiten ervaren de oudgedienden als een nederlaag’, herinnert ir. Frank Spaargaren zich. Hij is bij de Deltadienst van Rijkswaterstaat sinds 1972 hoofd van de Oosterscheldewerken. ‘Waterbouw is een ervaringsvak. Vandaar ook het idee om bij de Deltawerken met de kleinste gaten te beginnen en zo naar de grotere te groeien. Zo is een ploeg praktisch ingestelde mensen ontstaan die heel ervaren is in het afsluiten van gaten. De sprong van afsluiten naar iets dat open blijft, met methoden die niet in de praktijk zijn beproefd, dat is voor velen echt een brug te ver.’

Ondertussen moet Rijkswaterstaat wel op dat advies reageren, en verzoekt de aannemerscombinatie DOS een blokkendam te ontwerpen. ‘Dat inschakelen van de aannemerij voor het bedenken van een ontwerp is volko-



FOTO: WILHELMUS FOTOGRAFIEF

nen. De openingstijden om van die gedekte tafel te eten, worden steeds korter.'

Erosie van de platen en slikken heeft ook gevolgen voor de kustverdediging: de golven worden voor ze de dijk bereiken minder afgeremd. 'Dat is mede een reden waarom we een studie zijn begonnen naar mogelijkheden om de platen en slikken door suppletie op te hogen. 'We proberen de plekken te identificeren waar dat goed is voor de veiligheid en goed voor de natuur.' Gedacht wordt aan een omvang van zo'n 200 000 m<sup>3</sup>

zand. 'Dat is goed te doen. Om de platen in hun geheel te behouden zouden we vijf keer zoveel nodig hebben.'

In 2008 vond een eerste proef plaats met de suppletie van 130 000 m<sup>3</sup> zand op de Galgenplaat. 'Dat had te maken met onderhoudsbag-

gerwerk van een van de geulen.' Drie jaar later blijkt dat 90 % van het aangebrachte zand nog op zijn plek ligt. 'In het bodemleven zijn alle soorten terug, nu nog vooral met jongere exemplaren. Het betekent dat het bodemleven zich van zo'n suppletie weet te herstellen.'



De mosselteelt floreert nog steeds.



Voor duikers is de sepia (zeekat) een ware attractie.

men nieuw', zegt ing. Daan von Eugen, vanaf 1959 bij de eerste afsluiting, die van het Veerse Gat, voor DOS als uitvoerder bij de Deltawerken betrokken. 'Tot dan is overleg niet mogelijk. Als Rijkswaterstaat zegt: bouw die dam van kokosnoten, dan hebben we dat maar te doen.'

De combinatie DOS bestaat uit de Aannemers Combinatie Zinkwerken, Baggermaatschappij Breejenbout, Van Hattum en Blankevoort Baggeren, de Hollandse Aanneming Maatschappij, het Aannemings- en Wegenbouwbedrijf Offringa, Aannemingsmaatschappij Van Oord en de Adriaan Volker Baggermaatschappij.

'Zes weken lang werken we in De Voorst dag en nacht met de mensen van het waterloopkundig lab', weet ir. Rob de Leeuw, destijds hoofd research op het bedrijfsbureau van DOS. 'Het is een lange reeks van ideeën bedenken, proeven doen, de vertaalslag naar de praktijk maken. Gezien de beperkte tijd moeten we tamelijk grof afstrepen wat de mogelijkheden zijn, want een maanden durend onderzoeksproject zit er niet in.' Al snel is de conclusie dat alle opties die de Oosterschelde niet volledig afsluiten, zoals een open blokkendam, een overlaat of een doorlaatcaisson, geen zin hebben. 'Uiteindelijk vult het bekken zich toch met het hoge water, alleen duurt het wat langer.' Het beste alternatief lijkt een afsluitbaar caisson op een drempel. 'Dat is ook min of meer traditioneel.' De Leeuw doelt op de doorlaatcaissons die al bij de eerste afsluiting, die van het Veerse Gat, zijn gebruikt. In de zee-arm is eerst een drempel opgeworpen van grind en stortsteen op een laag van nylon matten. De met houten schotten drijvend gehouden caissons, ter grootte van 45 x 20 x 20 m, worden ingevaren, afgezonken door de schotten weg te halen, en als ze op hun plaats liggen bij dood tij dichtgemaakt met stalen schuiven. Dan gaat zand erin en ernaast, en dat zandlichaam wordt vervolgens als een dijk afgewerkt.

Het idee voor de afsluitbare caissons valt in goede aarde: het kabinet stemt ermee in, mits het technisch haalbaar is, in 1985 klaar is en niet meer dan 1,6 à 1,7 miljard gulden extra kost. De bestaande werken in de Oosterschelde, die de aanleg onmogelijk maken, worden stilgelegd, en de geplaatste pylonen weer verwijderd. Spaargaren van Rijkswaterstaat: 'Dat

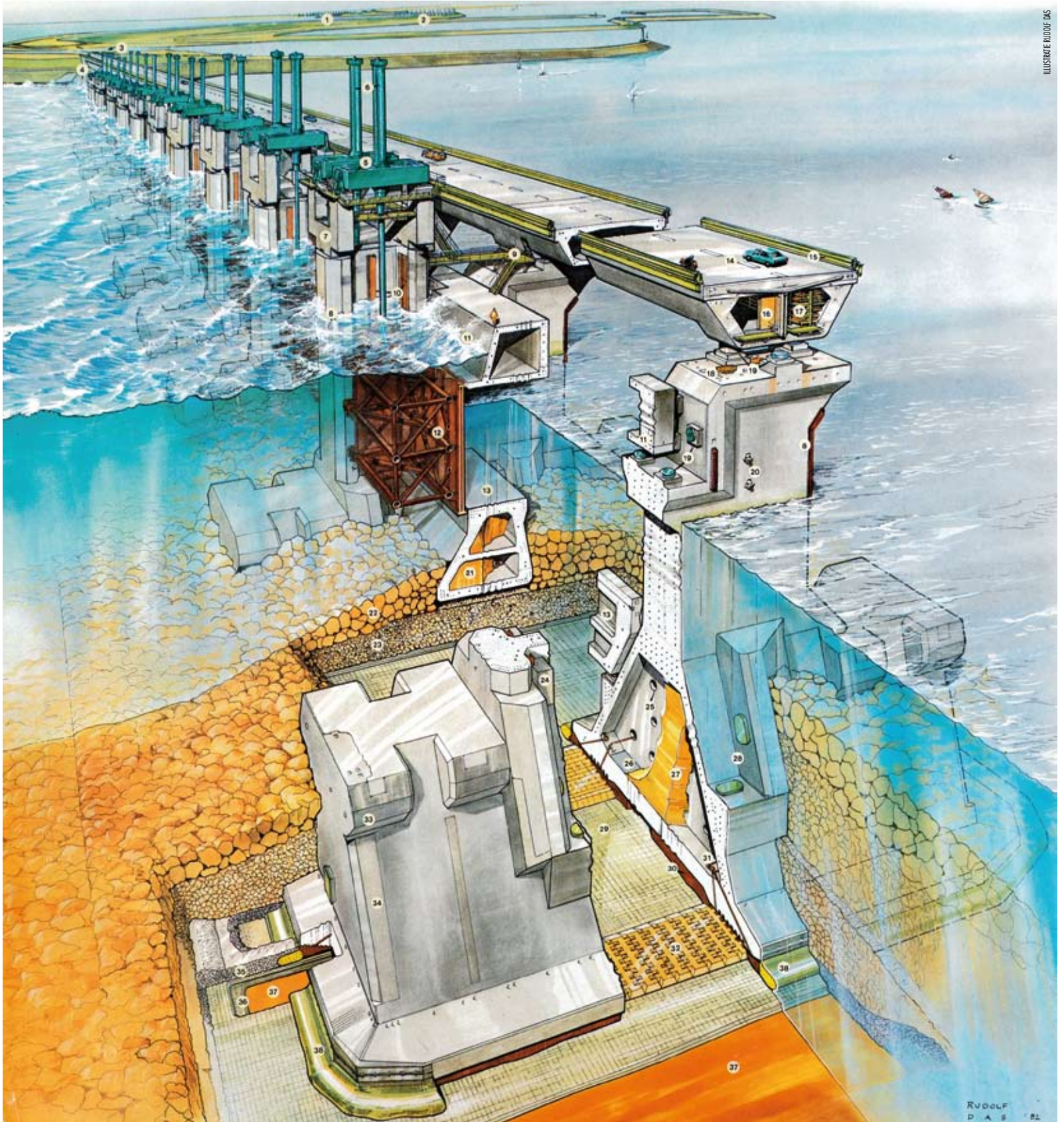
was voor de bestaande ploeg ook niet erg motiverend.'

Rijkswaterstaat krijgt anderhalf jaar de tijd om op basis van de afsluitbare caissons een nieuw plan te maken. 'Een nieuwe generatie mensen is daarvoor nodig. Veel krijgen we binnen via de aannemerij of ingenieursbureaus en van andere diensten. Het zijn dertigers, veel theoretisch goed opgeleide mensen, maar met weinig praktijkervaring. In plaats van twee of drie jaar aan kleine klussen te werken, krijgen ze bij de Deltadienst meteen de volle verantwoordelijkheid.' Er worden zeventien werkgroepen gevormd om onderdelen verder uit te werken. 'Er komen 150 man extra, terwijl het halve Waterloopkundig Laboratorium erop draait.'

### TWEE KEER TE LAAT

Ir. Jan Konter, onderzoeker bij dat lab, wordt speciaal bij Rijkswaterstaat gedetacheerd om als liaison te functioneren. 'Van ons instituut heerst het beeld dat het antwoord geeft op niet gestelde vragen en daarmee twee keer te laat komt. Dat heeft te maken met het verkeerd interpreteren van de vraagstelling, of de ontwerpers zitten al weer op een ander spoor. Onze wat academische onderzoekscultuur moet voor dit project ingrijpend worden aangepast. Het onderzoek is nu direct gericht op het vinden van oplossingen en het leveren van het bewijs dat die werken. De link tussen onderzoek en uitvoering is optimaal.' Ook de aannemerij blijft bij de uitwerking van de plannen betrokken. DOS wordt uitgebreid tot DOSbouw met de Hollandse Beton Groep, Ballast Nedam en de toen nog apart opererende Stevin Groep.

Voor de caissons worden tal van varianten uitgewerkt: moet de opening smal en verticaal tot de volle diepte van de stroomgeul zijn, of juist breed en minder diep? 'We kiezen dat laatste brievenbusmodel', zegt dr.ir. Paul Kolkman, indertijd hoofd van de afdeling Stuwten en Sluizen van het Waterloopkundig



- |    |                                     |    |                                    |    |                                  |    |  |
|----|-------------------------------------|----|------------------------------------|----|----------------------------------|----|--|
| 1  | sluitgat Hammen                     | 11 | bovenbalk                          | 21 | zandvulling dorpelbalk           | 31 | groutleidingen                             |
| 2  | sluitgat Schaar van Roggenplaat     | 12 | schuif                             | 22 | toplaagdrempel                   | 32 | tegelmot                                   |
| 3  | schutsluis Roompot                  | 13 | dorpelbalk                         | 23 | kerndrempel                      | 33 | hijnsnokken                                |
| 4  | breukstenendam als landhoofd        | 14 | verkeersweg                        | 24 | oplegnokschuif                   | 34 | beschermingslaag tegen stort drempelstenen |
| 5  | cardanbalk draagt bewegingswerk     | 15 | vangrail                           | 25 | tussenwandgaten voor zandvulling | 35 | aanstorting grindzak                       |
| 6  | hefcilinders                        | 16 | apparatengalerij                   | 26 | pijlerbodem                      | 36 | ondermat                                   |
| 7  | opzetstuk                           | 17 | leidingenstraat                    | 27 | zandvulling pijler               | 37 | verdichte Oosterscheldebodem               |
| 8  | wrijfhout                           | 18 | toegang tot pijler                 | 28 | aanslagen/opleggingen dorpelbalk | 38 | grindzak                                   |
| 9  | bordessen en trappen voor onderhoud | 19 | opleggingen                        | 29 | bovenmat                         |    |  |
| 10 | geleiding van schuif                | 20 | ankerpunten voor onderhoud drempel | 30 | ondergroutvulling                |    |  |

Laboratorium. 'Een verticale opening geeft veel meer zandopwoeling en een sterker stroomprofiel, terwijl een horizontale opening een veel rustiger stroombeeld levert.' Tal van afsluitmiddelen zijn bedacht: roosterschuiven, hefschuiven, tolkleppen en wat niet al. 'Van vele typen en varianten maken we modellen, soms zelfs met elastische eigenschappen, die ze geschikt maken voor het testen van mogelijke trillingen door stroming.' Uiteindelijk liggen er 360 verschillende ontwerpvarianten op tafel.

De meeste kopzorgen levert de fundering van de caissons. Spaargaren van Rijkswaterstaat: 'De grote vraag was wanneer zo'n caisson die op een drempel staat, gaat bewegen. Is dat te voorspellen en is er iets tegen te doen? Daarom hebben we bij het dorp Kats op Noord-Beveland een groot teststation gebouwd zodat we 1:1-proeven kunnen doen.' Op een gegeven moment haalt hij alle topspecialisten op het gebied van grondmechanica bij elkaar, met een caisson dat over is van de afsluiting van de Lauwerszee. 'We simuleren de golfbelasting en vragen alle deskundigen een voorspelling te doen. Op een gegeven moment staan de caissons in een waterplas, en niemand heeft dat goed voorspeld. Voor mij is de les: wat er ook wordt gerekend, we moeten alles eerst beproeven. Dat maakte het werk er natuurlijk niet goedkoper op.'

### **KNIKKER**

Bij het plaatsen van een caisson op een drempel staat of valt de sterkte van de fundering met de kwaliteit van de drempel, die is gemaakt van verschillend gegradeerde lagen, van fijn grind tot stortstenen. Het idee erachter is dat fijnere deeltjes worden opgesloten door een laag van grovere deeltjes, zoals het onmogelijk is voor een knikker om door een laag stuiters heen te komen. Dit filter voorkomt ook dat de bodem onder invloed van wisselende waterspanningen verweekt. Wanneer de toplaag van grove steenstort bestand is tegen het stromende water, dan zijn ook alle fijnere lagen daaronder gezekeerd en kan er geen erosie optreden. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium: 'Die drempel krijgen we niet stabiel. Vanwege de aanzandingsproblemen is het niet mogelijk om de ondergrond schoon aan te leggen.' Die aanzandingsproblematiek is eigen aan de Oosterschelde. Vanwege de zanderige bodem van de zeearm en de grote stroomsnelheden verplaatst zich per getij een miljoen m<sup>3</sup> zand. Zodra de stroomsnelheid afneemt zakt het zand uit, en komt het dus ook terecht op de drempelondergrond in aanleg. Spaargaren: 'Een steunlaag uit baggeren voor onder de caissons en gelaagd ophogen terwijl er ondertussen in het water een Saharastorm gaande is, ik zie dat niet zitten.'

De Leeuw van DOSbouw memoreert een ander probleem: de afdichting tussen de caissons, die op zo'n 1,5 m van elkaar komen te staan. 'Je kunt ze niet star aan elkaar bevestigen. Zettingen, die er altijd zijn, leiden dan tot scheuren. De afdichting tussen de caissons krijgen we ook niet stabiel.'

Inmiddels levert grondonderzoek door Rijkswaterstaat een nieuwe tegenslag: bij sondering blijkt de bodem van de geulen op sommige plaatsen volkomen ongeschikt om er caissons op te plaatsen. De ondergrond moet dus worden verbeterd.

Een alternatief voor plaatsing op een drempel is het maken van een diepe fundering, waar de caissons op worden vastgezet. Spaargaren: 'Los van de vraag hoe we die fundering gaan aanbrengen, is duidelijk dat de kosten enorm gaan oplopen. Bovendien blokkeren gewone caissons de doorgang wezenlijk meer dan gewenst. We moeten dus met grotere openingen

werken, wat betekent dat we caissons nodig hebben die dieper zijn en dus ook een diepere fundering nodig hebben, wat het nog eens extra duur maakt.' Zo ontstaat midden 1975 een impasse: er zijn twijfels over de fundering van afsluitbare caissons op een drempel, de kosten van diep gefundeerde caissons gaan met drie miljard gulden ver uit boven het gestelde maximum, terwijl er ook twijfel is over het halen van de deadline van 1985.

Dan valt het woord pijlers. Helemaal nieuw zijn ze niet. Van Hattum en Blankevoort heeft de methode met succes toegepast bij de aanleg van de Zeelandbrug. Daar staat elke brugpijler op een betonnen plaat, die op zijn beurt rust op drie in de zeebodem tot 20 m diep aangebrachte holle betonnen buizen. Spaargaren: 'Pijlers geven meer vrijheid om ertussen grote openingen te creëren.'

Aan alle drie de varianten, caissons op een drempel, diep gefundeerde caissons en diep gefundeerde pijlers, wordt volop gerekend; Rijkswaterstaat moet met een eindrapport komen. Wanneer dat verschijnt komt de pijlerdam als meest haalbare oplossing naar voren. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium: 'Het was de minst onderzochte oplossing, de problemen ervan waren het minst bekend.' In zijn proefschrift van 1988 over de besluitvorming rond de Oosterschelde concludeert Donald Frederik Westerheijden: 'De pijlerdam is zeventien jaar na voren gekomen omdat de alternatieven met caissons onvoldoende steun kregen. De pijlerdam is voor iedereen onbekend als stormvloedkering, dus er zomaar tegen zijn kan niet.'

Bij Rijkswaterstaat verloopt de keuze voor de pijler overigens niet zonder slag of stoot. Spaargaren: 'De directie van de afdeling Sluizen en Stuwen wil na het afschieten van de caissons, waar zij een sterke voorstander van zijn, niet meer met

*'Als Rijkswaterstaat zegt: bouw die dam van kokosnoten, dan hebben we dat maar te doen'*

*De achterkant van het mattenlegschip Cardium, met daarachter de steen- en asfaltstort Jan Heijmans.*



## ZETTINGEN EN ONDERHOUD

Sinds 1986 is de kering 24 keer gesloten vanwege storm. Een topjaar was 1990, toen er zeven sluitingen zijn geweest, waarvan in februari drie achter elkaar. 'Dat was vrij uniek, een situatie die volgens de berekeningen eens in de honderd jaar voorkomt', zegt Krijn Saman, hydrologisch adviseur van Rijkswaterstaat. Hij is voor de dienst een van de mensen die het gedrag van de kering in de gaten houdt. 'De eerste vijf jaar waren de zettingen, als verwacht, het grootst.' De pijlers zijn zo'n 4 tot 6 cm gezakt, 1 à 2 cm verschoven richting de Noordzee en iets gekanteld naar de Oosterschelde. 'Tot op heden

is dat allemaal binnen de toegestane marges.' De laatste jaren zijn de zettingen minimaal, maar Saman sluit niet uit dat bij een superstorm weer een grotere zetting optreedt. 'Er is dan een belasting waar de constructie nog niet aan gewend is.'

Bij het onderhoud zijn er twee grote tegenvallers: met het asfaltmestiek en de coating van de schuiven. 'Voorbij de funderingsmatten ligt er aan weerszijden van de kering 550 tot 650 m bodembescherming, die bestaat uit blokkenmatten met daarop deels steenbestorting. Het eerste stuk, 100 tot 350 meter vanaf de kering, ligt op

de blokkenmat alleen asfaltmestiek, die bestaat uit verschillende lagen die dakpansgewijs over elkaar heen zijn gelegd. 'Oorspronkelijk zou dat deel ook worden bestort met stenen, maar dat is uit kostenoverwegingen achterwege gelaten.' Al tijdens de bouw werd onderkend dat er een risico was dat de lagen asfalt niet goed aan elkaar zouden verkleven en daardoor onvoldoende sterk zijn. 'Begin jaren negentig zagen we op veel plekken schade.' Daarna is besloten het asfalt te herstellen en alsnog te bestorten.

me praten. Tussen de diensten is er altijd wel sprake van competitie: ieder wil haantje de voorste zijn.'

In juni 1976 kiest de Tweede Kamer voor de pijlerdam. Rijkswaterstaat en DOSbouw moeten aan de slag om de vele 'detailproblemen' van het ontwerp uit te werken. In prachtig ambtelijk proza spreekt Rijkswaterstaat van een dynamisch proces met sterk innoverende elementen.

Al gauw wordt duidelijk dat het bouwen van pijlers op funderingsbuizen, die een doorsnede van zo'n 15 m krijgen, nogal wat vragen oproept. Vrijling, op dat moment voor een van de DOSbouw-bedrijven gedetacheerd bij het Waterloopkundig

**'Pijlers geven meer vrijheid om ertussen grote openingen te creëren'**

Laboratorium in De Voorst: 'Proeven wijzen uit dat er tussen die buizen resonanties optreden, wat leidt tot enorme belastingen. Bij diepfundering krijg je bij geringe variaties beneden grote afwijkingen bovenin, precies daar waar de afsluitelementen zitten.' De Leeuw

van DOSbouw noemt het probleem van de afdichting rond de gefundeerde pijler. 'Bij hoge waterstanden is er een enorme hydrostatische belasting. Onder die omstandigheden ga je van zand naar een betonnen gevaarte. Hoe op zo'n overgang een filter te krijgen dat goed aansluit en voorkomt dat de stroomgaten wegeroderen, we hebben geen idee.'

Spaargaren, door de geïnterviewden toch al de meest vindingrijke figuur van het Oosterscheldeproject genoemd, bedenkt de oplossing: plaats de pijlers met een brede voet op een geprefabriceerd filter, dat is opgebouwd uit grof zand, kif (fijn grind ter grootte van 2-5 mm) en grind. Zo'n filter voorkomt dat het zand waar de pijler op staat, wordt weggespoeld. Spaargaren zelf: 'Met dat idee van een geprefabriceerde filtermat loop ik al langer rond. Het filter ter plekke storten in de Oosterschelde gaat nooit goed.' Het is hoe dan ook zijn ontwerpfilosofie: maak zoveel mogelijk op land en beperk het werk in de zeearm tot het hoogstnoodzakelijke.' Dat geldt ook bij de pijler op fundering. 'Een schip heeft al gauw twee weken nodig om drie funderingsbuizen de grond in te cutteren (bij het plaatsen wordt onderin de buis zand met water vermengd en weggezogen, FB). Vervolgens moet er een bouwkuip worden gemaakt om op een diepte van -25 m de verbinding tussen de pijler en de buizen te maken. Terwijl je te maken hebt met een sterke stroming en mogelijke stormen, waarbij al het materieel weer naar de wal moet. Op die manier duurt de aanleg veel te lang.' In plaats daarvan worden de 65 pijlers – van 30 tot 40

m hoog, met een voet van 50 x 25 m en een gewicht van maximaal 18 000 ton – als een monoliet in het bouwdok Schaar bij Neeltje Jans gefabriceerd, en vervolgens naar de bestemming gevaren en op de filtermat geplaatst. 'Dat is hooguit een dag werk.'

Even leek het project terug bij af. Want op zo'n pijler staat als de kering is afgesloten ook een dynamische belasting van de golven, met alle risico's van zettingsvloeiing.

Ing. Cees Vroege, vanaf 1980 directeur van DOSbouw, herinnert zich nog de proeven bij het Waterloopkundig Laboratorium in De Voorst. 'Bij een beetje slappe grond komt de verticale wand die we als model van de pijler gebruiken, al bij golven van 1 m in beweging. 'Het zand

waarop de pijler komt te staan, moet dus worden verdicht. 'De mensen van Stevin hebben daar ervaring mee, bij de aanleg van sluizen en brughoofden. De proeven die we met verdichting onder water doen zien er goed uit.'

Volgens Spaargaren levert de probabilistische methode die Vrijling introduceerde ook een belangrijk verschil. Vrijling: 'De belasting op de pijler wordt onder andere bepaald door waterstandsverschil en stormbelasting. Je kunt dat allemaal optellen tot een maximale belasting, maar je kunt ook kijken naar de kans dat de maximale belastingen zich tegelijkertijd voordoen. Stel dat je eist dat de kering een storm van eens in de vierduizend jaar moet weerstaan, dan blijkt dat de maximale belasting een derde minder is dan wanneer je alles gewoon optelt. Het directe voordeel ervan was dat de pijlers 45 m in plaats van 40 m uit elkaar kunnen staan, wat aanzienlijk scheelt in de bouwkosten.'

Een hefinstallatie van een trilnaald op het verdichtingsschip Mytilus.



Vorbij de bodembescherming treedt, zoals verwacht, erosie op. 'Bij de Roompot zijn kuilen ontstaan van 55 m diep, we verwachten dat die zullen uitgroeien tot uiteindelijk 85 m.' Op zich is dat niet erg, als de helling van de kuil maar niet te stijl wordt en zo ook de bodembeschermingslaag gaat ondermijnen. 'Op verschillende

plaatsen hebben we op de helling stenen gestort om de overgang geleidelijker te maken.' Het directe onderhoud aan de kering heeft ook een tegenvaller, vooral de conservering van de schuiven. 'Tijdens het productieproces is halverwege het procedé van de aan te brengen epoxycoating aangepast. Al in de jaren negentig

bleek die nieuwe coating niet te voldoen en moesten we op de helft van de schuiven een nieuwe laag aanbrengen. Die oorspronkelijke coating heeft zich beter gehouden en is pas nu aan onderhoud toe.' Inspectie naar vermoeiing van de schuifconstructie heeft tot nu toe geen problemen aan het licht gebracht.



FOTO: RIJSWATERSTAAT

Onderhoudswerk bij de kering in de Roompot, 2005.

De vraag die nog niet is beantwoord, is hoe zo'n filtermat te leggen en hoe die te maken. Von Eugen van DOSbouw herinnert zich nog het indringende gesprek met de Deltadienst. 'Kunnen jullie dat, vragen ze. Ik vertel: we hebben ervaring met het leggen met blokkenmatten, als vervanging van de traditionele zinkstukken van rijshout. Dat doen we vanaf een rol op een schip, waarbij we deiningscompensatie gebruiken. Het is een kwestie van extrapoleren om de matten voor de pijlerdam te leggen.'

Voor het maken van de matten wordt een aparte fabriek opgezet. Doek van polypropyleen dient als verpakkingsmateriaal, waarbij de opbouw met korfjes ervoor zorgt dat het vulmateriaal van grof zand, kif en grind op zijn plaats blijft. Het geheel wordt met pinnen en schoteltjes bij elkaar gehouden. 'De matten, van 42 m breed, 150 m lang en 36 cm dik, wegen een ton per m<sup>2</sup>. Zo'n gevaarte kunnen we alleen hanteren als er in het doek staalkabels zijn ingeweven.' De oplossing wordt gevonden bij een bedrijf dat staalkabels in het weefsel van autobanden aanbrengt. De bodem waarop de matten komen te liggen, en daar bovenop de pijlers, moet uiteraard zo vlak mogelijk zijn, en op pre-

cies de goede diepte. Vroege van DOSbouw: 'Daarvoor hebben we een zuigkop nodig van ruim 40 m breed. In de VS gebruiken ze een zogeheten *dustpan*-zuiger. Onze baggermensen ontwerpen naar analogie daarvan samen met het Waterloopkundig Laboratorium die kop. Op de helling van VolkerStevin in Sliedrecht hebben we er een groot aantal proeven mee gedaan.' Het apparaat bestaat uit een zuigmond, voorzien van een hele rij waterspuiters die het zand verweken zodat het kan worden opgezogen. Een soortgelijke – kleinere – zuigkop moet de matten, wanneer die eenmaal zijn gelegd, schoonzuigen voordat de pijler erop komt te staan. 'We willen geen enkele zandinsluiting.'

Het functioneren van de pijlerdam staat of valt met de nauwkeurigheid waarmee de pijlers worden geplaatst, en dus ook met de nauwkeurigheid waarmee de matten op de uitgebaggerde en met trilnaden verstevigde bodem zijn gelegd. 'De strenge eisen aan het ene onderdeel, het heen en weer kunnen bewegen van de schuiven, vertaalt zich via de pijler naar eisen ten aanzien van de matten. Dat is het meest kritische onderdeel. Op een vlak van 30 m is een variatie van hooguit een paar cm toegestaan', vertelt ir. Hans Huis in 't



- 1 Baggerschip Sliedrecht zuigt slappe bodemdelen weg.
- 2 Sleephopperzuiger Johanna Jacoba brengt nieuw zand aan.
- 3 Verdichtingsschip Mytilus verdicht bodemzand tot 10 m diep.
- 4 Mattenleg- en baggerschip Cardium zuigt bodem vlak en op diepte en legt direct daarna funderingsmatten.
- 5 Geoponton Johan V met duikerklok voor het nemen van bodemmonsters en het uitvoeren van reparatiewerk aan funderingsmat.
- 6 Steen- en asfaltstorter Jan Heijmans dicht gleuf tussen funderingsmatten met verschillende steengroottes.

- 7 Mattenlegschip Sepia dicht gestorte gleuf af met grindwiepenmatten.
- 8 Ponton Donax legt tegelmatten en is afmeerponton voor Sepia.
- 9 Sleepboot die bij het werk wordt gebruikt.
- 10 Ponton CO 18 coördineert duikactiviteiten.
- 11 Inspectieschip Wijker Rib met onderwatervoertuig Portunus dat funderingsmat controleert.
- 12 Ankerlegschip Arca plaats ankers van werkschepen.
- 13 Ponton Macoma voor het afmeren van Sepia (7), Donax (8) en Ostrea (14). Maakt funderingsmat zandvrij voordat pijler wordt geplaatst.
- 14 Hefschip Ostrea vervoert en plaatst pijlers.

- 15 Steenstorter Libra brengt kern van drempel aan.
- 16 Zelfvarende bok Taklift 4 plaatst dorpelbalken en verkeerskokers.
- 17 Transportschip Patella vervoert steenasfaltzakken die Trias (18) aan voet van pijler legt.
- 18 Ponton Trias met toplaagstorkraan drapeert stenen van 6 tot 10 ton op kern van drempel.
- 19 Transportschip Barnea voert stenen voor toplaagstort aan.
- 20 Ponton Manus bedient trilplaat die stenen drempel verdicht.
- 21 Sleepboot Dragon Fly met wervelwiel dat zand uit stenen drempel wegjaagt.



RUGOLF 2011  
D.F.S. 2011

Veld, bij de Deltadienst verantwoordelijk voor de plaatsbepaling en inspectie van alle werkzaamheden. ‘Het leggen van de matten is ook veel lastiger, dat moet in één keer goed, anders moet alles weer opnieuw. Zo nodig kun je de pijler terwijl hij nog in de takels hangt direct na het neerzetten weer terughalen.’ Er is nog wel een correctiemogelijkheid door op de filtermat zogeheten tegelmatten te leggen, wat bij een paar pijlers ook is gebeurd.

Voor de plaatsbepaling zijn als ijkpunten drie lasers op het land neergezet langs de randen van de geulen. Verder is op de schepen een heel systeem om via helling- en afstandsmeters en draadmeting de bewegingen van het schip te verdisconteneren. ‘De zuigmonden hebben sensoren die de vlakheid en de zanddikte meten. We gebruiken daarvoor echoscopie, die via TNO vanuit de medische wereld beschikbaar is.’

De positionering van de schepen die de matten leggen en de pijler plaatsen gebeurt met negen ankerlijnen. Om doorhang te voorkomen zijn die niet van staal maar van kevlar. ‘Zo’n ankerlijn heeft wel eens een mat beschadigd, maar die is ter plekke gerepareerd. We hebben daarvoor een duikerklok zonder bodem. Op een gegeven moment zijn 70 tot 80 duikers actief om de matten te controleren.’

De inspectie gaat zo ver dat er een speciaal voertuig, de Portunus, is ontwikkeld, dat met een camera over de matten rijdt. Vroege van Dosbouw: ‘Omdat het zicht in het Oosterscheldewater zeer beperkt is heeft het geen zin die camera een meter boven de mat te laten zweven. Daarom gebruiken we een blok plexiglas, met bovenin de camera. Dan is er wel helder zicht en kunnen we zien hoe de mat erbij ligt.’

Dat het leggen van de matten en het plaatsen van de pijlers uiteindelijk zo goed gaat, komt volgens Huis in 't Veld ‘doordat er heel veel checks zijn. Niets wordt aan het toeval overgelaten.’ Het betekent wel dat er aan boord van de werkschepen een enorme hoeveelheid aan gegevens binnenkomt, van ijkpunten, ankerkrachten, stroomsnelheid, matdoorgang, scheepsdeining en wat niet al. ‘We hebben aan boord speciaal iemand die de gegevens kan vertalen naar de scheepsbemanning.’ Achteraf gezien hadden al die controles volgens hem minder gekund, zeker wanneer het besluit valt de sponningen voor de schuiven ruimer te nemen en de geleidingen nastel-

*Het aanbrengen van de eerste schuif, augustus 1984.*



FOTO: PAUL VEEGER/ANP/PHOTO



*Een van de grijpers van Taklift 4, die de verkeerskokers op de pijlers plaatst.*

baar, zodat de positionering van de pijlers zelf minder kritisch is. ‘In het begin gaat het ontwerpen van de diverse onderdelen te gescheiden van elkaar, bijvoorbeeld van de bewegingswerken en het beton. Pas halverwege de rit wordt het ontwerp integraler aangepakt. Op de interfaces, waar verschillende disciplines elkaar ontmoeten, zitten altijd de risico’s en de mogelijke besparingen.’

## LESSEN

Om te voorkomen dat er na plaatsing van de pijlers – ze hebben aan de onderkant ribbels zodat het gevaarte zich in de mat kan zetten – zand tussen de mat en de pijler komt voordat de onderruimte met grout wordt gevuld, is aan de onderkant een soort rok van grindzakken bevestigd. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium: ‘Bij proeven blijkt dat door wervelingen vooral rond de hoeken van de pijler die grindzakken op en neer bewegen en niet goed afdichten. Dat verhelpen we door er visnetten met grote stenen op te leggen.’

Na het plaatsen van de pijlers volgt het storten van de drempel. Ir. Rob de Jong, coördinator van de Oosterscheldeprojecten van het Waterloopkundig Laboratorium in Delft: ‘Bij proeven blijkt dat er tussen de stroomgaten een zogeheten slingering ontstaat: in het ene stroomgat gaat het water omhoog, in het andere omlaag. Dat wil je niet, want dan ontstaat een raar golfpatroon. Dat treedt vooral op bij een stromingsbalk achter de dorpelbalk om in geval van een weigerende schuif de aangestorte drempel te ontzien. Op grond van die proeven is dat concept verlaten, waardoor het slingerings-effect zich niet merkbaar voordoet.’

Een apart traject vormt de werkplanning. Bij opkomend en afgaand tij, met grote stroomsnelheden, is nauwkeurig werken uitgesloten. Bovendien heeft het plaatsen van de pijlers of het aanbrengen van de drempel en de dorpelbalk invloed op het stromingsprofiel. Konter van het Waterloopkundig Laboratorium: ‘Je hebt te maken met duizend-en-een verschillende



geometrieën, het is onmogelijk die exact in kaart te brengen. Daarom hebben we elke bouwfase getest op de dominante parameters. In het begin is dat de stroomsnelheid, later het verschil in waterstand over het hele sluitstuk. De tabellen die we daarvan maken geven aanwijzingen voor de bouwvolgorde en het tijdsvenster rond dood tijd dat er gebouwd kan worden.'

De laatste ingrijpende ontwerpstep is die van de schuiven, die bij hoog water stormgolven en waterstandsverschil moeten weerstaan. Voor Kolkman en De Jong van het Waterloopkundig Laboratorium betekent het een intensief onderzoekstraject. 'De directie Bruggen van Rijkswaterstaat maakt het ontwerp van de schuiven. Voor hen is een schuif te vergelijken met een brug op zijn kant: een stalen plaat met horizontale liggers voor de versteviging. Met hydrodynamisch ontwerpen heeft dat weinig te maken: door de rechte vorm krijg je instabiliteiten.'

Ze doelen op de zogeheten golfklappen, die ontstaan wanneer een golf ingesloten raakt en zijn energie niet kwijt kan. 'Ingesloten lucht wordt dan samengeperst en als dat kan wijken, werkt het voor de constructie als een kleine bom. De krachten die vrijkomen zijn enorm.' Om zicht te krijgen op wat die doen met de stormvloedkering worden schaalmodellen gemaakt, 'maar voor het effect van dat klappen blijken die niet te kloppen. We hebben eindeloos gespeurd naar goede proefmodellen, die ook de dynamische effecten in beeld brengen, en dat is ons uiteindelijk ook gelukt.'

De bestudering van het verschijnsel heeft ingrijpende gevolgen voor het uiteindelijke ontwerp dat Waterloopkundig Laboratorium en directie Bruggen maken. 'De bovenbalk waar de schuif op aansluit moet aan de Oosterscheldekant. Anders creëer je over de hele lengte van de opening een horizontale insluiting.' Ook de horizontale liggers worden om die reden afgekeurd. 'We hebben nog proeven gedaan met gaten in de liggers, maar uiteindelijk wordt de constructie van de schuif zo duur, dat een versteviging met buisliggers, waarvan de con-

structie vanwege het laswerk ook duur is, weer in beeld komt. Het voordeel daarvan is dat er nauwelijks insluitingen zijn, en om die reden zijn die buisliggers ook gebruikt.' De schuiven zijn bijna 42 m lang, variëren in hoogte van 5,9 tot 11,9 m en hebben een gewicht van 300 tot 500 ton.

Welke lessen trekken de geïnterviewden uit het Oosterscheldeproject? Rob de Leeuw, hoofd research op het bedrijfsbureau van de bouwcombinatie DOS: 'De waterbouw maakt enorme sprongen voorwaarts, het project geeft een enorme boost. Heel veel jonge mensen krijgen moderne ideeën.' Als voorbeeld noemt hij het denken in kansen, de probabilistische methode die Vrijling in de waterbouw introduceerde. 'Dat is een enorme innovatie, die in het uiteindelijke ontwerp sterk heeft doorgewerkt. Al die jonge mensen komen terecht bij ingenieursbureaus, baggerbedrijven of in de onderzoeksweld en hebben daar hun sporen verdiend.'

Frank Spaargaren, hoofd Oosterscheldewerken van de Deltadienst, signaleert echter dat vooral de baggersector heeft geprofiteerd. 'Natuurlijk, ingenieursbureaus hebben overal op de wereld opdrachten, maar dat is werk voor hooguit duizend man. Alleen de baggeraars maken echt een miljardenomzet, omdat ze gespecialiseerde en unieke schepen hebben. Zij hebben zeker ook geprofiteerd van de kennis die is opgedaan met de integratie van meet- en inspectiesystemen.'

Na het voltooien van het Oosterscheldewerken signaleert hij stagnatie in de innovatie in de waterbouw. 'Wij moesten alles nieuw tekenen en beproeven, liefst op schaal 1:1. Dat kost heel veel geld, maar

kan omdat het is gekoppeld aan een groot werk. Waterbouw kan niet zonder uitvoering, zonder dat komt de innovatie er niet. Bij gebrek aan grote baanbrekende projecten

stagneert de vernieuwing.' Rijkswaterstaat is volgens hem ook niet meer in staat grote innovatieprojecten vlot te trekken. 'Als er een grote zeespiegelstijging komt zullen we moeten pionieren. De financiële risico's van dat soort werk zijn niet te kwantificeren, dat kon ik ook niet bij aanvang van de stormvloedkering. Die risico's kun je onmogelijk bedrijven laten nemen, dat zal het Rijk zelf moeten doen. Maar je moet ze wel kunnen inschatten, en daarvoor is inhoudelijke kennis en ervaring onmisbaar. Procesmanagers zonder deze kennis en ervaring kunnen dat niet. Wenst het Rijk die risico's niet te accepteren, dan zullen bedrijven kiezen voor bestaande en bewezen techniek. Het afstoten van de inhoudelijke kennis en ervaring door Rijkswaterstaat doet innovatie in de waterbouw de das om.'

Jan Konter, liaison bij de Deltadienst voor het Waterloopkundig Laboratorium, is ook vrij somber over de toekomst van megaprojecten. 'Zo'n werk als de Oosterschelde kan nu niet meer. Indertijd was het onderzoek gericht op het vinden van oplossingen en in het vertrouwen dat detailproblemen oplosbaar zijn. Nu is er een veel te sterke focus op mogelijk onbekende risico's, zonder de vraag te stellen of datgene wat je niet weet relevant is voor het eindresultaat. Het huidige risicodenen focust op extremen met een kleine kans dat ze ook werkelijk zullen voorkomen, dat zie je in de hele maatschappij. "Het grootste risico is een gemiste kans" is een uitspraak waar men nu te veel de ogen voor sluit.' ●

*'Dankzij het Oosterscheldeproject maakt de waterbouw enorme sprongen voorwaarts. Heel veel jonge mensen krijgen moderne ideeën'*