

Driemaandelijks Bericht
nummer 62, november 1972

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 12,- per jaar
of f 3,25 per nummer

Register

Driemaandelijks Bericht Deltawerken Nr. 51 t/m 60

A

aannemers 108, 165, 380
aanpassingswerken 346
achterwaartse verzilting 353
afdichting 140, 161, 370, 377, 411
aggr 472
Alexanderpolder 47
Arneplaat 156
asfaltbeton 98
asfaltmastiek 81, 149, 418
asfaltpenetratie 154
asfaltchip 418

B

beetle-caisson 395
Berenplaat 299
betonblok 106, 134, 164, 198, 213, 252, 268,
318, 370, 409, 451, 503
beweegbare stormvloedkering 46, 177
bies 334
Biesbos 297, 334
Bocht van de Esch 51
bodembescherming 413
Bokkegat 204
Botlek 177
Brielse Maas 177
Brouwersdam 496
Brouwershavense Gat 53, 76, 106, 163, 213,
227, 233, 241, 249, 254, 268, 274, 312, 317,
369, 375, 424, 438, 469, 491, 543
- ontgrondingen 425
Brunings, Chr. 174
bultendijkse gronden 447

C

caissonsluiting 79, 99, 214, 316, 364, 375,
390, 395, 399, 419, 469
- combinatie met - 228, 233
- tijdschema 254
caissontransport 240, 258
Commissie ex art. 8 334
Commissie Inrichting Deltawerken 298
compartimentering 296
computer 233, 421

D

Dammenweg 90, 105, 159, 162, 267, 317
defosfatering 310
Delfland, Hoogheemraadschap 85
Delfzijl-Fiemel, zeedijk 107
Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onder-
zoek 294, 363, 445, 476
Deltameren 156, 446, 459, 476
Deltar 34, 119, 177, 233, 359, 469, 499
Deltaschadewet 331
Deltazegel 495
detailmodel 500
Dirksland 162, 212, 267
doorlaatcaisson 54, 148, 214, 254, 270, 364,
396, 403, 520
drempelconstructie 79, 150
driftstroom 477
Drinkwaterleiding Rotterdam 297, 445
duinbemesting 283
duinvegetatie 283
duinverzwaring 267, 317
dijkverzwaring 46, 55, 487

E

ecologie 289, 294
Eendracht 334
eenheidscalson 214, 270

elektrische-weerstandsmeting 19
erosie 316, 358
Europoort 72, 82
eutrofiëring 308, 446
evenwichtsverlies 428, 432

F

filterconstructie 312, 416
flora en fauna 480
Friese zeegat 541

G

Gat van de Hawk 204
geleidelijke sluiting 134, 369, 375, 390, 405
- combinatie met - 228, 233
gemeenschapsschade 332
getijberekening 208, 233, 469, 498
Goeree-Overflakkee 90, 267, 372
golfaanval 503
golfhoogtespectrum 96
golfmeetpaal 421
golfonderzoek 96, 182, 419
golfoverslag 96
Grevelingendam, oeververdediging 271, 320, 379
Grevelingenmeer 371, 476
griend 334
Gijster, de 299

H

Hammen 448
Haringvliet 52, 67, 90, 104, 161, 212, 267, 317, 357, 361, 374, 491, 542
Haringvlietdam 145, 443
Haringvlietstuinen
- bouwput 52, 104, 194
- constructie 182
- functie 115
- instrumentatie 116, 358
- lozingsprogramma 115, 346, 358
- ontgrondingen bij 517
- stortbedden 52, 87
- trillingsmetingen 359
Haringvlietstuinen, gevolgen 67, 512, 521
Helderse Zeewering 271
helikopter 451
Hinderplaat 203
Hoek van Holland 191
Hollands Diep 357
Hompelgeul 163, 469
Honderd en Dertig 299
Hoofdplaatpolder 487
horizontaal getij, verband met verticaal getij 25

I

Inspectie voor de Volksgezondheid 445
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid 361, 445,

480

Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O.
445

K

Kabbelaarsbank, damvak op de 76, 106, 163, 213, 269, 320,
kabelbaan 2, 59, 163, 213, 312, 318, 406, 450
- bovenbouw 241
- capaciteit 249, 370
- draagtorens 408
- fundering 2
Keeten 29
keileem 391
Kema n.v. 445
kenteringstijdstip 233, 469
kiezelwier 294
Kil 75, 202, 345, 512
klimatologie 277, 447
koelwater 446
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut 445
komberging 30
Kous, sluitgat 76, 163, 214, 227, 233, 254, 269, 316, 320, 364, 375, 419
Krabbe 120, 428
Krabbenkreek 30
Krammer 19
Kreekrak 172
kustontwikkeling 82, 203, 356

L

landbouw 277
Lauwersoog 271, 534
Lauwerszee 55, 99, 164, 215, 271, 280
- meetprogramma sluiting 99
lokaal stabiliteitsverlies 315
luchtbellenscherm 355
luchttemperatuur 278

M

maaiaveldsluiting 403
Maasboulevard 48
Maaskanalisatie 70
Margarethapolder 264
Mastgat 19
meetdienst 99, 120
Merwede 174, 512
meteorologie 226
milieu-onderzoek 219, 361, 444, 476
modelonderzoek 33, 95, 177, 188, 227, 261, 316, 420, 469, 498
morfologie 82, 447
Mosselpaalt 156
mosselproofstation 't Horntje 43
mosselteelt 37, 333
motorgondel 2, 409
mijnsteen 194

N

nablaaligger 190
natuurbescherming 459
Neeltje Jans, werkeiland 33, 107, 164, 215,
270, 320, 379, 439, 451, 492
Nieuwe Maas 512, 521
Nieuwe Merwede 346
Nieuwe Waterweg 174, 521
Noord 512
Noord-Beveland, oeververdediging 54
Noord-Pampus 164
noordelijk bekken
– aanpassing 199, 346
– beveiliging 172
– slibhuishouding 357
– waterbeheersing 115, 341
– zoutbeweging 351
Noordland, werkeiland 260, 320, 379, 439, 492

O

oesterculture 39, 42, 334
oeverland 219
onderwaterbeton 10
onderwaterdelta 32
ontgronding 79, 181, 186, 228, 425, 517
ontziltling 296
Oosterschelde 33, 41, 54, 106, 164, 215, 260,
295, 320, 379, 387, 439, 448, 451, 492
optische beseining 18, 139, 250
Oude Maas 175, 202, 345, 512, 521
overzichtsmodel 500

P

Parksluizen 48
peiling 428
peilverlaging 371
Petrusplaat 299
Pettamer Zeewering 93
Phoenix-cailsson 214, 259, 270, 395
plaatsbepaling 240, 451
Plaat van Oude Tonge 271
portaalkraan 213, 252, 268, 317
puttenfundering 4

R

Rak van Scheelhoek 2, 52, 374
– kabelbaan over 59, 198
– sluitingsbedrijf 15, 52, 104, 120, 134, 140,
161, 212, 267, 317
recreatie 349, 405, 459
riet 334
rivieraanpassing 199, 345
Roggenplaat, werkeiland 54, 107, 164
Roompot 448
Rotterdam 48, 297
Ruigepaatsluis 49

Ruiterplaat 158
Rijksinstituut voor Natuurbeheer 445
Rijksinstituut voor Visserij-onderzoek 535
Rijksinstituut voor de Volksgezondheid 363,
445
Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater
225, 363, 445, 476
Rijks Planologische Commissie 459
Rijnafvoer, kritieke 67, 527
Rijnkanalisatie 68

S

Schaar van Onrust 448
Schaar van Roggenplaat 33
scheepsbouw 332
Scheepsbouwkundig Proefstation 420
scheepssloperij 332
scheepvaart 277, 344, 483
Schiedam 51
Schieland, Hoogheemraadschap 46
Schielands Hoge Zeedijk 46
schone kust 82
Schotsman 156
Schutteplaat 156
sedimentologisch onderzoek 505
segmentschuif 187
sleepboot 405
Sloe 172
sluitingsmethodiek 134, 180, 228, 233, 364,
375, 390, 399, 448, 451, 469
Slijkpat 205
spaarbekken 297
spaarbekkeneffect 362
spoelsluis 48
Springersdiep, dam door het 53, 106, 163
Spui 75, 202, 346, 512
steenkorf 77
steigermethode 390
strand 221
stratificatie 303
stroomsnelheidsmeting 25, 100, 122
studiedienst 398
stuwprogramma 68, 527

T

taludbewaking 315, 424
terugschrijdende erosie 316, 434
Texel 55, 164, 379, 492
tracékeuze 181
trilverdichting 7
tijverschil 72

V

vastlegging van een rivierbodem 201
Veerse Meer 156, 279
verkeer 90, 105, 267, 371, 485, 497
verwaterplaats 41
verzilting 353, 521

Viereilandenplan 177
 visserij 332, 534
 voedingsstof, kritische 310
 Volkerak 53, 105, 162, 212, 268, 317, 473, 491, 543
 - derde schutsluis 483
 - jachtensluis 268, 317, 375, 485
 - overbrugging 484
 - scheepvaart 483
 - spuisluis 268, 317, 375, 485
 Volkeraksluizen, zoutbezwaar 24, 486
 Volkeraksluiting, gevolgen 19, 25, 173, 351
 Voorne-Putten 90, 289
 Vorderingen 52, 104, 161, 212, 267, 317, 374, 438, 491, 542
 Vijfeilandenplan 177

W

Waddenzee 40
 Walcheren, dijkherstel 394
 waterbeheersing 115, 341, 532
 waterkwaliteit 225, 296, 307, 362, 446, 476
 waterloopkundige begeleiding van een afsluiting 233, 469
 waterspanningsmeter 4
 watersport 349, 467, 485
 watertemperatuur 277
 waterwinning 297
 Weever's Duin, biologisch station 289, 445
 wervelstraat 186
 Westerschelde, dijken langs 55, 487
 windeffect 68, 477
 windsnelheidsmeting 477
 woelbak 190
 wrijvingscoëfficiënt 87, 154

IJ

IJmuiden 191
 ijsbezwaar 201, 277
 IJssel, Gelderse 67, 527

Z

zandbalans 512
 zandbedrijf 161
 zandsluiting 141, 198
 zandtransport 82, 206, 357, 512
 zandwinning 36
 Zeeuwse Meer 486
 zetting 312
 zettings- en wrijvingsproeven 148
 zettingsverschil 436
 zettingsvloeiing 4, 313, 405
 zichtmeter 282
 zinkmanoeuvre 416
 zinkproef 367
 zinkstuk 87, 195
 - klassiek 77, 413
 - semi-klassiek 415

zoolstuk 77, 416
 zoutgehalte 19
 zoutriool 116
 zout-zoetproblematiek 295, 297
 Zuiderklip 299
 Zuidplaspolder 47
 zware metalen 361
 Zijpe 19, 25

A. De werken van het Deltaplan

De ontwikkeling van het waterloopkundig
onderzoek in verband met de afsluiting van
de Oosterschelde 59

De oevers van de Deltameren 71

Golfbeweging op de Deltameren 84

Maatregelen ter bestrijding van het zout-
bezwaar van de Volkeraksluizen 90

De sluiting van getijgeulen met zand 98

Vorderingen 106

De ontwikkeling van het waterloopkundig onderzoek in verband met de afsluiting van de Oosterschelde

Nu het op één na grootste zeegat in het Deltagebied, het Brouwershavense Gat, is afgesloten, resteert alleen nog de afsluiting van de Oosterschelde, niet alleen de laatste, maar ook verreweg de grootste van de in het Deltaplan voorziene afsluitingen. De omvang van dit werk komt duidelijk naar voren wanneer men een vergelijking trekt met andere zeegaten aande hand van het totale volume water dat per getij door het damtracé in- en uitstroomt. Waar nu de Afsluitdijk ligt, die de voormalige Zuiderzee tot IJsselmeer maakte, stroomde vóór de afsluiting gemiddeld ongeveer 1 miljard m^3 water per getij heen en weer. Door het tracé van de Brouwersdam trok voorheen een getijvolume van 0,7 miljard m^3 . Door het tracé van de ontworpen Oosterscheldedam stroomt per getij echter in totaal niet minder dan 2,2 miljard m^3 water, dus drie maal zoveel als door het Brouwershavense Gat en twee maal zoveel als door het tracé van de Afsluitdijk.

De aanleg van de laatste primaire Deltadam betekent dan ook een zware opgave, en het is niet verwonderlijk dat de Deltadienst al jaren lang in nauwe samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium studies verricht aangaande de waterbeweging in het mondingsgebied van de Oosterschelde. Om deze waterloopkundige studies een goede basis te kunnen geven zijn in de eerste plaats metingen in de natuur noodzakelijk betreffende stroomsnelheid, verticaal getij, golfgedrag, zandverplaatsing en dergelijke meer, alles onder wisselende omstandigheden. Wanneer deze gegevens op betrouwbare wijze zijn ingevoerd, wordt van het model verwacht dat het een zo volledig mogelijk inzicht zal verschaffen in de verandering die de reali-

sering der werken zal oproepen in de natuur, met name in de beweging van het water en in de bodemfiguratie.

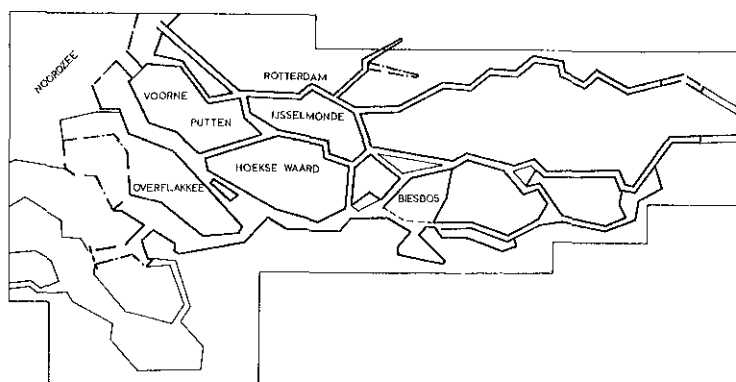
Om dienaangaande een verantwoorde verwachting te kunnen opstellen kan men steunen op twee soorten hulpmiddelen. Allereerst kan men gebruik maken van hydraulische modellen. Daarnaast is er een mathematisch één-dimensionaal overzichtsmodel. Het elektrisch analogon 'Deltar', dat in deze Berichten al meermalen is genoemd, kan voor het Oosterschelde-onderzoek niet worden ingezet, omdat daaraan een operationele taak is toebedeeld ten dienste van de Waterbeheersing in het noordelijk Deltabekken. De eerste voorwaarde die gesteld wordt, zowel aan hydraulische als aan mathematische modellen, is dat ze de in de natuur optredende getijverschijnselen met voldoende nauwkeurigheid simuleren. Bij beide methodieken zijn derhalve uitvoerige ijkingen noodzakelijk.

Geschiedenis

Het initiatief tot de bouw van het eerste grote overzichtsmodel van het benedenrivierengebied is in 1946 genomen door de Stormvloedcommissie. Toen reeds naar voren gebrachte plannen tot kustlijnverkorting door damverbanden tussen verschillende eilanden – het twee-, het vier-, en het vijfellandenplan met varianten – maakten het noodzakelijk dat een groot aantal verschillende hydraulische situaties werd geprognosticeerd. Modelonderzoek bleek toentertijd bepaalde voordelen te hebben boven getijberekeningen, en men besloot, een model te bouwen dat de getijbeweging en de rivierafvoer zou simuleren. Als gevolg van de betrekkelijk eenvoudige eisen kon het model sterk worden samengetrokken.

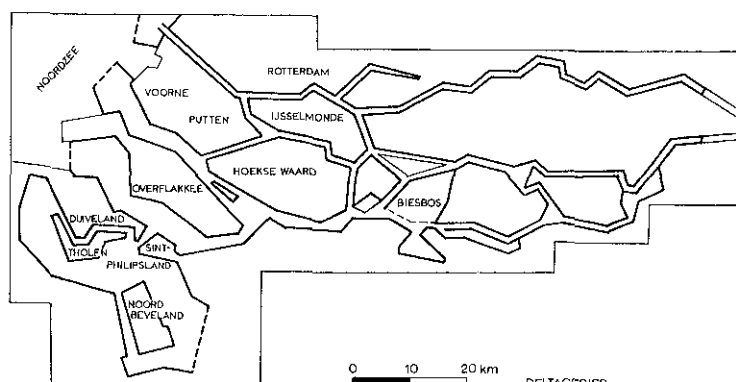
M 284

AUG 1948 EN MEI 1949



M 284

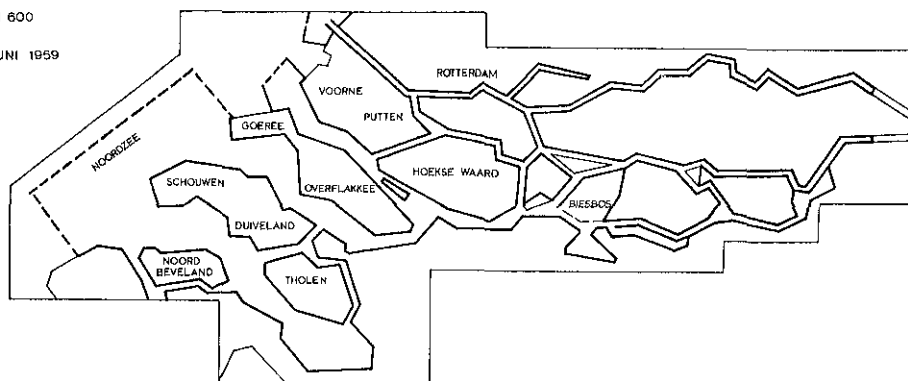
SEPTEMBER 1953



0 10 20 km DELTAGEBIED
0 5 10 m MODEL / LOODS

M 600

JUNI 1959



De bovenstroomse grens van het model werd daar gelegd waar de invloed van de zee op het regiem van de rivier niet meer merkbaar was; in de Waal ligt dat punt tussen Tiel en Dodewaard en in de Rijn ongeveer bij Amerongen; in de Maas wordt de grens gevormd door de stuw te Lith. Aan de zeezijde moest de grens zover buiten de kust liggen dat hydraulische veranderingen binnen het modelgebied geen invloed meer zouden hebben ter plaatse van de modelgrens. Dat betekende dat de Maasvlakte en het bankengebied van het Goereese Gat in het model moesten worden opgenomen. Zuidoostwaarts is men aanvankelijk niet verder gegaan dan de lijn *Herkingen-Stelhoek en het Zijpe, aangezien* de destijds overwogen afdammingen alle betrekking hadden op het gebied benoorden het Hollands Diep en het Haringvliet. Medio mei 1948 kwam dit model – M 284 – in bedrijf. Niet lang daarna echter rees de vraag wat de invloed zou zijn van de aanleg van een afsluitdam door het Hollands Diep of het Volkerak. Om dit te kunnen nagaan moest de grens van het model zuidwestelijk worden verschoven tot voorbij Brouwershaven en tot aan Stavenisse. Toen in 1952 voor het eerst plannen werden geopperd om afsluitdampen te leggen in het zuidelijk deel van het Delta-gebied, moest het model opnieuw worden uitgebreid. In verband met de beperkte ruimte in het laboratoriumcomplex moest daarbij genoeg worden genomen met een modeltechnisch niet geheel juiste oplossing. Het Brouwershavense Gat werd in het model niet verder uitgebreid; de Oosterschelde werd van Bergen op Zoom tot Westerschouwen-Vlietepolder weliswaar in het model gereproduceerd, maar op een sterk verwrongen

manier. Het gebied ten zuiden van Bruinisse, bestaande uit Zijpe, Mastgat, Keeten en Oosterschelde, werd gespiegeld weergegeven. De algemene invloed van de afsluiting van de beide zuidelijke zeegaten kon op die manier toch hnoeg redelijk goed tot uitdrukking worden gebracht. De vervallen bij en de stromen door de sluitgaten werden voldoende nauwkeurig weergegeven om de onderzoekers in staat te stellen tot een globale oordeelsvorming ten aanzien van de te volgen sluitingsmethodiek. De verbouwing was gereed in september 1953. Men kon meteen beginnen met onderzoek ten behoeve van de eventuele afdamming van het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde, waarvan de wenselijkheid door de *inmiddels opgetreden stormvloedramp* van februari 1953 sterk naar voren was gekomen. De resultaten van de metingen in het beschreven model zijn de basis geweest van het derde interim-rapport van de Deltacommissie. Inmiddels werden de eisen die aan het model werden gesteld, steeds zwaarder, vooral voor wat betreft de zuidelijke zeegaten. De veranderingen die zouden optreden als gevolg van de aanleg van dammen door het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde konden aan de hand van het bestaande model niet meer volledig genoeg worden bestudeerd. Bij de eerstvolgende verbouwing, waarbij het gebied ten zuiden van Bruinisse weer geografisch juist werd weergegeven, kwam de westelijke modelgrens nu te liggen in volle zee, daar waar de invloed van alle Delta-werken gezamenlijk onbespeurbaar was geworden. De modelgrens week inmiddels zo sterk af van de oorspronkelijke, dat men het model vanaf die laatste verbouwing in 1959 aanduidt met een nieuw nummer: M 600. In 1963 heeft de Rijkswaterstaat aan het Waterloopkundig Laboratorium opgedragen de mogelijkheden te bestuderen van een modelonderzoek dat meer speciaal betrekking zou hebben op de problematiek rond de afsluiting van de Oosterschelde. De voornaamste vraagstukken die daarbij aan de orde kwamen, betroffen de bepaling van het tracé van de afsluitingen, de uitvoering van de daarbij te vormen sluitgaten, de opbouw van damgedeelten over de zandplaten in het tracé, de vormgeving der wintersluitgaten, die van de sluitgaten in de opbouwfasen en de uitgestrektheid van de bodembescherming aan weerszijden van de sluitgaten. De uitkomsten van het vooronderzoek leidden in maart 1964 tot de opdracht voor de bouw van het Oosterschelde-getijmodel M 822, dat in de loop van 1964 en 1965 werd gebouwd in het Waterloopkundig Laboratorium 'De Voorst'

in de Noordoostpolder. Voor de schalen van het model zie tabel I.

In 1966 werd het model bedrijfsklaar gemaakt en geijkt. Het eigenlijke modelonderzoek kwam pas op gang in 1967. Allereerst werden drie mogelijke tracés van afsluiting onderling vergeleken. Vervolgens werden onderzoeken ingesteld naar de vormgeving van de damkoppelen en naar de opbouwfasen van de damvakken op de platen.

Het beperkte model M 822 zou zijn randvoorwaarden ontleenen aan het overzichtsmodel van de benedenrivieren M 600, waarvan de getij-apparatuur en de meet-apparatuur na vernieuwing voldoende nauwkeurig zouden functioneren, om die basisgegevens te verschaffen. Men ging daarbij als volgt te werk. Na ijkning van beide modellen op de uitgangstoestand werd elke te onderzoeken situatie eerst in M 600 gestroomd; daarbij kwam een volledige registratie tot stand van zowel het verticale getij als de debieten. Aan de hand van de daaruit verkregen gegevens werd model M 822 ingesteld, dat dus bij elke nieuwe situatie opnieuw moest worden geijkt aan de hand van gegevens uit M 600. Pas daarna kon het eigenlijke onderzoek in M 822 beginnen. Met deze werkwijze werd gedurende enige jaren ervaring opgedaan. Het kwam daarbij vast te staan dat de nauwkeurigheid van het onderzoek door het werken met twee modellen nadelig wordt beïnvloed. Beide vertonen ze enige onnauwkeurigheden, maar er komt een derde onnauwkeurigheid bij wanneer de randvoorwaarden van het ene model moeten worden overgedragen naar het andere. Ten aanzien van het model M 600 kan worden opgemerkt dat de instelling van het verticale

getij voor de uitgangssituatie over het algemeen goed was te noemen. Dit houdt in dat ook de totale kombergingsstroom voldoende nauwkeurig werd weergegeven. De verdeling van het debiet over de verschillende geulen was echter minder nauwkeurig, speciaal wanneer een toestand werd gesimuleerd waarbij de sluitgaten min of meer vernauwd waren; de afvoercoëfficiënten van de sluitgaten in M 600 weken tengevolge van de grote samen-trekking sterk af van die in model M 822, maar ook van die van in de natuur.

Bij de overdracht van de randvoorwaarden van M 600 naar M 822 deed zich bijvoorbeeld de moeilijkheid voor, dat de in M 600 gemeten waterstanden ter plaatse van de rand van M 822 niet rechtstreeks naar dat model konden worden overgebracht; de oorzaak daarvan lag in de randconstructies van M 822. De grootte van de daarmee geïntroduceerde onnauwkeurigheid was moeilijk te bepalen. Het bleek evenwel dat geringe wijzigingen in de randvoorwaarden reeds een niet te verwaarlozen verandering in de stroomsnelheden tot gevolg hadden.

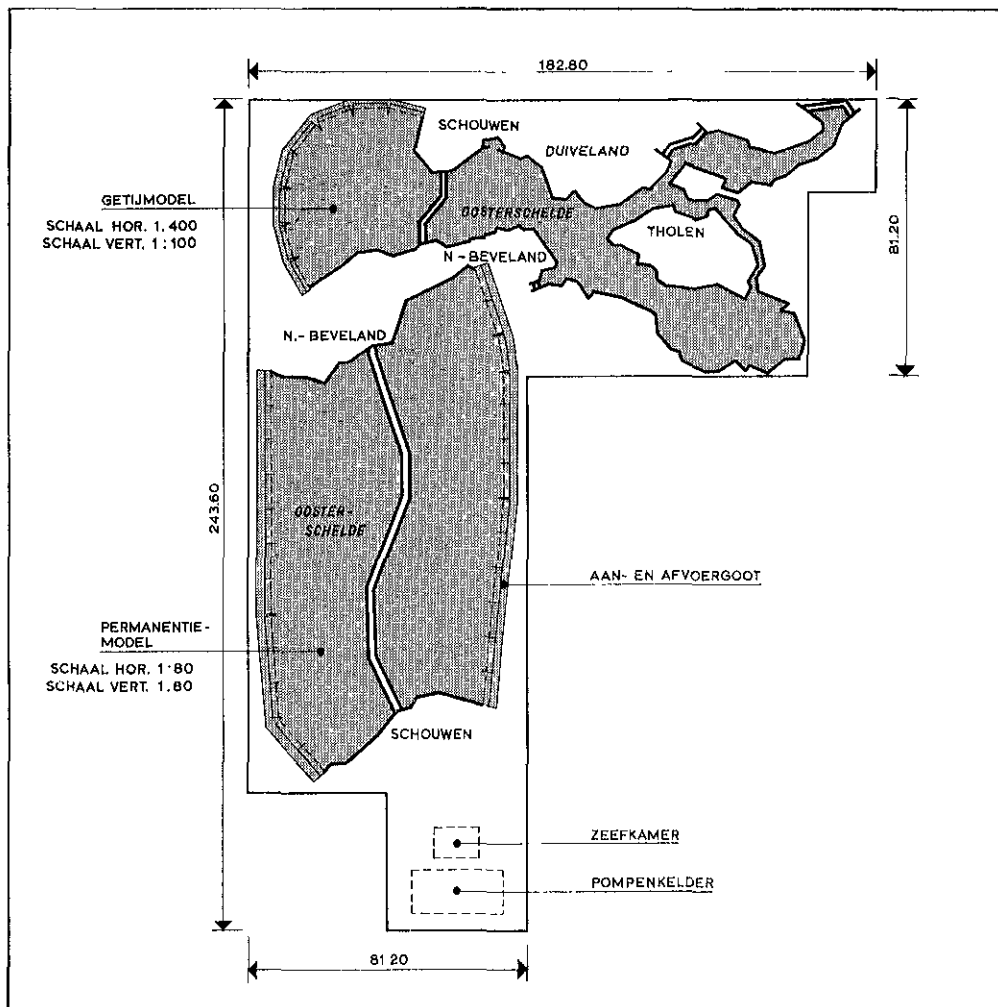
De onnauwkeurigheid van M 822 werd, afgezien van hetgeen hiervoor al werd gezegd over de randvoorwaarden, sterk beïnvloed door de landinwaartse rand van het model, die voor het weergeven van de dwarsverhangen ter plaatse te sterk bleek te zijn geschematiseerd.

Deze onnauwkeurigheid was des te groter, naarmate het in te stellen getij sterker afweek van het oorspronkelijke.

Het kwam er op neer, dat onderzoek van situaties met vernauwde sluitgaten vrijwel niet mogelijk was.

Tabel – de modelschaal van de besproken modellen

Schalen		M 284/600	M 822	M 1000	M 1001
Lengte en breedte	n_l	2400	300	400	800
Hoogte	n_h	64	100	100	800
Snelheid	n_v	8	10	10	± 9
Tijd	n_t	300	30	40	± 9
Afvoer	n_Q	1 288.800	300.000	400 000	± 57.000
Weerstand	n_e	6,1	1.74	2	1
Samentrekking	n_g	37,5	3	4	1



Schets van de opstelling van
M 1000 en M 1001 in de Ooster-
scheldehal

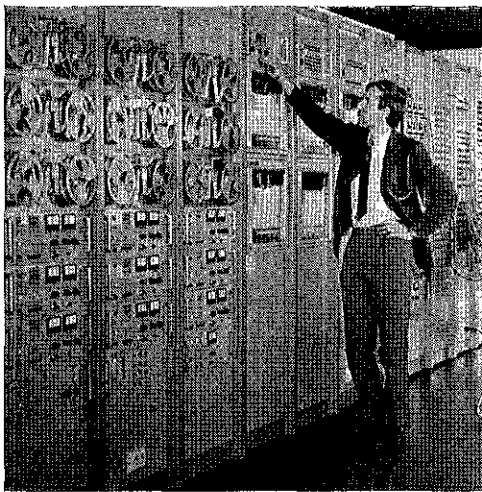
M 1000 en M 1001

Het tracé-onderzoek ten behoeve van de Oosterschelde-afsluiting, alsmede het onderzoek naar de eerste bouwfasen, te weten de drie werkeilanden en de damgedeelten over de platen, was met goed gevolg in M 822 onderzocht; het onderzoek van de afsluiting zelf bleek echter hogere eisen te stellen dan waaraan M 822 kon voldoen. Inmiddels was al gedurende enige tijd ervaring opgedaan met het getijmodel van het Brouwershavense Gat M 886, waarin het gehele kombergingsgebied van het toekomstige Grevelingenmeer was weergegeven. Gezien de noodzaak van aanpassing van M 822 en de goede ervaringen met M 886 is in 1968 na zorgvuldige afweging van zowel de modeltechnische als de financiële factoren besloten tot de bouw van een

geheel nieuw getijmodel van het gehele kombergingsgebied vande Oosterschelde en het Volkerak. Dit werd model M 1000. Met het oog op detailonderzoek aan de sluitgaten en het ontgrondingsonderzoek werd tevens een detailmodel gebouwd van de sluitgaten in het damtracé. Dit detailmodel, waarin géén getij wordt opgewekt, kreeg nummer M 1001. Om meteorologische effecten, zoals die van regen en vorst, uit te sluiten en aldus de werkbaarheid te verhogen, werden beide modellen ondergebracht in een grote hal met een vloeroppervlak van 25 000 m². De schalen van het overzichtsmodel zijn grotendeels bepaald door hydraulische overwegingen; er werd daarbij voortgebouwd op ervaringen die men had opgedaan bij de getijmodellen M 886 - Brouwershavense Gat - en M 822. De schaalkeuze voor het detailmodel is voor-

namelijk ingegeven door de eis dat op voldoende kleine schaal betrouwbaar ontgrondingsonderzoek moest kunnen worden gedaan. Het gebruik van polystyreenkorrels als ontgrondingsmateriaal maakte een aanvaardbaar compromis mogelijk tussen de beperking van de ruimte enerzijds en de meettechnische eisen en de reproduceerbaarheid van stroombeelden en snelheidsverdelingen anderzijds. In het *overzichtsmodel* wordt in de eerste plaats onderzoek verricht naar de invloed die de afsluiting van de Oosterscheldemonnd in de achtereenvolgende bouwstadia van de dam zal hebben op de voortplanting van het getij in het erachter gelegen bekken, en op de stromingstoestand in de sluitgaten. Dit model is voorzien van een vaste, betonnen bodem, waarop de voor de reproductie van de getijbeweging noodzakelijk bodemruwheid





Apparatuur voor de automatische registratie van metingen in het model

Deel van het overzichtsmodel M 1000 in de Oosterscheldehal

is aangebracht met behulp van betonkubusjes in de diepe geulen, en grindkorrels in de ondiepe delen. Zowel aan de zeezijde als aan de zijde van het Volkerak is het model voorzien van beweegbare kleppen, die de wateraanvoer regelen. Aan de zijde van het Volkerak was een regelrand noodzakelijk om de ijking juist te kunnen uitvoeren; daarvoor gebruikte men namelijk een meting van vóór de afsluiting van het Volkerak. Bij het onderzoek blijft deze regelrand verder buiten gebruik. De zeerland bestaat uit acht compartimenten van elk tien meter lang. De plaats van deze rand is mede bepaald op grond van een tweedimensionale getijberekening waarbij een aantal verschillende sluitingspercentages van de sluitgaten werd verondersteld. Bij een sluitingspercentage van 70% blijkt de waterstandsverandering bij H.W. aan de modelrand nog maar een paar cm te bedragen. Bij lagere percentages is de verandering uiteraard geringer. Vanwege de geringe invloed die de afsluiting heeft op het getij, wordt gedurende de gehele gesimuleerde sluiting steeds hetzelfde, in de natuur gemeten getij gereproduceerd. Dit ene getij wordt steeds aange-

houden, in het belang van zowel de snelheid van het onderzoek als de vergelijkbaarheid van de resultaten. Alleen wanneer men wil weten welke gevolgen een bepaalde verandering heeft onder verschillende getijomstandigheden, gaat men over tot het instellen van een ander getij aan de modelrand. Bij het ontwerp van het model is rekening gehouden met een grote verscheidenheid van getijomstandigheden, en het watertransportstelsel rondom het model is dan ook volledig in staat extreme getijomstandigheden te simuleren.

Ter wille van een snelle verwerking van de gegevens – die vooral van belang is wanneer het gaat om wijzigingen in de stromingsomstandigheden of de snelheden –, is voor het getijmodel een meet- en registratiesysteem ontworpen waarmee het mogelijk is tot 96 gegevens uit een situatie tegelijkertijd centraal te registreren en de resultaten al of niet na tussenkomst van een computer te doen afdrucken. Zo kan men op zeer korte termijn en met een minimum aan personeel beschikken over de gemiddelde snelheid in een verticaal, de gemiddelde stroominrichting in een vlak, de veranderingen in de waterstand gedurende een bepaalde periode, en de debieten voor een raai. Deze gegevens kunnen worden aangevuld met foto's van het stroombeeld, waartoe in de spanten van de hal zes camera's op rails zijn opgehangen.

Het detailmodel is in eerste instantie uitgevoerd als permanentiemodel, dat wil zeggen dat er geen getij in verloopt. Het zou echter kunnen dat de faseverschillen en de stroming door de verschillende sluitgaten van grote invloed blijken te zijn op het ontgrondsbeeld aan weerszijden van de sluitgaten. Dan kan ook in dit model een getij worden geïntroduceerd, zij het dat deze omschakeling problemen met zich zou brengen van regeltechnische aard, voornamelijk omdat de randen van het model in de natuur maar 6 km van elkaar liggen. In ieder geval is het detailmodel met het oog op eventuele introductie van het getij ondergebracht in dezelfde hal als het getij-overzichtsmodel, en maakt het gebruik van hetzelfde watercirculatiesysteem. Het detailmodel zal voornamelijk gebruikt worden voor de kwantitatieve bepaling van de te verwachten bodemaantasting aan weerszijden van de sluitgaten in de verschillende bouwfasen van de dam. In het model zijn daartoe aan beide zijden van de sluitgaten bakken met polystyreenkorrels in de betonvloer opgenomen. Deze bakken beslaan de volle breedte van de sluitgaten, ze zijn 6,85 m lang en maximaal 30 cm diep. Wat

Een van de belangrijkste aspecten van de kwantitatieve bepaling van de bodemaantasting is de ontwikkeling van de bodemligging in de tijd. Er is dus een registratie-apparaat bij nodig dat in staat is met grote snelheid en nauwkeurigheid de vormveranderingen van het polystyreenbed te volgen. Omdat pollen met de hand moeilijk gaat, en ook verstoringen kan teweegbrengen, is er een elektronisch instrument ontworpen dat terwijl het met een snelheid van 10 tot 30 cm/sec. over de meetbrug glijdt, een nauwkeurig profiel registreert van de bodem in zijn baan. Door de meetbrug te verhalen kan men in korte tijd een aantal raaien naast elkaar loodrecht op het tracé in het sluitgat meten. Aangezien op deze manier van elke raai het profiel wordt afgetast, heeft het instrument de naam 'profiel-volger' gekregen, of kortweg 'provo'.

Het gebied dat in het overzichtsmodel M 1000 wordt weergegeven omvat het gehele Oosterscheldebekken en daarnaast nog het Keeten, het Mastgat, het Zijpe, de Krammer en het Volkerak. De westelijke grens loopt van Domburg op Walcheren over de Domburger Rassen langs de westrand van de Banjaard en verder over de Bollen van het Nieuwe Zand naar de Oude Hoeve, ongeveer 3 km benoorden de lichttoren van Haamstede op Schouwen-Duiveland. Aan de oostzijde wordt het weergegeven gebied begrensd door een lijn loodrecht op het midden van het Hellegat, ter hoogte van Willemstad.

A map of the Dutch coast from Westenschouwen to Hellegatdam. The map shows the coastline with various locations marked by dots and labeled. Distances between some locations are indicated. A compass rose is in the top left, and a scale bar (0 to 10 km) is at the bottom.

Locations and distances marked on the map:

- Westenschouwen to Osche Liphoek: 10.5 km
- Osche Liphoek to Zie Rikze: 10.5 km
- Zie Rikze to IJek v. St. Jacob: 10.5 km
- IJek v. St. Jacob to Hellegatdam: 10.5 km
- Hellegatdam to Dintel Sas: 10.5 km
- Dintel Sas to Steenderge: 10.5 km
- Steenderge to St. Philipsland: 10.5 km
- St. Philipsland to Gorishek: 10.5 km
- Gorishek to Razerijpolder: 10.5 km
- Razerijpolder to IJl Schaap Waarnemingen: 10.5 km
- IJl Schaap Waarnemingen to Looisgat: 10.5 km
- Looisgat to Weelding: 10.5 km
- Weelding to Goesh: 10.5 km
- Goesh to Anna Frisopolder: 10.5 km
- Anna Frisopolder to Gostakelle: 10.5 km
- Gostakelle to Draibexon: 10.5 km
- Draibexon to Vlue Telpolder: 10.5 km
- Vlue Telpolder to IJek v. St. Jacob: 10.5 km

Snelheidsverticalen bij maximale
ebsnelheid;
stroommeting van 11 september
1968

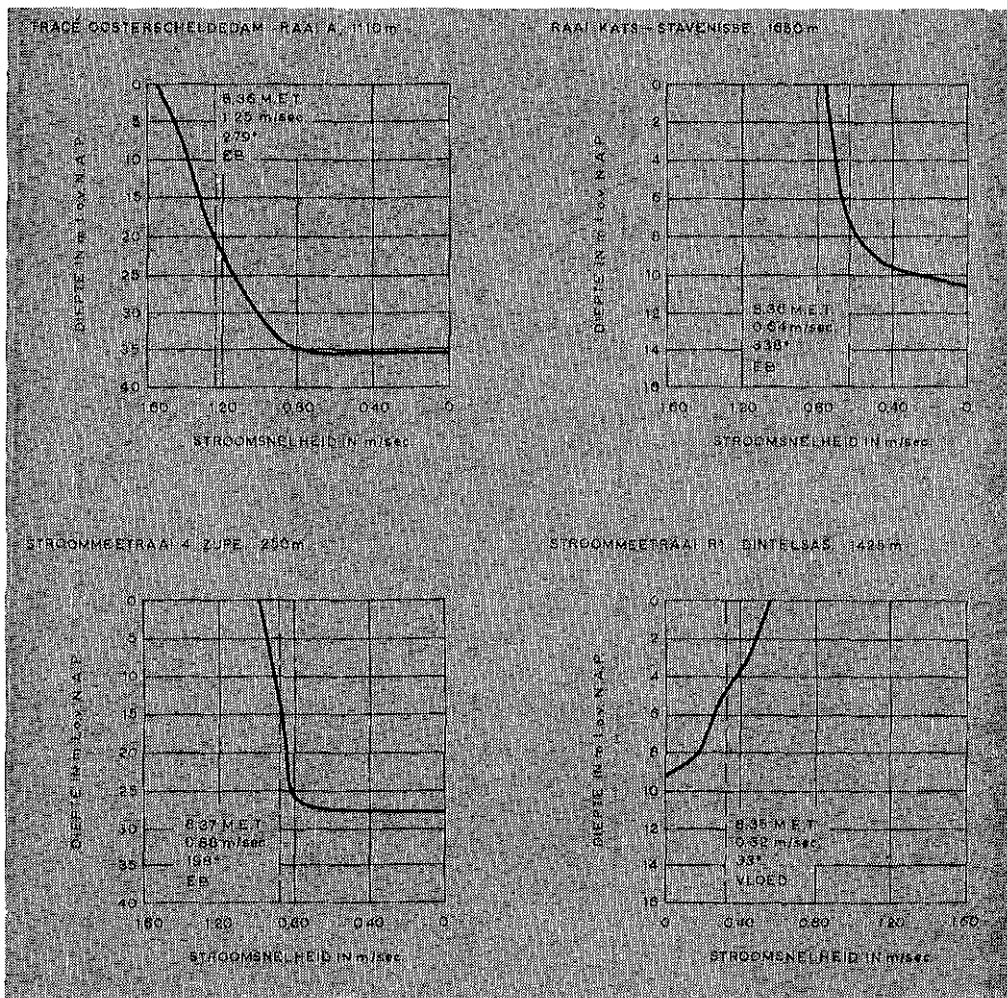
Het gehele gebied wordt sinds 1959 minstens één maal per jaar gepeild in evenwijdige raaien, die gemiddeld 200 m van elkaar liggen. De totale raailengte bedraagt 2600 km. De peilingen dienen om de modelbouw mogelijk te maken, maar ook en allereerst om na te gaan aan welke veranderingen de geulen en banken in het gebied onderhevig zijn.

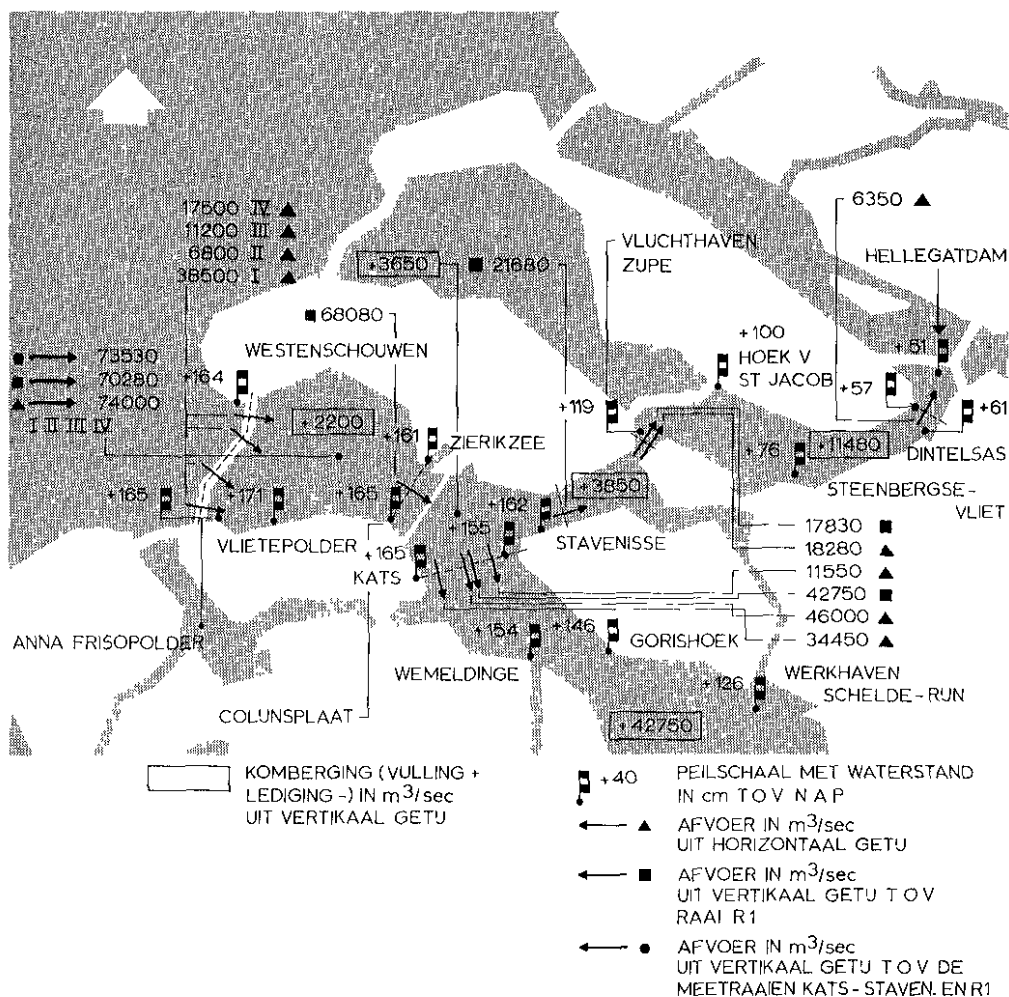
Op basis van deze metingen kunnen dwarsprofielen en peilkaarten getekend worden. De bodem van M 1000 is geprofileerd op grond van een serie peilingen in 1967. Het verloop van de waterstanden, ook wel genoemd het 'verticale getij', kon worden afgeleid van een aantal registrerende peil-

schalen in het meetgebied. In het door ons beschouwde gebied beschikte men voor een lange periode over getijkrommen van een groot aantal peilschalen, die echter alle waren opgesteld aan de waterkant. Zodoende was van het verticale getij langs de platen en in de geulen niets bekend. Ook voor de mond van de Oosterschelde ontbrak elk gegeven. Om voor nabootsing van de waterbeweging in het model te kunnen dienen, moest het waarnemingsnet dus sterk worden uitgebreid. Bovendien bleek dat de meting van het verticale getij op enkele plaatsen, zoals te Vrouwenpolder, Burghsluis, Wemeldinge, Beneden Sas, Dintelsas, en Willemstad, sterk werd beïnvloed door bijkomstige factoren zoals spui-gang of verzanding. Om in de gebleken lacunes te voorzien werd besloten het aantal peilschalen belangrijk uit

te breiden en ze alle simultaan gedurende een geheel getij visueel waar te nemen. De meting voltrok zich op 24 en 25 juli en op 7 en 8 augustus 1968; gedurende 15 uur werd om de vijf minuten een waterstandsmeting verricht.

De uitgestrektheid van het beschouwde gebied maakte het onmogelijk om met het beschikbare materieel in één simultane meting alle vereiste gegevens bijeen te krijgen die nodig zijn voor een getrouwe weergave in het model van de hydraulische situatie. In plaats daarvan werden op een aantal verschillende dagen in een geselecteerd aantal raaien in het meetgebied stroommetingen uitgevoerd. Bij zo'n gedetailleerde meting wordt een duidelijk beeld verkregen van de stroomsnelheidsverdeling in een raai, en na een aantal rekenkundige bewerkingen, van de





debiëten door die raai

Voor het uitvoeren van zulke metingen beschikt de Deltadienst over een kleine vloot van meetschepen, waarmee alle meetpunten van één raai, en soms zelfs van meer dan één raai tegelijk kunnen worden bemeaten. Vóór met een stroommeting wordt begonnen, neemt men snel met een registrerend echolood het bodemprofiel in de raai op. De plaatsen waar gemeten zal worden in het profiel, worden vervolgens bepaald. Gewoonlijk wordt een aantal meetpunten gekozen op onderling regelmatige afstand, maar ter plaatse van grote diepteverschillen worden de meet-schepen dichter bij elkaar gelegd, zodat men door interpolatie ook de waarden in de tussenliggende punten kan schatten. De schepen worden zo verankerd dat de meetapparatuur zich in de raai bevindt.

In elk punt wordt, teneinde een goed overzicht te krijgen van de verticale snelheidsverdeling, op een aantal hoogten tussen oppervlak en bodem gemeten. De verticale moet in 15 minuten worden doorlopen, waarmee aan de ene kant wordt voorkomen dat elke puntmeting te kort duurt om een goed beeld te geven van de werkelijkheid; en aan de andere kant dat het getij tijdens de meting zoveel verloopt, dat er geen sprake meer is van een momentane snelheidsverticaal. Op die manier worden in een meetpunt gedurende 13 uur achtereenvolgens elk kwartier de snelheid en de richting van de stroom in de verticaal opgemeten. Daaruit kan de gemiddelde snelheid over de verticaal worden afgeleid, en tegen de tijd uitgezet leveren al die gemiddelden een voorstelling van het horizontale getij in een bepaald punt. Voor het berekenen van de

hoeveelheid water die per tijdseenheid door een raai stroomt, worden de stroomsnelheden ontbonden, waarbij de component loodrecht op de raai wordt uitgezet als ordinaat. De uiteinden van deze componenten worden verbonden door een vloeiende kromme, zodat men op elke plaats in het dwarsprofiel de gemiddelde snelheid loodrecht op de raai kan aflezen. Vermenigvuldiging met de waterdiepte levert het debiet per eenheid van breedte op. Na het tekenen van deze waarden op de bijbehorende plaatsen in de raai, ontstaat een diagram waarvan de oppervlakte het debiet weergeeft door het gehele dwarsprofiel op één bepaald tijdstip. De vermenigvuldiging van debiet en tijd levert tenslotte het totale eb- en vloedvolume op.

In de loop van 1968 werden voor het verkrijgen van gegevens als de bovengenoemde stroommetingen verricht ten behoeve van model M 1000, en wel: op 12 en 13 juni in de raai Kats-Stavenisse, op 26 en 27 juni in raaien bij Zijpe en Dintelsas en op 27 en 28 augustus in het tracé van de Oosterscheldedam. Om al die metingen, die vanzelfsprekend werden verricht onder verschillende weers- en getij-omstandigheden, onderling vergelijkbaar te maken, werd een vierde simultane

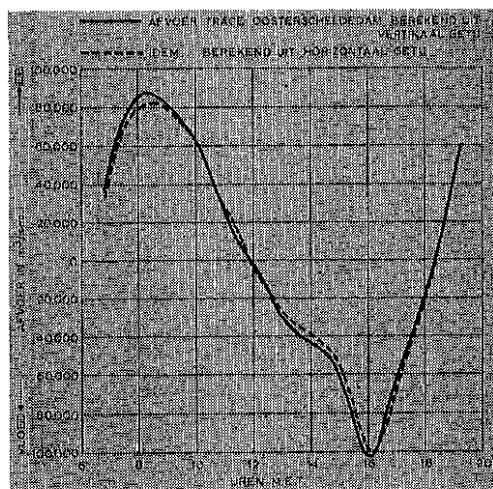
stroommeting uitgevoerd op 10 en 11 september, waarbij in elk van de genoemde raaien op een aantal referentiepunten werd gemeten. Bovendien werd tegelijk van een groot aantal peilschalen de waterstand afgelezen. Het was toen springtij, hetgeen de betekenis van meetfouten relatief geringer maakt. Ter controle werd aan de hand van in 1967 verrichte peilingen nog een kombergingsberekening uitgevoerd. Daartoe werd het gebied tussen de raai bij Dintelsas en het tracé van de Oosterscheldedam in een aantal vakken verdeeld, en werd van elk vak vastgesteld hoeveel water er per half uur in- of uitstroomde. De gemeten afvoeren in een aantal raaien werden vergeleken met de uit de komberging berekende afvoeren in diezelfde raaien. Er bleek een zeer redelijke overeenstemming van de uitkomsten. Interessant is nog de verdeling van het vloed- en ebvolume over de geulen in de Oosterscheldedam. Bij vloed trekt 53% van het volume door de Roompot naar binnen, 23% door de Hammen, 16% door de Schaar van Roggenplaat en 8% door de Geul. Bij eb zijn deze cijfers respectievelijk 55, 21, 19 en 5. De ijking van M 1000 is aanvankelijk verricht aan de hand van de getijgegevens van 11 september 1968. Na de afsluiting van het Volkerak was de toestand echter zo veranderd, dat opnieuw een vergelijking tussen model en natuur noodzakelijk werd geacht. Daarom hebben op 6, 7 en 8 oktober 1971 opnieuw simultane stroom- en peilschaalwaarnemingen plaatsgevonden in het tracé van de Oosterscheldedam. Ten tijde van deze metingen was niet alleen het Volkerak afgesloten, maar waren ook reeds drie werkeilanden in het tracé van de Oosterscheldedam aangelegd, namelijk de eilanden Roggenplaat, Neeltje Jans en Noordland.

Behalve de stroommetingen in de vier sluitgaten van de Oosterscheldedam zijn zowel in de vloed- als de ebperiode drijfvermetingen uitgevoerd rondom het werkeiland Roggenplaat. Ze werden uitgevoerd met twee meetboten voorzien van een aantal 2 meter lange stokdrijvers. In bovenstrooms van de drijfvakken gelegen raaien werden de drijvers op vooraf vastgestelde plaatsen te water gelaten. Het moment van tewaterlating werd genoteerd. De drijvers werden door de meetboten gevolgd, waarbij hun positie van tijd tot tijd werd vastgesteld met behulp van het Decca-plaatsbepalingssysteem. De looptijden werden op de meetboten op stopwatches afgelezen. Op deze wijze werden de gemiddelde stroomsnelheden in de bovenste waterlaag van ongeveer 2 m dikte bepaald.

Uiteindelijk werden de metingen van 7 oktober

De belangrijkste hydraulische gegevens aangaande het Oosterscheldegebied op basis van de metingen op 11 september 1968

Afvoer door het tracé van de Oosterscheldedam, berekend uit horizontaal en verticaal getij, 11 september 1968



1971 het meest geschikt bevonden voor de herijking van model M 1000.

Het mathematisch één-dimensionaal overzichtsmodel

De recente ontwikkeling van de computertechniek en de voor het oplossen van getijproblemen beschikbare rekentechnieken maken het thans mogelijk naast hydraulische ook mathematische overzichtsmodellen te construeren. De voorwaarden die noodzakelijk zijn voor het simuleren van de juiste hydraulische omstandigheden in het detailmodel, kunnen thans evengoed aan een mathematisch als aan een hydraulisch overzichtsmodel worden ontleend. Onze kennis betreffende een aantal verschijnselen die zich in de omgeving van sluitgaten voordoen, zoals ontgrondingen en wervelstraten, laten zich echter nog moeilijk langs wiskundige weg beschrijven. Mathematische detailmodellen van sluitgaten zijn derhalve nog niet mogelijk.

Daar het gebruikelijk is om de verlangde gegevens bij kostbare en ingrijpende waterstaatkundige werken zekerheidshalve volgens verschillende methodieken te benaderen, is van het gebied dat in het hydraulisch model M 1000 wordt voorgesteld, ook een mathematisch model gemaakt. Hiertoe werd dit gehele gebied geschematiseerd tot een één-dimensionaal geulenstelsel. Dit stelsel bestaat uit ongeveer 40 knooppunten en 60 onvertakte getijgeulen of takken. Door zijn vele takken en knooppunten benadert dit één-dimensionale model van de Oosterschelde de twee-dimensionale toestand. Opgemerkt moet evenwel worden dat de vervallen die optreden onder invloed van de aardrotatie in dit model buiten beschouwing blijven. In de randvoorwaarden voor het verticale getij in de Oosterscheldemond is de invloed van de aardrotatie echter wel opgenomen, daar ze afkomstig zijn uit natuurmetingen. In het hydraulisch model worden die krachten door zogenaamde Coriolistollen kunstmatig opgewekt, maar in het mathematisch één-dimensionaal model worden ze buiten beschouwing gelaten.

De rekentijd plus uitvoertijd van de gegevens in dit mathematische model bedraagt op de middelgrote Elliottcomputer van de Rijkswaterstaat ongeveer een uur. Na dat uur kan men voor elk moment in twee opeenvolgende getijden zestig inlichtingen opvragen aangaande de waterstanden en 120 inlichtingen betreffende de stromen. Voor de berekening wordt een impliciete methode gehanteerd. Waterstanden en afvoeren worden bij deze methode berekend voor iedere knooppunt, waarbij de grens van twee takken die in elkaars ver-

lengde liggen, ook als een knooppunt wordt opgevat, terwijl de lengte van de takken flexibel is. Dit systeem maakt een vereenvoudiging mogelijk van de schematisering, en geeft de mogelijkheid tot een betere benadering van de werkelijke rivierfiguratie.

Het hydraulisch en het mathematisch model zijn beide op dezelfde natuurmeting geijkt. In eerste instantie werd daarvoor een meting van 10 en 11 september genomen, toen het Volkerak nog open was, en later een van 7 oktober 1971, toen het Volkerak al was afgesloten. Men kon toen meteen een indruk krijgen van de invloed die deze afsluiting volgens de twee verschillende modellen op de hydraulische toestand uitoefende.

In het gebied vanaf het damtracé in de Oosterschelde tot aan het Zijpe stemmen de beide modellen goed overeen wat betreft hun voorstelling van de veranderingen in de waterstanden. Verder gaande in de richting van de Volkerakdam nemen de veranderingen in de laagwaterstanden volgens het mathematisch model iets meer toe dan volgens het hydraulische. Van de veranderingen die de stromen in de verschillende meetraaien tengevolge van de Volkerakafsluiting ondergaan, geven beide modellen hetzelfde beeld. Het maximale ebdebiet ter plaatse van de Oosterscheldedam neemt zowel volgens model M 1000 als volgens het mathematisch model toe met 8%, terwijl de stroom door de raai Kats-Stavenisse praktisch niet verandert. De stroomkromme in het Zijpe, waar volgens het hydraulisch model het maximale ebdebiet toeneemt met 19% en het maximale vloeddebiet vermindert met 11%, vertoont volgens het mathematisch model in de overeenkomstige situaties een vermeerdering van 24% en een vermindering van 14%. In elk geval blijkt, dat het hydraulisch en het mathematisch model praktisch tot vrijwel dezelfde resultaten komen. De stroom door de raai Kats-Stavenisse veranderde praktisch niet, omdat het oostwaarts van die lijn gelegen deel van de Oosterschelde door de afsluiting van het Volkerak nauwelijks wordt beïnvloed.

Aan deze twee modellen en aan het detailmodel M 1001 zullen dus waterlooppkundige prognoses worden ontleend die voor het ontwerp en de uitvoering van de Oosterscheldeafsluiting onmisbaar zijn. Het onderzoek in de modellen zal daarna echter nog moeten worden voortgezet ter bestudering van een aantal vraagstukken die uit de afsluiting voortvloeien, zoals de windeffecten op het toekomstige Zeeuwse Meer, de waterbeheersing, en dergelijke meer.

Wanneer een primaire Deltadam is gesloten en er een vast waterpeil is ingesteld op het bekken erachter, wordt de overgangszone tussen land en water veel smaller dan hij voor de afsluiting was. Toen stonden ten gevolge van een tijverschil van om en nabij 3 m de platen, slikken en schorren van het gebied voortdurend bijna in hun geheel bloot aan de werking van het bewegende water. Na de afsluiting zijn de overgangszones beperkt tot de randen van de overigens drooggevalen platen, slikken en schorren. Golven en stromingen op het afgesloten bekken vormen een zekere bedreiging voor de instandhouding van deze vele tientallen kilometers lange oevergebieden. Wil men ze optimaal geschikt houden voor natuurbescherming en recreatie, dan zullen er zekere maatregelen genomen moeten worden. De problematiek daaromheen wordt in het nu volgende artikel nader belicht.

De oevers van de Deltameren

De stromingen van een open estuarium kunnen in enkele uren tijds grote massa's bodemmateriaal verplaatsen. Geulen worden daardoor uitgeschoord en oevers aangetast, terwijl op plaatsen waar stroomverlamming optreedt, juist weer bodemmateriaal wordt afgezet. Door de regelmatige afwisseling van eb en vloed heffen de gevolgen van die massale zandverplaatsingen elkaar echter goeddeels op. Waar bij eb uitschuring optreedt, kan de vloed weer aanzanding te zien geven, en andersom. Op korte termijn gezien treden er daardoor nauwelijks veranderingen op in de grote lijnen van de morfologische opbouw van een gebied: de processen van uitschuring worden min of meer gecompenseerd door de processen van aanzanding. Grote veranderingen komen in dit systeem evenwel toch voor, wanneer namelijk op de ene plaats de uitschuring en op de andere plaats de aanzanding en aanslibbing de overhand heeft. Deze veranderingen blijken pas op lange termijn, en aan hoe lange termijnen men daarbij soms wel moet denken, wordt geïllustreerd door de vele namen van platen in het Deltagebied met een thans niet meer te achterhalen betekenis, zoals Hompelvoet, Galgeplaat en Haringvreter.

Na de afsluiting van een estuarium treedt een geheel ander mechanisme in werking. Dan is er niet meer het getij dat zorgt voor afbraak en opbouw maar het wordt vrijwel alleen de wind, die zijn invloed doet gelden. De wind veroorzaakt naast golven ook een – betrekke-

lijk zwakke – stroming in het water. De gezamenlijke werking van deze beide invloeden leidt in een ondiepe zone onder de waterspiegel tot een langdurig voortgaand proces van uitsluitend afbraak, overal waar de meerbodem zich tot binnen deze zone verheft.

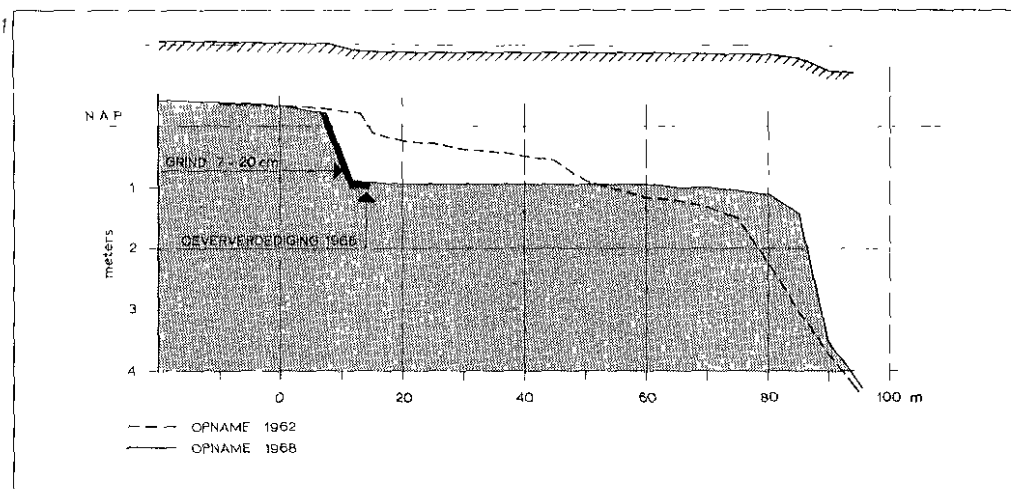
Het weggevoerde bodemmateriaal wordt in dieper water afgezet langs de randen van de geulen die een ondiepte begrenzen. De getijbeweging heeft er vóór de afsluiting voor gezorgd dat een geaccidenteerd gebied ontstond van door geulen gescheiden platen, slikken en schorren. Het afbraakproces na het wegvallen van het getij heeft de neiging het gebied sterk te nivelleren, tot een waterplas met een vrij gelijkmatige minimumdiepte. Dit aantastingsproces is het resultaat van een ingewikkeld en nog niet geheel verklaard samenspel van een groot aantal met elkaar samenhangende verschijnselen. Dat het zich voordoet, is komen vast te staan op grond van 10 jaar achtereenvolgens overal in het Veerse Meer verrichte metingen van de veranderingen in de bodemligging. Voor een goed begrip van het vervolg van dit artikel lijkt het dienstig enkele van deze verschijnselen nader te beschrijven; dan kan de lezer zich tenminste enig idee vormen, hoe het afbraakproces zich voltrekt.

De door de wind veroorzaakte golven brengen het wateroppervlak in min of meer heftige beweging; tot een zekere diepte wordt deze beweging overgedragen op de onderliggende

waterdeeltjes. Hoe dieper in het water, hoe minder de waterdeeltjes in beweging geraken; tenslotte is de beweging geheel gedempt. Bevindt de bodem van het water zich nog binnen de werkingssfeer van een golf aan de oppervlakte, dan zal het water dichtbij de bodem bij het passeren van golven een heen en weer gaande beweging maken langs een lijn die evenwijdig loopt met de voortplantingsrichting van de golf. Die beweging kan zo sterk worden dat ook een gedeelte van het bodemmateriaal mee heen en weer wordt gesleept.

Behalve golven veroorzaakt de wind ook een regelmatig voortgaande stroming in het water – de driftstroom –, die eveneens wordt meegedeeld aan de diepere waterlagen. Door verschillende oorzaken kan de richting van de driftstroom afwijken van de voortplantings-

op het bodemmateriaal elkaar versterken. Komt het bodemmateriaal in beweging, dan zal het zich verplaatsen in de richting van de driftstroom. Voor het uiteindelijk bewegings-effect is de driftstroom dan dus bepalend. Wat zich nu in werkelijkheid in de afgesloten bekken afspeelt, is veel ingewikkelder dan de hiervoor beschreven schematiseringen. Wij kunnen daarvan voornamelijk het eindresultaat goed waarnemen: de door geulen omgeven ondiepten midden in de Deltameren komen op deze manier steeds dieper onder water te liggen, terwijl het weggevoerde materiaal aan de lijzijde van de ondiepte wordt afgezet langs de rand van een geul. Dat gaat zo door totdat de bodem buiten de werkingssfeer van driftstroom en golven is gekomen. Het kan heel lang duren voordat dit evenwicht zich heeft ingesteld, aangezien



richting der windgolven. In het eenvoudigste geval, wanneer beide richtingen samenvallen, is het gemakkelijk in te zien dat de boven beschreven heen en weer gaande beweging van een waterdeeltje dicht bij de bodem van een ondiepte wordt versterkt in de richting van de driftstroom, en wordt verzwakt in de tegenovergestelde richting; dat waterdeeltje beweegt zich dus schoksgewijs voorwaarts. Ook wanneer de afzonderlijke werking van driftstroom en golven niet in staat zou zijn om het bodemmateriaal in beweging te brengen, dan kan hun gezamenlijke werking dat veelal wel.

Er wordt dan bodemmateriaal op min of meer grillige wijze in de richting van de driftstroom meegesleept. Ook in het meer algemene geval dat de richting van golven en driftstroom sterk uiteenloopt, zullen de beide invloeden

hevige stormen, waarvan het effect diep in het water reikt, zeer zeldzaam zijn. Op welke diepte het evenwichtsniveau ligt, is van veel factoren afhankelijk. Behalve de ter plaatse optredende golfhoogten zijn onder meer ook de fijnheid van het bodemmateriaal van belang en de onderlinge samenhang van de korrels. Om de gedachten te bepalen: de stabiele diepte kan enige malen zo groot zijn als de er mee corresponderende golfhoogte. Ook nabij de oevers van platen, slikken en schorren veroorzaakt dit afbraakmechanisme een verdieping van de bodem; daar doet echter tevens het verschijnsel van de retourstroom of vereffeningsstroom zijn invloed gelden.

Bij aanlandige wind zal de driftstroom aan de oppervlakte op de oever gericht zijn; over de bodem wordt deze waterbeweging dan

echter gecompenseerd door een van de oever af gerichte vereffeningsstroom. Het door de wind in de hogere waterlagen meegesleepte water wordt door de oever tegengehouden, en stroomt dan langs de bodem weer terug. Is de aanlandige wind krachtig genoeg, dan wordt het water nabij de oever zo sterk in beweging gebracht, dat de retourstroom het bodemmateriaal verplaatst naar dieper water, verder uit de oever. Ook het materiaal dat door brekende golven uit de oever wordt losgemaakt wordt grotendeels op die manier afgevoerd – des te gemakkelijker wanneer de bodem schuin afloopt – en afgezet op een plaats waar het buiten bereik is van de golfwerking.

Dit proces van oeveraantasting verloopt sneller naarmate de onderwateroever onder een steilere helling staat, naarmate het

bodemmateriaal ter plaatse fijner van korrel is en minder samenhangt, en naarmate de oever vaker aan krachtige winden is blootgesteld. Worden er geen kunstmatige belemmeringen in de weg gelegd, dan gaat dit aantastingsproces door totdat zich een onderwateroever heeft gevormd met een zo flauwe helling dat de energie van op de oever aankomende golven dermate geleidelijk wordt afgebroken dat op geen enkel punt nog bodemmateriaal in beweging wordt gebracht door de gezamenlijke werking van golven en retourstroom. Oevermetingen in het Veerse Meer, waar ook na meer dan 10 jaren sedert de afsluiting nog nergens in de oeverzones een stabiele toestand is ingetreden, wijzen er op dat men hierbij moet denken aan hellingen in de orde van grootte van 1 : 500. In het Grevelingenbekken zou deze evenwichts-



Aangetaste oever nabij De Punt op het eiland Goeree; foto van september 1972

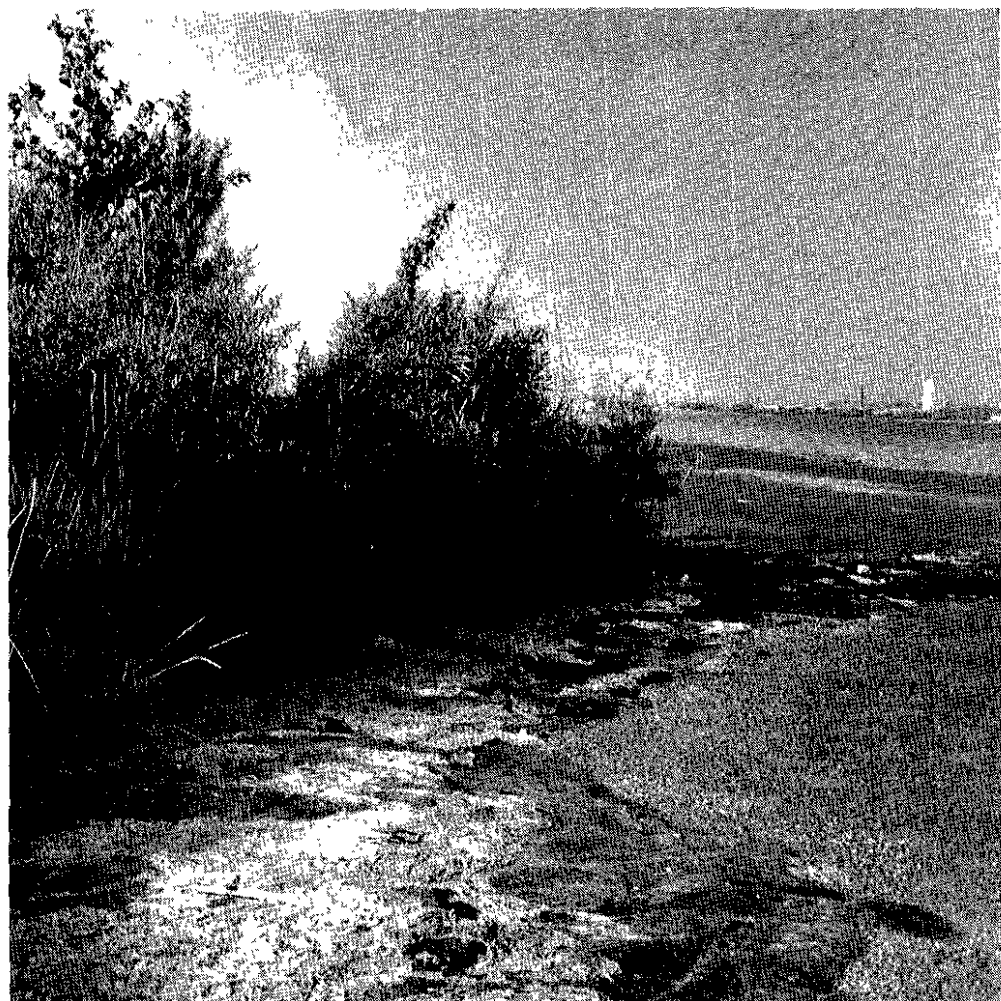
Links: Oeverafslag van het eiland Haringvliet in het Veerse Meer

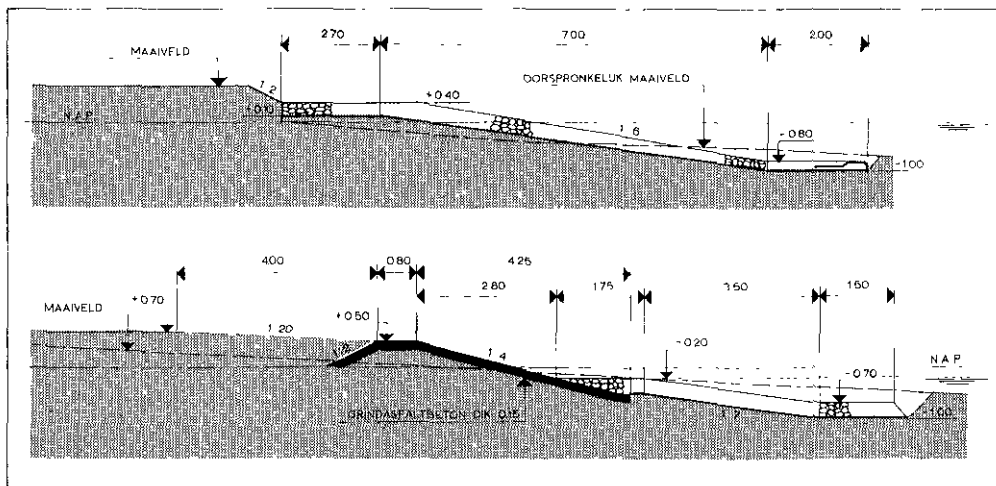
helling betekenen dat er van de grote door diepe geulen omgeven platen op de lange duur niet veel overblijft. Dat is om verschillende redenen niet toelaatbaar. In de Deltabekkens is al voldoende wateroppervlakte beschikbaar. Voor drooggevallen landoppervlakten is echter een zo grote belangstelling, ook als men alleen denkt aan bestemming voor recreatieve doeleinden en voor natuurbescherming, dat slechts in beperkte mate kan worden voldaan aan de behoeften ten aanzien van deze veel ruimte eisende vormen van grondgebruik. De oeveraantasting moet derhalve tot staan worden gebracht. Het ligt voor de hand dit te bewerken door langs de waterlijn een oeververdediging aan te brengen. Verdere achteruitgang van de oever wordt daardoor voorkomen. De waterzone buitenwaarts van de

verdediging echter, die voor zover ze reeds aan de afslag ten offer is gevallen aanvankelijk zeer ondiep zal zijn, wordt zoals we hiervoor gezien hebben, gedurende lange tijd steeds dieper en dieper, totdat ter plaatse de evenwichtstoestand is bereikt. In het ontwerp van de oeververdedigingen moet met de te verwachten voortgaande verdieping rekening gehouden worden.

In het Veerse Meer zijn daarom enkele oevers die dichtbij vrij diep water liggen langs de oeverlijn bestort met grind 7-20 cm onder een helling van 1 : 6. Deze combinatie van materiaalgrofheid en taludhelling blijkt de op het Veerse Meer voorkomende golfslag tot dusver goed te weerstaan. Het hangt van de omstandigheden tijdens de uitvoering van het werk af, hoever dit talud naar beneden toe nog vrij gemakkelijk kan worden ontgraven.

Meestal kan men niet zover komen als in verband met de komende verdieping van de vooroever noodzakelijk is. In dat geval wordt waterwaarts van de teen van de grindglooiing een horizontale berm aangelegd van 2 m breed. Onder invloed van de verdere ontgronding zal deze berm langzamerhand schuin achterwaarts wegzakken tot een bepaalde helling is bereikt. Wanneer de ontgraving sterker zou doorzetten dan verwacht was, kan men vanaf het land op eenvoudige wijze het extra benodigde grind bijstorten. Onder het grind is vooraf een bodemafdekking van kunststofweefsel gelegd. De dikte van de grindlaag kan daardoor iets worden beperkt. Om verschillende redenen is dit weefsel ook doorgezet onder het grind op de onderwaterberm, hoewel het daar wel eens zou





Oeververdediging van grind langs een recreatie-oever in het Veerse Meer (boven); ontwerp van een oeververdediging van grind en grindasfaltbeton langs een recreatie-oever in het Grevelingenmeer (beneden)

Links: Oeveraantasting in het Veerse Meer, voor de Zuidvliet-polder op Zuid-Beveland. De waterstand is 20 cm verlaagd

kunnen verhinderen dat de berm op soepele wijze in een glooiend talud verandert. De ervaring is nog te kort om daarover al conclusies te formuleren.

Om de uitloop van de golven op te vangen wordt de grindglooiing opgetrokken tot een paar decimeters boven het waterpeil. De recreanten blijken dit in het zicht blijvende grind soms echter als speelmateriaal te gebruiken. Grof grind dat zo in het gras van de aangrenzende oeverstrook terecht komt bemoeilijkt het maaien, en in het water gegooide stukken kunnen baders en zwimmers verwonden. Langs druk bezochte recreatie-oevers moet daarom de voorkeur gegeven worden aan grindasfaltbeton voor de strook boven water, al is dat dan ook kostbaarder. Doorslaggevend om juist grindasfalt te kiezen was de overweging dat een gesloten, min of

meer starre verdediging op het grensvlak met het gegraven talud vooral geen holle ruimte mag bevatten waarin materiaal uit het grondvlak kan binnendringen. Ten gevolge van de waterbeweging onder de verdediging zou de constructie dan namelijk de onontbeerlijke steun van het grond-talud verliezen, en in elkaar kunnen zakken.

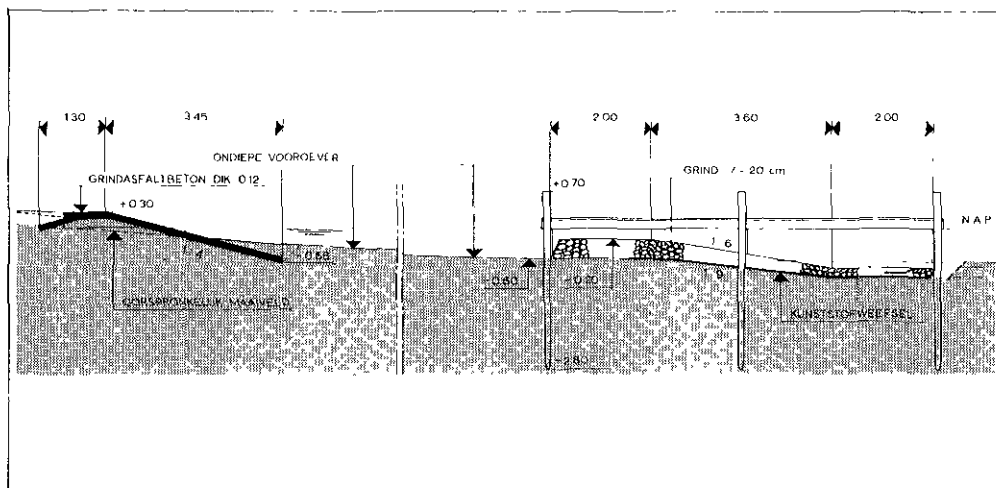
De constructie moet dus dicht zijn en goed aansluiten op het gegraven talud. Langs oevers die pas in de veraf liggende toekomst druk bezocht zullen worden, zal ook voor het boven water liggende deel van de verdediging grind kunnen worden gebruikt. Wanneer de vooroever later in zijn evenwichtstoestand is gekomen, kan worden overwogen, dat grind oppervlakkig vast te leggen met een asfaltprodukt of iets dergelijks.

De hiervoor beschreven verdediging langs de oeverlijn zal in het algemeen worden aangelegd op plaatsen waar de ondiepe vooroever maar smal is. Op den duur zal ze, ook waar de ondiepe vooroever zich over een grotere breedte uitstrekt, de scheiding gaan vormen tussen een hooggelegen oever en een zone met vrij diep water, waar bij aanlandige wind al gauw een sterke golfslag zal staan. Zo'n oever is minder geschikt voor gezinsrecreatie, omdat het water te diep is voor kleine kinderen. Wie vlak bij de oever wil zwemmen, kan hier juist wel terecht. Om het te water gaan te vergemakkelijken zullen dan korte steigertjes over de grindbestorting heen moeten worden gebouwd. Iets langere steigers kunnen langs zo'n oever goed dienen als aanleggelegenheid voor boten, en ook hengelaars zullen ze weten te waarderen.

Uit een oogpunt van natuurbescherming heeft

een dergelijke verdediging slechts waarde omdat ze de achteruitgang van natuurgebieden verhindert. Maar als nadeel geldt, dat de tijdens de periode van afslag gevormde flauw hellende oeverstrook, waardevol als overgangszone tussen twee milieu-typen, erbij verloren gaat. Wat dit betreft lopen de wensen van gezinsrecreatie en natuurbescherming parallel. Beide belangen zouden een oeverzone die van enkele decimeters boven water tot enkele decimeters onder water flauw afhelde en waar het water ook bij sterke aanlandige wind rustig bleef, ten zeerste op prijs stellen. Voor de gezinsrecreatie is het gewenst dat deze zone doorloopt tot 80 cm onder de waterspiegel. Ook voor de natuurbescherming vormt deze maat wellicht een goed uitgangspunt. De betekenis van rustig ondiep water voor het dierlijk en plantaardig

enkele decimeters boven het waterpeil. Waar bij krachtige aanlandige wind een verhoging van de waterspiegel optreedt, zal de golfkering ook nog met de maat van die opwaaiing moeten worden verhoogd. Ondanks de eventuele doorlatendheid van de golfkering wordt het water in de ondiepe oeverzone dan nagenoeg van het buitenwater afgesloten. Mede onder invloed van de hogere temperatuur die dit water daardoor in het zomerseizoen bereikt, en wellicht ook van de grotere temperatuurschommelingen gedurende het etmaal waaraan ondiep water bloot staat, kunnen er ongewenste biologische processen worden gestimuleerd, zoals uitbundige algengroei, afgewisseld door afstervingsprocessen. Deze effecten zullen minstens voor een deel kunnen worden tegengegaan door de golfkering op een aantal



leven is genoegzaam bekend. Gewezen kan ook worden op het feit dat fouragerende steltlopers en zwemeenden zich niet begeven in water van meer dan respectievelijk ongeveer 10 en 50 cm diep.

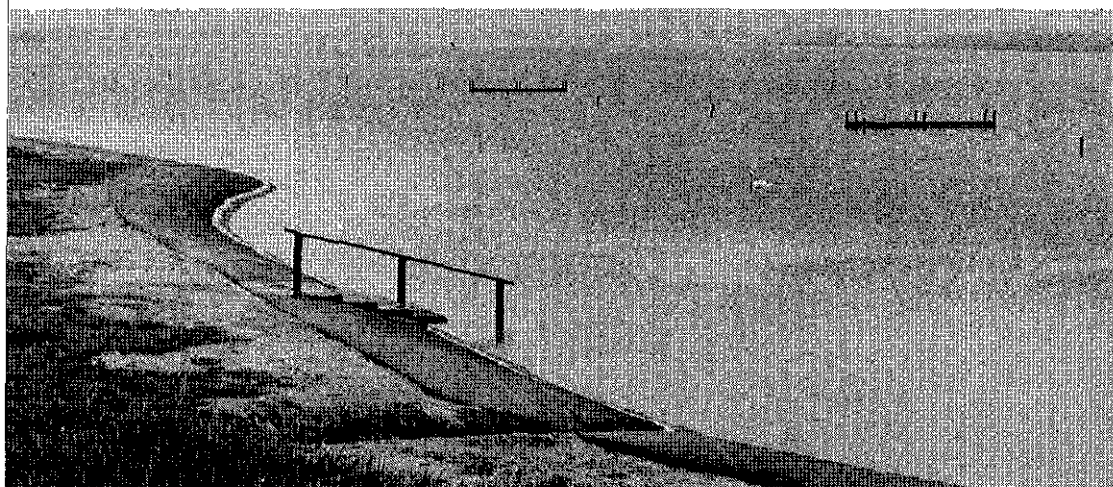
Waar zo'n flauw hellende brede oeverzone van nature reeds aanwezig is of door afslag is ontstaan, kan een belangrijk deel ervan inderdaad behouden blijven. Men moet dan langs een bepaalde dieptelijn, bijvoorbeeld die van 80 cm, een golfkering aanbrengen, waarachter dan vaak nog een vrij brede ondiepe waterzone ligt die niet beschermd wordt. Die laatste zone geeft men op, maar het dikwijls tientallen meters brede gedeelte tussen de golfkering en de waterlijn kan behouden blijven. Wil men elke verdere aantasting van de beschermde onderwateroever tegengaan, dan moet de golfkering reiken tot

plaatsen te onderbreken. Ter hoogte van de openingen, die bijvoorbeeld 20 m breed moeten zijn, kan de aantasting van de oever doorgaan. Wil men dat verhinderen, dan moet de oever ter plaatse worden verdedigd. De verdere aantasting zal daar dan beperkt blijven tot een verdieping van de ondiepe vooroever.

Het water achter de golfkering kan beter worden verversd wanneer men de bovenkant van de golfkering legt op 10 à 20 cm onder het normale waterpeil, en er daarbij ook nog een aantal openingen in aanbrengt. Reeds bij zwakke aanlandige wind wordt het buitenwater over deze golfkering gestuwd naar de ondiepe zone; de compenserende retourstroom voert het water weer naar buiten door de openingen. Dit circulatiesysteem vindt men ook bij de zwinnen en muilen langs de Noord-

zeekust. De grote golven breken op zo'n golfkering, de kleinere golven schieten er overheen en zij kunnen voortgaande aantasting van de oeverlijn veroorzaken, zij het in sterk verminderde mate. Toch kan men de verminderde voortgaande aantasting ongewenst achten, hetzij omdat verder verlies van landareaal niet kan worden geaccepteerd, hetzij omdat het bij aantasting vrijkomende bodemmateriaal de ondiepe zone te zeer kan gaan verondiepen. Maar achter een lage golfkering kan de verdere teruggang van de oever worden verhinderd door daar een summiere secundaire verdediging neer te leggen, bijvoorbeeld in de vorm van een smalle grindrichel. Langs recreatie-oevers is dit weer minder raadzaam, vanwege het reeds genoemde speelse grindgebruik door recreanten; daar geniet dus een asfalt-

glooiing de voorkeur. Onder water wordt asfalt glad door algengroei, en dat is ook bij een smalle zone voor kinderen heel vervelend bij het te water gaan. Het verdient daarom aanbeveling op enkele plaatsen in de glooiing traptreden aan te brengen. Wanneer zo'n smalle secundaire oeververbinding is aangebracht, zal de aangrenzende waterzone over een zekere breedte verder worden verdiept onder meer door de kleine golven die de golfkering passeren. De flauw hellende bodem achter de golfkering wordt daarbij enigszins afgevlakt, althans aanvankelijk. Onder invloed van het zwin- en mui-effect kan de flauwe helling op de lange duur op een lager niveau weer terugkeren. De mate waarin dat gebeurt kan van plaats tot plaats sterk verschillen; ze is onder meer afhankelijk van de aard van het bodemmateriaal en van de



Recreatie-oever bij de haven van Amperland; de golfkering onder water is gemarkeerd door palen en voorzien van zwemstelgers. Langs de oeverlijn ligt een secundaire verdediging van asfalt.

Links: Golfkering met zwemsteiger en secundaire verdediging langs de Schotsman in het Veerse Meer

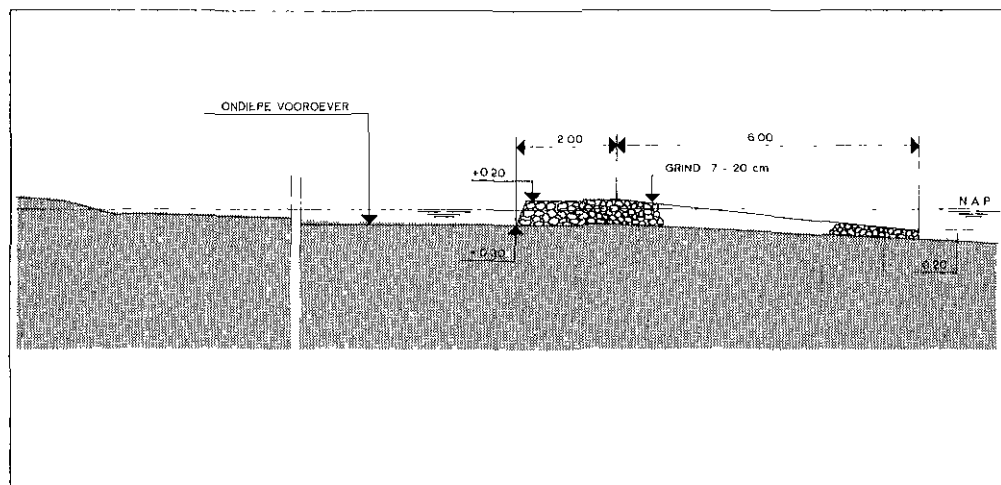
ligging van de oever ten opzichte van de meest frequent voorkomende krachtige winden.

De openingen in de golfkeringen geven zwemmers gelegenheid het open water buiten de golfkering te bereiken. Boven de golfkering kan men daartoe bovendien nog houten vlonders plaatsen, die net boven het water uitsteken en zo lang zijn als de golfkering breed is. In het Veerse Meer blijken zulke bruggetjes op zichzelf al een grote attractie te vormen.

Voor de golfkering zelf zijn in principe een groot aantal constructies mogelijk. Bij het bepalen van een nadere keuze dient men zich af te vragen welke golfbestendige materialen tegen redelijke prijzen aan de markt komen, en welke materialen onder de gegeven omstandigheden goed kunnen worden verwerkt.

Voorts dient de constructie te voldoen aan de eis dat ze bij een belangrijke bodemverlaging aan de buitenzijde in stand blijft; en dat ze ook bestand is tegen ijsgang. In het Veerse Meer en ook voor de nog aan te leggen golfkeringen in het Grevelingenmeer is de keus gevallen op hetzelfde grind 7-20 cm dat ook voor de oeververdedigingen wordt gebruikt. Dit is het meest grove grind dat onder bepaalde voorwaarden nog in voldoende hoeveelheden te krijgen is. De ervaringen die er tot nu toe mee zijn opgedaan wekken de verwachting dat dit grind onder een helling 1 : 6 de golfslag in het Veerse Meer zal kunnen weerstaan, al moet een definitieve uitspraak dienaangaande worden uitgesteld totdat de bodem buiten de golfkering zich op de bij elke situatie passende diepte zal hebben gestabiliseerd.

Het grind voor de golfkeringen kon in het Veerse Meer tijdens de lage winterwaterstand vanaf de landzijde worden uitgereden met door tractoren voortgetrokken kipkarren, en ook met vrachtauto's. In de natuurgebieden veroorzaakte deze werkwijze in een brede strook langs de oever een onaanvaardbare beschadiging van de bodem. Naderhand heeft men het materiaal dan ook uitgereden vanuit in het water aangelegde depots. Die depots werden tijdens het hoge zomerpeil op een ondiep oevergedeelte in het water gevormd door rechtstreeks lossen uit schepen, die 40 m van het depot lagen. De tussenliggende afstand werd met een kraan en een lopende band overbrugd. Toen het winterpeil was ingesteld, stond ter plaatse van de depots nog 30 tot 40 cm water, maar dat vormde voor de trekkers en kipkarren geen



In het Veerse Meer zijn de golfkeringen langs de voor recreatie bestemde oevers veelal dicht bij de winterwaterlijn gelegd. 's Zomers staat daar dan 60 tot 70 cm water, terwijl de breedte van de beschermde waterzone 50 tot 80 m bedraagt. Langs de natuurgebieden is daarvan afgeweken. De golfkering is daar gelegd langs een lijn waar 's zomers 30 tot 40 cm water staat. Voor een deel moet deze werkwijze worden toegeschreven aan een zekere voorzichtigheid die in acht is genomen toen de ervaring met dit verdedigingssysteem nog gering was. In de voor het Grevelingenmeer opgestelde plannen is de golfkering langs de brede ondiepe vooroever zowel van recreatiegebieden als van natuurgebieden zoveel mogelijk ontworpen langs de dieptelijn van N.A.P.-1 m, dus 80 cm beneden het streefpeil van het meer.

bezwaar. Door het lage winterpeil van het Veerse Meer ligt de grondslag in het tracé van de golfkering tijdens die ene helft van het jaar vrijwel droog. Dat biedt de mogelijkheid, de stabiliteit van de constructie tegen ontgronding enigszins te vergroten door tot een diepte van enige decimeters een talud te ontgraven, dat af te dekken met een kunststofweefsel en het grind daarop te leggen. Om nog dieper gaande ontgrondingen op te kunnen vangen is de teen van de constructie uitgebreid met een 2 m brede horizontale berm, die later onder een helling kan komen te staan.

Bij de laatste in het Veerse Meer uitgevoerde kilometers golfkering is het ontgraven van een talud achterwege gelaten. De golfkering bestaat daar alleen uit een hoeveelheid grind die in de vorm van een dam of een matras op

de meestal vrijwel horizontale bodem ligt. Proefnemingen lijken namelijk te bevestigen dat een ruwweg op het maaiveld gestorte grinddam onder invloed van de oeverafslag wordt omgevormd tot een goed onder profiel liggende grindglooiing.

Daarmee is vooruitgelopen op de omstandigheden in het Grevelingenmeer, waar 's zomers en 's winters hetzelfde peil wordt aangehouden. Ter hoogte van de gekozen dieptelijn ontbreekt dan de mogelijkheid een talud te maken. *Het grind moet in het water worden aangebracht, en er bestaat voorkeur voor een methode waarbij het grind rechtstreeks uit het schip in het werk wordt gestort.* Er is nu een werkwijze ontworpen om het grind met behulp van een kraan en een paar lopende banden tot ongeveer 100 m uit de zijkant van een schip te lossen. Door dat schip en de

hulpwerktuigen te verhalen langs de oever, kan men dan tamelijk continu grind in het werk storten. Een hydraulische kraan brengt het grind vervolgens onder profiel. *Onder water zal het er dan aanvankelijk nog vrij onordelijk bij liggen, maar zoals we gezien hebben is de belangrijkste eis dat er overal in de dam voldoende grind aanwezig is om het talud dat onder invloed van de golfslag zal worden gevormd, af te dekken tot een vooraf bepaalde diepte. Grind leent zich voor dit doel heel goed; de ronde vormen ervan passen ook goed in een recreatiegebied.* Omdat de oorspronkelijk gelegde dam in de loop der jaren sterk van vorm zal veranderen, is het natuurlijk onmogelijk, hierbij een kunststofweefsel ter afdekking van de bodem toe te passen.

In het Grevelingenmeer gaat men hetzelfde



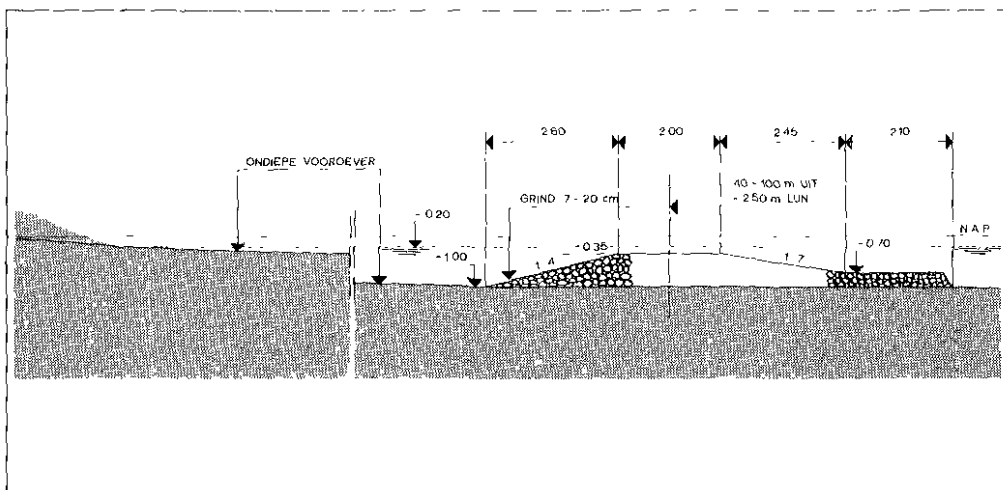
Natuurgebied 'de Middelplaten', in tekening en in werkelijkheid. Op de achtergrond de boven water uitstekende golfkering van grind

soort grind gebruiken als in het Veerse Meer. Wellicht zou men daar, omdat langs enkele oevers in het Grevelingenmeer op den duur een sterkere golfslag zal gaan optreden, grover grind moeten gebruiken om dezelfde helling van 1 : 6 te kunnen aanhouden en daarmee dezelfde hoeveelheden per m te kunnen blijven verwerken. *Grover grind wordt echter niet in voldoende hoeveelheden geleverd.* Voor zover het grind onder een helling wordt verwerkt, houdt men in het Grevelingenmeer een iets flauwer talud aan, van 1 : 7, terwijl een zekere overmaat van grind ervoor moet zorgen dat ook een eventueel flauwer talud geen verrassingen oplevert. Mocht op sommige plaatsen na een aantal jaren blijken dat de kruin van de grinddam toch niet tegen de steeds sterker wordende golfslag bestand is, dan zal alsnog

een aanvullende versterking kunnen worden aangebracht van lichte stortsteen. Dat materiaal is duurder, en het is ook scherpkantig, wat het in een recreatiegebied onaantrekkelijk maakt. Er zal dan ook pas in uiterste noodzaak gebruik van worden gemaakt. In het Veerse Meer bestaan de beschreven constructies al enkele jaren; maar er is nog geen ervaring opgedaan met ijsgang zoals die na een periode van strenge vorst kan optreden wanneer de dooi plotseling invalt en er een krachtige wind waait. De verwachting is, dat de grinddammen er niet veel hinder van zullen ondervinden. De vrij fragiele steigertjes echter die op een aantal plaatsen over de grinddammen zijn gebouwd, en de palen die de openingen in golfkeringen markeren ten behoeve van zwemmers, zullen waarschijnlijk minder tegen ijsgang bestand

even ingaan op de gevolgen die de afsluiting van de Oosterschelde in dezen kan hebben. De studie van de toekomstige waterstaatkundige inrichting der Deltameren is in volle gang. Daarbij komt thans indringender dan voorheen de vraag aan de orde hoe men moet staan tegenover de eventuele verzoeting van de zoute bekkens in het Deltagebied, speciaal vanuit het gezichtspunt van de recreatie en van de natuurbescherming.

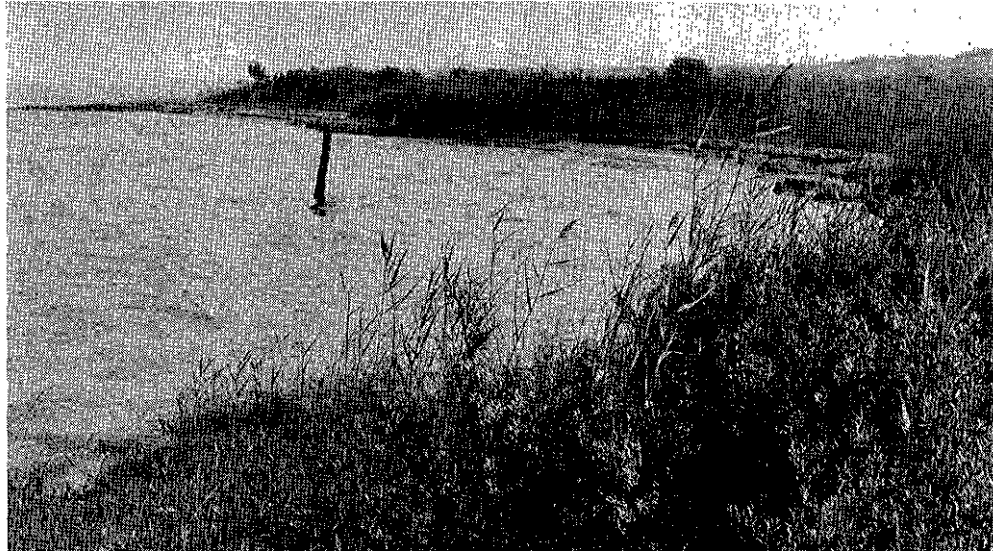
In nauw verband daarmee wordt de vraag gesteld naar de mogelijkheid en de wenselijkheid van dagelijkse peilwisselingen of peilwisselingen over langere perioden. Uit verschillende publikaties is gebleken dat men in natuurwetenschappelijke kring een sterke voorkeur heeft voor zoute bekkens met peilwisselingen, en daarmee gepaard gaande stromen, die enigszins als een vervanging



zijn. In kleinere plassen is meermalen gebleken dat zelfs zware dukdalven niet voldoende weerstand kunnen bieden aan een door de wind in beweging gebracht ijsveld. Het heeft dan ook niet veel zin de houten constructies ten koste van veel geld zwaarder te construeren. Het enige wat men voorlopig, in afwachting van een eerste strenge winter, kan doen, is de steigertjes zo goedkoop mogelijk maken, en ze zo min mogelijk buiten de golfkering laten uitsteken. Als algemene maatregel kan verder worden aanbevolen om het peil tegen het einde van een periode met sterke ijsvorming zo ver mogelijk naar beneden te brengen.

In aansluiting op deze meer technische beschouwing over de bescherming van de oevers der Deltameren willen we ook nog

van het getij zouden kunnen worden beschouwd. Het onderzoek naar de aard en de natuurwetenschappelijke waarde van de leefgemeenschappen die achter de dammen zouden kunnen worden gerealiseerd, duurt nog voort, onder meer bij de afdeling Milieu-onderzoek van de Deltadienst. Deze aspecten van natuurbescherming worden in dit artikel verder niet aangeroerd. Slechts over de recreatieve vooruitzichten kan op dit moment iets zinnigs gezegd worden. De recreanten zullen de verschillen tussen zout en zoet, tussen vaste en variërende peilen in hoofdzaak alleen gewaar worden in de oeverzones. Het verschil tussen zout en zoet water zal daar vooral tot uiting komen in de begroeiing van een smalle zone landwaarts van de waterlijn en in de aard van flora en fauna in het gebied van de ondiepe vooroevers. De natuur-



Natuurlijke begroeiing langs een nog onverdedigde oever in het Veerse Meer

Ontwerp van een golfkering langs natuurgebieden in het Grevelingenmeer

lijke oeverbegroeiing langs een zout meer zal weinig verschillen van die langs een zoet meer, en te minder naarmate de oever hoger is en minder blootgesteld aan bij harde wind overstuivend zout spatwater. De geringheid van het verschil moet daaraan worden toegeschreven dat zich in de bodem van de door zout water omgeven gebieden na verloop van tijd een zoetwaterlens vormt, een grondwaterlaag met een in de richting van de oevers afnemende dikte. Hoe hoger de oever, des te dikker de zoetwaterlens ter plaatse, en des te meer zal de plantengroei gelijk zijn aan die in een geheel zoete omgeving. Op lage maar beschermt gelegen oevers – 10 tot 20 cm uitstekend boven het water – kan de plantengroei toch nog een zoet karakter dragen, zij het dat de vegetatie er ijler is en minder hoog opschiet.

Een veel groter verschil zal zich voordoen bij de ondiepe vooroevers. We hebben gezien dat die alleen in stand blijven waar ze beschut zijn, bijvoorbeeld door een golfkering. Wanneer het water zoet is, kunnen daar dan uitgebreide rietvelden en moerasvegetaties ontstaan; ook het wat diepere water geeft een uitbundige groei te zien van allerlei waterplanten. De golfkeringen zelf en de oeververdedigingen van grind zullen grotendeels door begroeiing aan het oog worden onttrokken. Is het water zout, dan zullen er waterwaarts van de oeverlijn geen boven het water uitstekende, in de bodem wortelende planten voorkomen. Ook onder water zal de vegetatie veel spaarzamer zijn en bestaan uit zeegras en wat zwevende wieren en algen. De grindverdedigingen zullen waar ze boven water uitkomen, goed zichtbaar blijven.

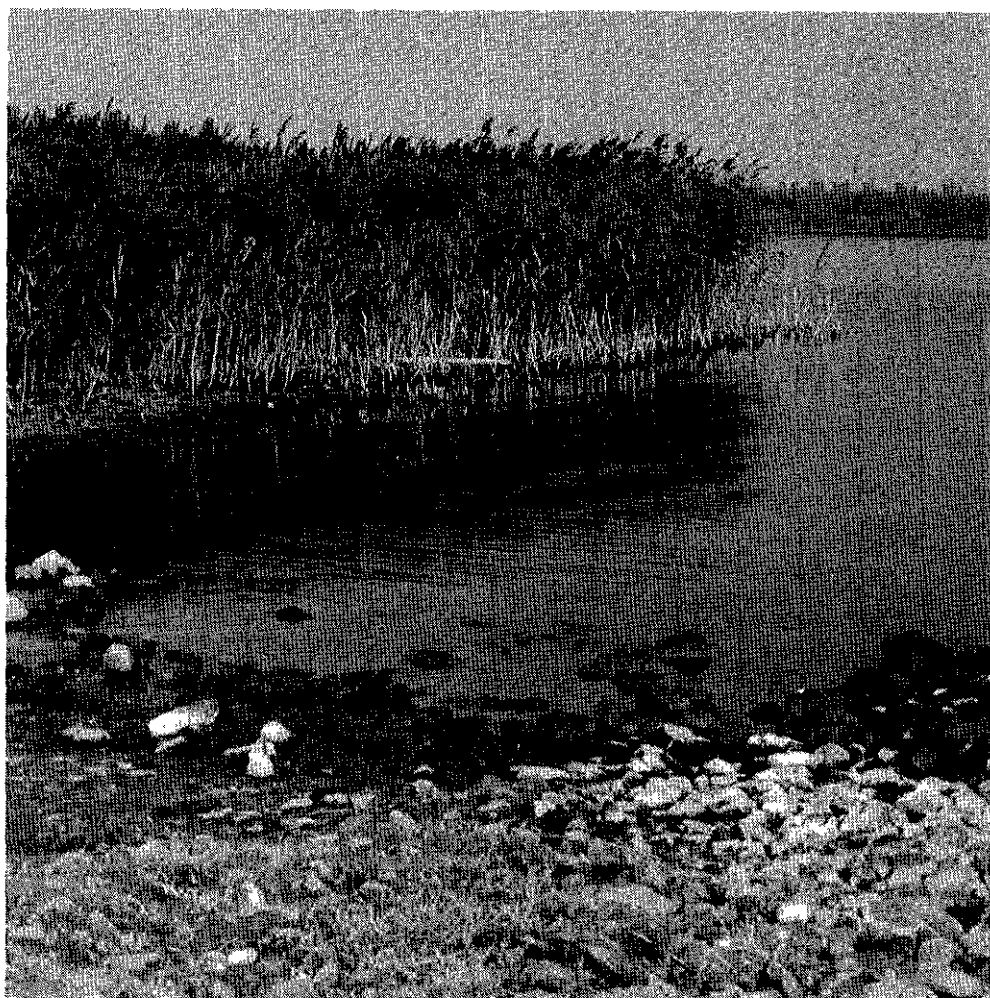
Welke voorkeur men nu vanuit een oogpunt van recreatie wil uitspreken is – kwesties van waterkwaliteit daargelaten – voor een groot deel een zaak van landschapswaardering. Het beeld dat de oevers van een zoet meer te zien geven, kennen we al, van het Brielse Meer en andere grote meren in ons land. Hoe de vegetatie zich ontwikkelt aan de oevers van een zout meer, wordt over enige jaren zichtbaar in het afgesloten Grevelingenbekken. De oevers van het Veerse Meer leveren geen goed voorbeeld, want dat meer is brak, en het zomerpeil ligt er 70 cm hoger dan het winterpeil. Dit laatste heeft tot gevolg dat de zoetwaterlensen zich tijdens de regenperiode van de winter goed kunnen ontwikkelen, zelfs tot een eind buiten de zomerwaterlijn. Wanneer in het voorjaar het waterpeil omhoog komt, worden de zoetwaterlensen mee omhoog gedrukt. Zelfs in het brakke

water vlak bij de oeverlijn kan zich dan nog, zij het moeizaam, een zoete vegetatie handhaven, die zijn wortels heeft in de zoetere ondergrond.

De voorkeur voor zout of zoet water wordt natuurlijk mede bepaald door de recreatievorm die men beoefent. Rietkragen maken een oever onaantrekkelijk voor een zwemmer die vanaf het land te water wil gaan, en in het algemeen hebben baders en zwemmers bezwaar tegen water met veel planten erin. Sportvissers daarentegen liggen graag met hun bootje in het riet.

De sterk corrosieve werking van zout water is ook een nadeel voor de kostbare attributen die de watersport meer en meer vergt. Alles wat met zout water in aanraking is geweest, wordt bedekt met een laagje zout; ook baders

Natuurlijke begroeiing langs de oevers van de Ruiterslaag in het Veerse Meer



ondervinden dat, en zij zullen dus na het bad graag een zoetwaterdouche nemen.

Voor de instandhouding van voor oeverrecreatie bestemde ondiepe vooroevers biedt een zoet milieu zowel voor- als nadelen. Enderzijds zal op een aantal plaatsen de overmatige groei van riet en waterplanten noodzaken tot maatregelen, anderzijds vormt de begroeiing een fraaie secundaire verdediging, die verdere maatregelen aan de landzijde van een golfkering overbodig maakt, en een belangrijke bijdrage levert aan de instandhouding van oeverzones.

In het Veerse Meer is tenslotte gebleken dat de paalworm zich ook in stilstaand zout water zeer sterk kan ontwikkelen. De vele houten constructies in de oeverzone die met water in aanraking komen, zouden dan van paalwormbestending hout gemaakt moeten worden, wat nogal kostbaar is.

Al met al blijkt het vooralsnog moeilijk vanuit het oogpunt van de recreatie een sterke voorkeur uit te spreken voor een zout of een zoet Deltameer. De wijze waarop het Grevelingenmeer zich in de komende jaren ontwikkelt zal daarin nog wel wat meer klaarheid kunnen verschaffen. Vanuit een oogpunt van diversiteit zou te bepleiten zijn dat in een zoute Delta een zoet compartiment wordt opgenomen, en omgekeerd in een zoete Delta een zout gedeelte.

Tenslotte nog iets over de minder of meer regelmatige peilwisselingen waar wel eens voor gepleit wordt. Het in dit artikel besproken systeem van brede ondiepe vooroevers achter golfkeringen is ontworpen met als stilzwijgende vooronderstelling een vast waterpeil. Voor het Veerse Meer ligt dat peil op N.A.P., voor het Grevelingenmeer 20 cm lager. Bij een dergelijk vast streefpeil komen natuurlijk ook wel peilschommelingen voor, bijvoorbeeld als gevolg van onregelmatige lozing van het overtoellige water, of van op- en afwaaiing. Zulke schommelingen blijven doorgaans beperkt tot een centimeter of tien onder en boven het streefpeil, en op het Veerse Meer blijken ze geen hinder te veroorzaken.

Het wordt wat anders als men te maken krijgt met langer durende afwijkingen naar boven en naar beneden van bijvoorbeeld een paar decimeter. Als zulke afwijkingen weinig voorkomen betekenen ze telkens een verstoring van het heersende systeem. Brede zones zullen incidenteel droogvallen of juist onder water komen, wat afstervingsprocessen op gang brengt. Wanneer het stelsel van oeververdedigingen op zulke variaties moet worden afgestemd, kan dat inhouden dat een golfkering aanmerkelijk moet worden ver-

zwaard omdat de teen moet worden afgestemd op het laagste peil, en de kruin op het hoogste. Ook eventuele secundaire oeververdedigingen zouden er anders uit gaan zien – men zou ze moeten afstemmen op het grote peilverschil, en daarmee weer scheidingen aanbrengen tussen oeverzones met een groot hoogteverschil. Een nader oordeel over de gevolgen die peilvariaties zullen hebben voor de oeververdediging kan pas gegeven worden wanneer men weet welke variaties kunnen worden verwacht, hoe vaak, wanneer en voor hoe lang.

De peilverlaging van 70 cm die het Veerse Meer in de huidige overgangssituatie jaarlijks ondergaat in de periode 1 oktober – 1 april, blijkt voor de recreatie nauwelijks bezwaren op te leveren. Maar wanneer diezelfde peilverlaging zou voorkomen in een zeldzame droge zomer, dan zou juist tijdens goed recreatieweer de ondiepe vooroever nagenoeg droog staan. Hetzelfde verschijnsel zou dan wel aanzienlijk bezwaar opleveren.

De algemene conclusie moet zijn dat het hier voorgestelde systeem van brede ondiepe vooroevers aantrekkelijk als het is uit een oogpunt van natuurbescherming en recreatie, minder zinvol wordt naarmate de peilverschillen waarmee rekening moet worden gehouden groter zijn en naarmate ze vaker voorkomen.

Bij de Deltadienst wordt sedert een paar jaar onderzoek verricht naar de golfbeweging op meren en afgesloten zeearmen. Dit onderzoek heeft ten doel, na te gaan in hoeverre de golfbeweging op de zeearmen na de afsluiting verandert, en welke prognoses daaruit kunnen worden afgeleid voor de toekomstige golfbeweging op nog af te sluiten estuaria.

Kennis van de golfbeweging na de afsluiting levert één van de ontwerpcriteria voor de in de Deltameren aan te brengen oeververdedigingen langs zandplaten en eilandjes, en is daarnaast van belang voor het bepalen van de recreatieve mogelijkheden die elk van de afgesloten zeearmen te bieden zal hebben. Met name dient tijdig bekend te worden, of de afgesloten zeearmen geschikt zijn voor alle typen vaartuigen, – jachten, zeilboten, vissersboten – dan wel of wellicht sommige stukken van de afgesloten bekkens afhankelijk van de weersomstandigheden vanwege een zeer onrustige golfbeweging voor bepaalde schepen als gevarenzones moeten worden gemarkeerd. Het hier bedoelde onderzoek naar de golfbeweging op meren en zeearmen verloopt in fasen. Enkele fasen zijn reeds afgesloten. Vanadaar dat dit artikel een tussentijdse balans kan opmaken, en dat er enkele richtingen in kunnen worden aangegeven voor de nog uit te voeren fasen van het gehele onderzoek.

Golfbeweging op de Deltameren

Wanneer het gaat waaien over een wateroppervlak dat in rust is, ontstaat er golfbeweging, in het algemeen heviger naarmate het harder waait. Het blijkt dat door het strijken van de wind over een wateroppervlak energie-overdracht plaats vindt van de bewegende lucht op het water. De windsnelheid is echter niet de enige grootheid die het uiteindelijke golfbeeld bepaalt. Andere factoren zijn de strijklengte en de windduur. Onder strijklengte wordt de afstand over het wateroppervlak verstaan waarover de wind met constante richting en snelheid waait. Onder windduur wordt de tijdsduur verstaan waarin een constante windrichting en -snelheid voorkomen. Hoe de energie-overdracht in werkelijkheid plaatsvindt, is niet bekend. Geen van de tot nu toe opgestelde hypothesen daaromtrent bevredigt geheel. Wel is het mogelijk gebleken langs empirische weg correlaties vast te stellen tussen enkele golfkarakteristieken, zoals significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode, en de windparameters strijklengte, duur en snelheid. In ondiep water, waarvan de diepte kleiner is dan de halve golfhoogte, zodat de golven waterbeweging langs de bodem veroorzaken, worden de golfhoogte en de golfperiode gevormd door energieverlies langs de bodem, terwijl er ook richtingsveranderingen van de golfkammen zullen gaan optreden. Ook voor deze ondiepe gebieden zijn empirische correlaties bekend tussen de golfkarakteristieken en de windparameters; de waterdiepte treedt daarbij dan op als derde bepalende factor. Figuur 1a geeft, louter ter illustratie, een voorbeeld van een van de meest toegepaste golfopwekkingsgrafieken. De relatielijnen zijn voornamelijk gebaseerd

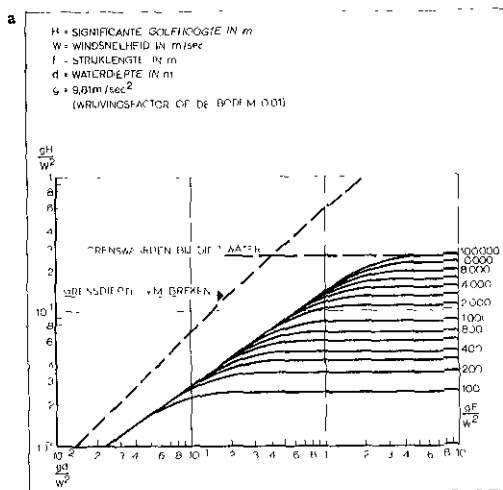


Fig. 1. Verband tussen strijklengte, windsnelheid, golfhoogte en waterdiepte boven een horizontale bodem bij onveranderlijke en langdurige windinvloed; op grond van buitenlandse metingen (a) en volgens het Waterloopkundig Laboratorium (b)

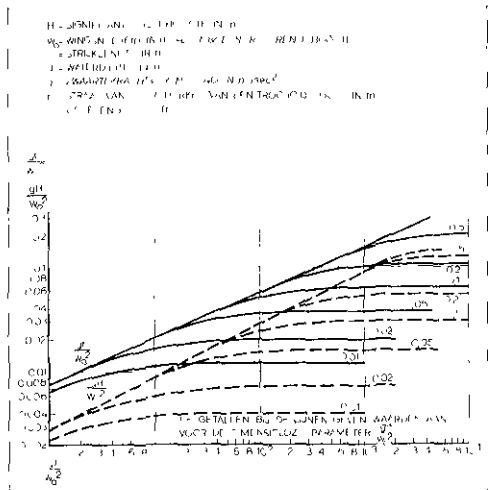
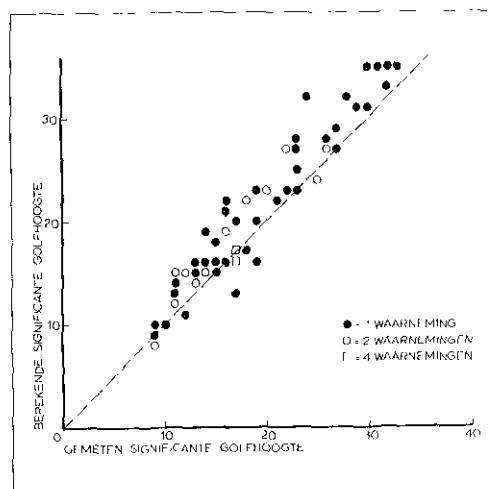
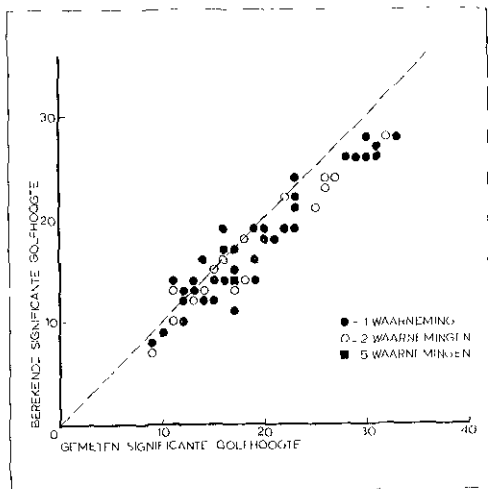


Fig. 2. Berekening van golfhoogte en -periode volgens fig. 1a (boven) en volgens fig. 1b (beneden)



op buitenlandse metingen. Ze gelden alleen boven zandige bodems. Figuur 1b geeft daarnaast een 'binnenlandse' golfopwekkingsgrafiek, voornamelijk gegrond op metingen op het IJsselmeer en in het laboratorium. De verschillen tussen beide correlaties zijn in het algemeen niet groot.

Om na te gaan of genoemde grafieken ook van toepassing zijn op de afgesloten zee-armen in Zuidwestnederland is het golfonderzoek in het voorjaar van 1970 aangevangen met een vergelijkende meting in het noordwestelijke deel van het Veerse Meer, nabij de Schotsmanplaat. Een eigenaardigheid van het proefgebied is, dat de golven er wat men noemt 'fetch limited' zijn, dat wil zeggen dat het groeien van de golven bij hogere windsnelheden beperkt wordt door de relatief kleine strijklengte (Engels: fetch betekent

De golfmetingen werden uitgevoerd met een elektrische stapenbaak in water van 5 m diepte. Tijdens de meting woel er wind uit Z.W.- tot N.W.-richtingen; de snelheid liep op tot 15 m/sec. Figuur 2, die een beeld geeft deze meting, laat zien dat er een duidelijke samenhang bestaat tussen de gemeten en de berekende waarden voor de significante golfhoogte. Wel komt de ene methode globaal 10% hoger uit dan de andere, maar er is een correlatie, evenals tussen de berekende en de gemeten golfperiode. Er wordt thans ook door de Dienst der Zuiderzeewerken golfonderzoek uitgevoerd op het IJsselmeer. Daar blijkt uit de vergelijking van metingen met berekeningen eveneens dat de golfparameters boven zandige bodems voldoende nauwkeurig volgens de genoemde golfop-

strijktijlen).

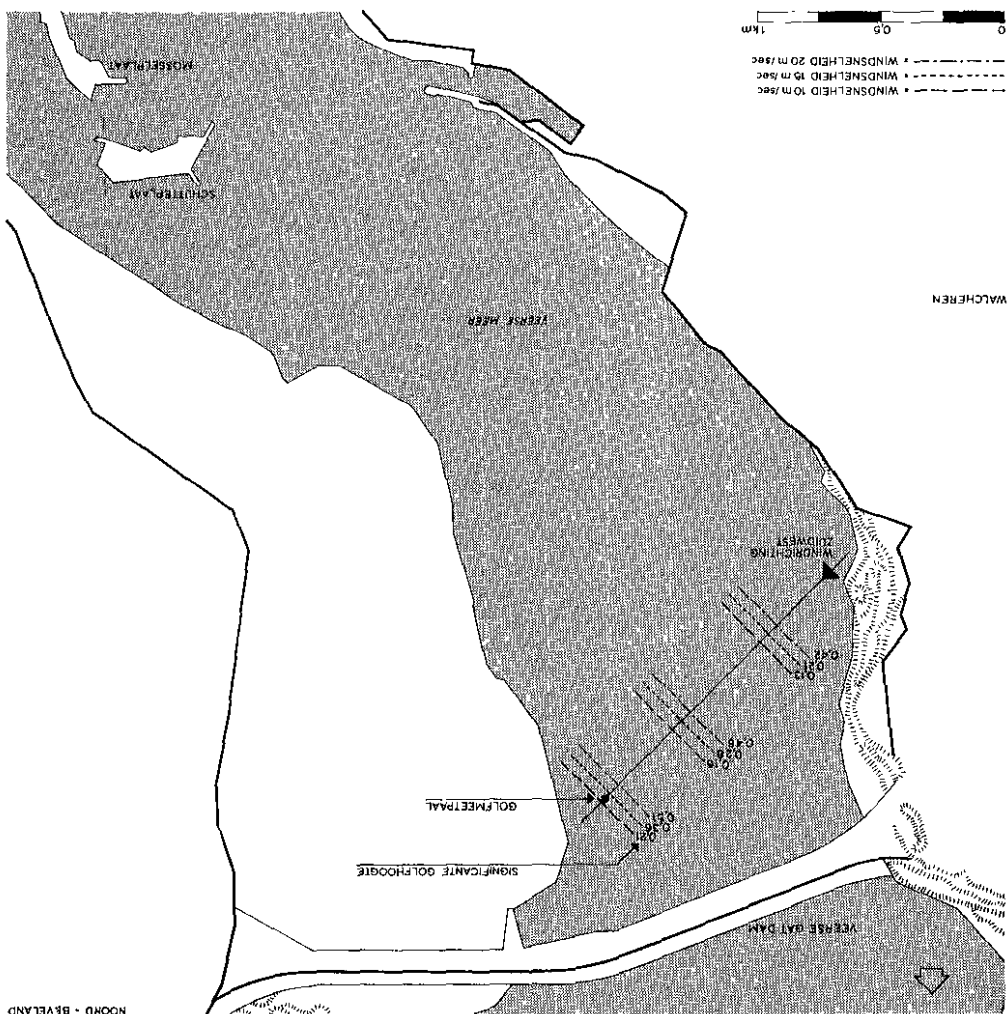
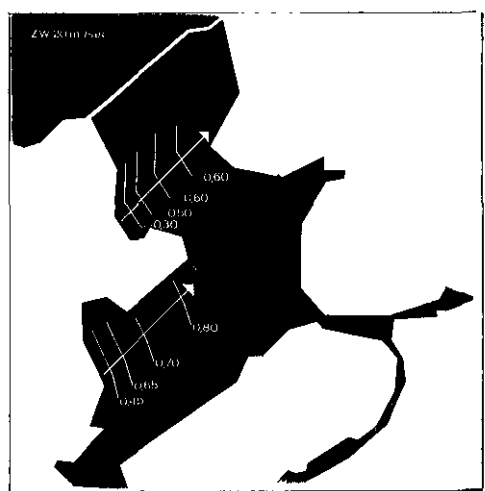
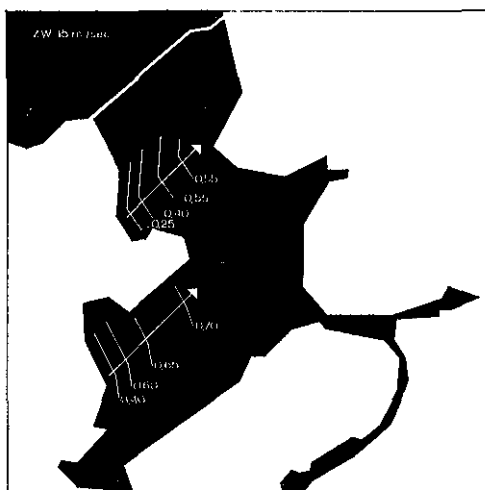
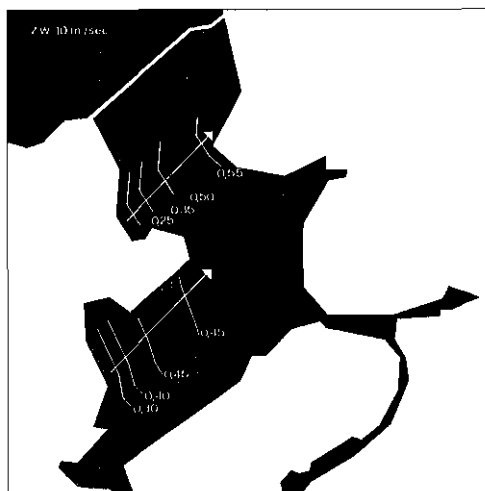


Fig. 3 (boven). Significante golfhoogten bij verschillende windsnelheden volgens de metingen van 1969 en 1970 in het Veerse Meer

Fig. 4 (rechts). Significante golfhoogten op het IJsselmeer bij verschillende windsnelheden



wekkingsgrafieken kunnen worden berekend uit de windparameters, de strijklengte en de waterdiepte.

Bij niet-zandige bodems zijn evenwel grotere afwijkingen gevonden tussen berekende en gemeten golfkenmerken.

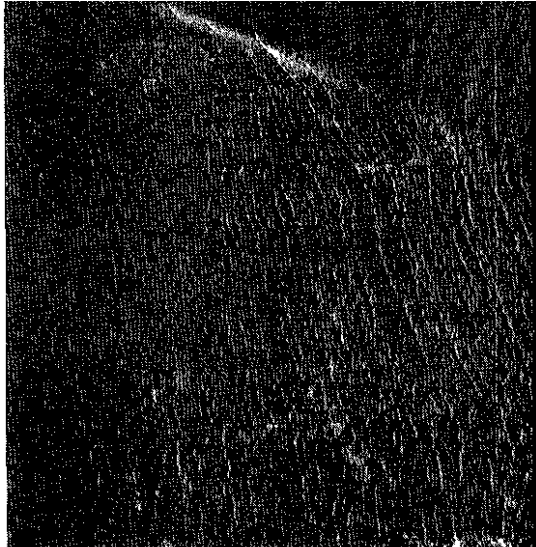
In het algemeen kan voor ons land gesteld worden dat de golfparameters op water met zandige bodems voldoende nauwkeurig kunnen worden berekend, indien althans de bodem vrij vlak en min of meer horizontaal is en mits het oppervlak in verhouding tot de strijklengte van de wind voldoende breed is. Om een indruk te geven wat voor golfhoogten er bij een niet al te hoge windsnelheden op het Veerse Meer en het IJsselmeer voorkomen, zijn de figuren 3 en 4 opgenomen, waarin de significante golfhoogten zijn weergegeven, die optreden bij Z.W.-wind van 10, 15 en 20 m/sec.

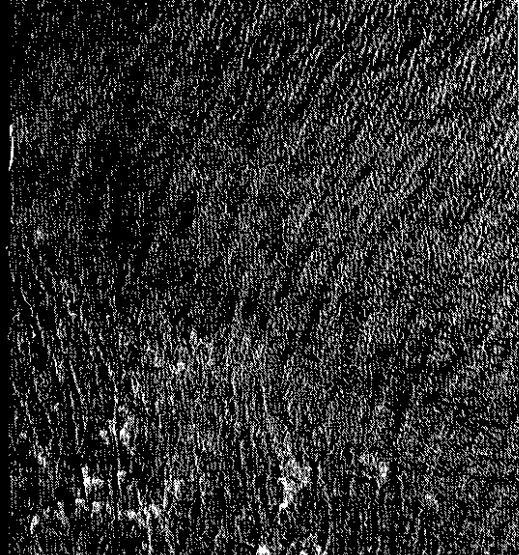
Wil men de golfparameters berekenen die bij een gegeven windsnelheid op een bepaalde plaats in een al dan niet afgesloten zeearm zullen optreden, dan staat men voor een zeer gecompliceerde opgave. Hier immers is de waterdiepte niet overal min of meer gelijk. Integendeel, het grillig verloop van de bodemvorm heeft een grote invloed op de golfbeweging. Men treft meestal een systeem aan van lange, diepe geulen tussen uitgestrekte platen of banken. Bij zo'n bodemvorm gaan verschijnselen als refractie, diffractie en reflectie het beeld van de golfbeweging vertekenen. Refractie van golven treedt op wanneer het water ondieper wordt. De snelheid van een scheef inkomende golf is dan niet meer op ieder punt van de golfkam dezelfde; de golfkam begint onder invloed daarvan te veranderen van richting. In water van gelijkblijvende diepte kan de golfkam echter eveneens van richting veranderen, en wel wanneer de golf een gebied binnendringt dat niet door het windveld beïnvloed is, of is geweest; men spreekt dan van diffractie. Terugkaatsing van golven tegen taluds heet reflectie. In de meeste gevallen treedt een combinatie op van de genoemde verschijnselen.

Daarbij komt dat de getijbeweging het beeld in open zeearmen nog weer aanzienlijk modificeert. Het verticale getij heeft invloed op de refractie- en reflectie-effecten, waardoor het voor kan komen dat gebieden die bij laagwater een bijzonder onrustige golfbeweging vertonen, bij hoogwater een veel rustiger golfbeeld laten zien. Ook kunnen de grootte en de plaats van een gebied met een onrustige golfbeweging als gevolg van waterstandsvariaties veranderen. Het horizontale getij zal de golfvorm eveneens beïnvloeden. Als de

Foto beneden: refractie en
diffractie van golven

Foto rechts: interferentie van
golfpatronen





stroom loopt in de richting van de golfvoortplanting, zullen de golven wat lager en daardoor minder steil kunnen worden; bij tegen-gestelde stroomrichting gaan de golven steiler staan. Bij stroom en wind van dezelfde richting is de schijnbare windsnelheid geringer dan die van de werkelijke wind, terwijl de schijnbare wind sterker is dan de werkelijke wanneer stroom en wind aan elkaar tegen-gesteld werken. In het westelijke deel van een open zeearm moet dan bovendien nog rekening worden gehouden met het doordringen van een deel van de golfbeweging die op de Noordzee is opgewekt.

Door de afsluiting van een zeearm wordt een aantal van de hiervoor genoemde factoren geëlimineerd. Het horizontale en verticale getij verdwijnen, evenals de golfdoordringing vanuit de Noordzee.

Ondanks de aanzienlijke reductie van beïnvloedende verschijnselen is het vooralsnog toch nog niet mogelijk nauwkeurige schattingen te maken van de golfparameters op afgesloten estuaria. De komende fasen van het golfonderzoek zullen dan ook gericht moeten zijn op het overwinnen van deze moeilijkheid. Daartoe zal onder meer de invloed van de geulbreedte op de golfopwekking en op de refractie, diffractie en reflectie, bepaald moeten worden.

Welke betekenis heeft nu de afsluiting van een zeearm als bijvoorbeeld de Oosterschelde voor de watersport? Een open zeearm kan alleen worden bevaren door een ervaren schipper met een zeewaardig jacht. Behoorlijke kennis van de stromingen in het vaarwater en van de verandering van omstandigheden die het gevolg kan zijn van plotselinge weersveranderingen, zijn zonder meer vereist.

Bij dit zeemanschap hoort ook een behoorlijke kennis van de golfbeweging en wat die gaat doen in tijd en plaats als gevolg van het wisselend spel van hoog en laag water.

Na de afsluiting krijgt de golfbeweging op zo'n zeearm ten gevolge van het wegvallen van eb en vloed en van de golfdoordringing vanuit zee, waarbij de deininggolven nog een bijzondere rol spelen, een geheel ander karakter. Een gevolg van die verandering is waarschijnlijk dat het aantal watersportliefhebbers dat van het water gebruik gaat maken, aanzienlijk stijgt. Met name zal men een sterke stijging te zien krijgen van het aantal kleinere boten. Er zal minder ervaring, en ook een minder zeewaardig schip nodig zijn, om zich op het water te durven wagen. Door drastische uitbreiding van het aantal jachthavens langs het bekken neemt de vluchtafstand voor schepen bij plotselinge weersverslechteringen aanzienlijk af.

Tocht blijft voorzichtigheid geboden. Bij bepaalde windsnelheden en -richtingen zullen sommige gebieden die vóór de afsluiting door een ervaren schipper met gebruikmaking van de afvlakkende werking van wind en stroom wel selectief konden worden bevaren, onrustiger worden, en voor bepaalde typen boten zelfs gevaarlijk. Of een gebied als gevaarlijk of alleen als onrustig moet worden beschouwd hangt namelijk niet alleen af van absolute waarden als de 'ruwheid' van het water of de interferentie van bepaalde golfpatronen, er moet ook rekening worden gehouden met relatieve factoren, zoals de golflengte ten opzichte van de scheepslengte, of, nauwkeuriger geformuleerd, van de eigen frequenties van de verschillende scheepsbewegingen ten opzichte van in de golven voorkomende frequenties.

Het stampen van een schip – dat is een draaiende beweging om de dwarsscheepse as tegen de golven in – kan bijvoorbeeld zo hevig worden, dat het schip geen voortgang meer maakt. Ook dwars op de golven kan een naar een maximum groeiende slingering optreden, het zogenaamde rollen, waarbij het schip tenslotte water gaat maken en gevaar loopt. Het verdient overweging om gebieden waar en omstandigheden waaronder onrustige of zelfs gevaarlijke golfbeweging kan optreden op kaarten ten behoeve van de pleziervaart aan te geven.

Al spoedig na het inwerkingstellen van de Haringvlietsluizen op 2 november 1970 bleek dat de zoutbelasting op het Haringvliet ten gevolge van het schutbedrijf met de Volkeraksluizen belangrijk groter was dan werd verwacht. De oorzaak bleek gelegen in het gedeeltelijk in het ongereede raken van de luchtbellenschermen. De installatie is inmiddels hersteld, en daarnaast zijn nog enkele aanvullende maatregelen getroffen in het belang van de zoutbestrijding. Sinds juli 1971 is de zoutbelasting van de Volkeraksluizen dan ook tot lage waarden teruggelopen.

Maatregelen ter bestrijding van het zoutbezwaar van de Volkeraksluizen

De grootte van de zoutbelasting die de Volkeraksluizen opleggen aan het Haringvliet, is berekend uit enkele incidentele zoutgehaltemetingen in en onmiddellijk buiten de schutkolken van de beide sluizen; en daarnaast door vergelijkingen van het continu geregistreerde zoutgehalte van het door Nieuwe Merwede en Amer aangevoerde, nog niet door de Volkeraksluizen beïnvloede oppervlaktewater met dat van het wel door de sluizen beïnvloede water van het Haringvliet bij Middelharnis. Uit deze laatste vergelijking komt in feite de zoutbelasting van de Volkeraksluizen naar voren, zoals die zich halverwege het Haringvliet, na volledige menging, manifesteert.

De aldus berekende waarden zullen in het vervolg van dit artikel dan ook als „effectieve zoutbelasting van het Haringvliet” worden aangeduid. Figuur 1 toont het verloop van de weekgemiddelden van de effectieve zoutbelasting van het Haringvliet, in de periode van de afsluiting van het Volkerak op 28 april 1969 tot 16 augustus 1972. Men ziet dat de waarden van deze belasting na het inwerkingstellen van de Haringvlietsluizen tot ongeveer de helft teruglopen. Halverwege 1971 treedt dan opnieuw een verlaging op, nu tot relatief zeer lage waarden. Dit is de verbetering waarvan in de aanhef van dit artikel sprake was. Is de periode waarover de effectieve zoutbelasting van het Haringvliet wordt gemiddeld voldoende lang, en hebben zich binnen die periode ook voldoende variaties voorgedaan in de afvoer- en getijomstandigheden, dan zal het gemiddelde van deze waarden gelijk zijn aan het gemiddelde van de in dezelfde periode opgetreden 'specifieke zoutbelasting' van de Volkeraksluizen. Deze laatste waarde

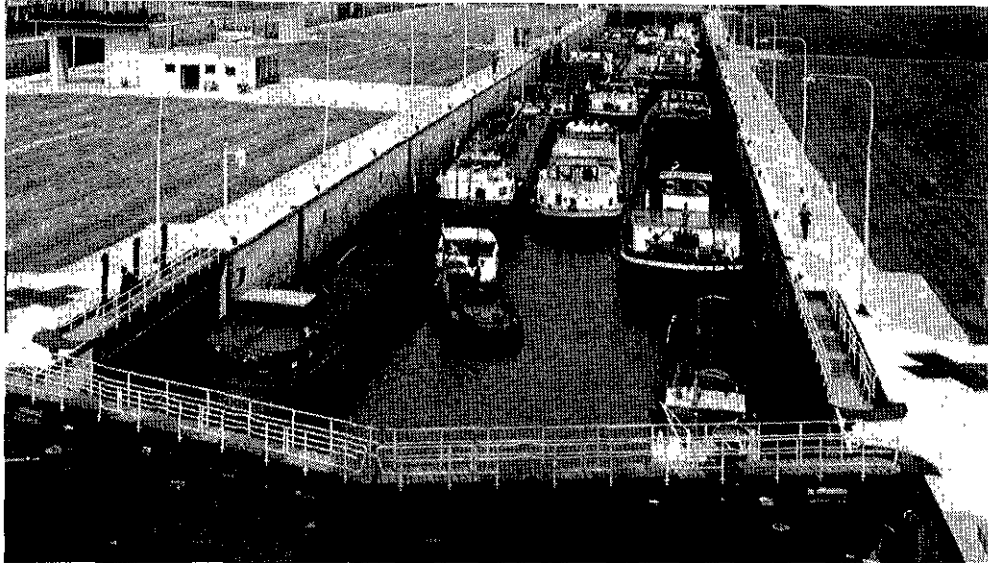
varieert als gevolg van waterstands- en dichtheidsverschillen tussen het Volkerak en het Haringvliet, het aantal schuttingen door de sluizen, de bezettingsgraad van de kolken, en dergelijke meer. Steekproeven ter bepaling van de 'specifieke zoutbelasting' van de Volkeraksluizen kunnen dan alleen redelijk representatief geacht worden, als de omstandigheden waaronder ze werden uitgevoerd, redelijk representatief waren voor de betrokken periode. Ofschoon dit moeilijk in de praktijk valt te arrangeren, is er toch bij de opzet en de uitvoering van de steekproefmetingen op toegezien dat zo goed mogelijk aan die voorwaarde werd voldaan.

Om een indruk te geven van de wijze waarop het zoute water uit het Volkerak tijdens het schutbedrijf via de sluiskolken op het Haringvliet doordringt, zijn in fig. 2 de isohalinen – lijnen van gelijk zoutgehalte – ingetekend die tijdens een elektrische-geleidenheidsmeting werden verkregen.

Het Hollands Diep als natuurlijke zoutvang van de Volkeraksluizen

De grote variaties die na het inwerkingstellen van de Haringvlietsluizen begonnen op te treden in het verloop van de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet kunnen niet zonder meer verklaard worden uit fluctuaties in de factoren die bij de bron de hoeveelheden zout bepalen die als gevolg van het schutbedrijf vanuit het Volkerak op het Haringvliet en het Hollands Diep worden gebracht. Er zijn andere invloeden aan het werk geweest.

Onderzoek heeft uitgewezen dat bij oppervlaktewater-afvoeren kleiner dan het gemiddelde slechts een beperkt deel van het zoute schut-



water direct buiten de mond van de noordelijke voorhaven meteen via het Haringvliet wordt afgevoerd. Het grootste en zoutste gedeelte van het schutwater stroomt bij lage oppervlatafvoer echter over de bodem van de voorhaven naar het Hollands Diep. Daar beweegt het zich oostwaarts, dus tegengesteld aan de oppervlatafvoer, over de bodem van een 12 tot 15 m diepe stroomgeul tussen Willemstad en Noordschans; en bij nog geringere rivierafvoer zoekt het vervolgens zijn weg over de bodem van een circa 11 m diepe scheepvaartgeul, die ten dienste van het industrieterrein bij Moerdijk is gebaggerd tussen Noordschans en Moerdijk. Deze oostwaarts gerichte dichtheidsstroming wordt veroorzaakt door de bodemfiguratie van het overgangsgebied tussen het Haringvliet en het Hollands Diep. Even ten oosten van de Haringvlietbrug treffen we namelijk een betrekkelijk ondiep gedeelte van de rivierbodem aan; de noordelijke voorhaven staat daarentegen in directe verbinding met de relatief diepe stroomgeul tussen Willemstad en Noordschans.

Het verhoudingsgewijs zware zoute water kiest de weg van de minste weerstand, en belandt derhalve in de diepe geulen van het Hollands Diep waar het door dichtheidsstromen verder rivieropwaarts trekt. Gebruik makend van de genoemde geulen weet de dichtheidsstroming vooral bij kleine rivierafvoeren zelfs langs de bovenstroomse zijde door te dringen in de betrekkelijk ondiepe stroomgeul die langs de noordoever van het Hollands Diep loopt tussen de Moerdijkbruggen en Strijensas. Illustratief daarvoor is dat al op 24 november 1970 een zoutgehalte werd gemeten van niet minder dan 600 mg

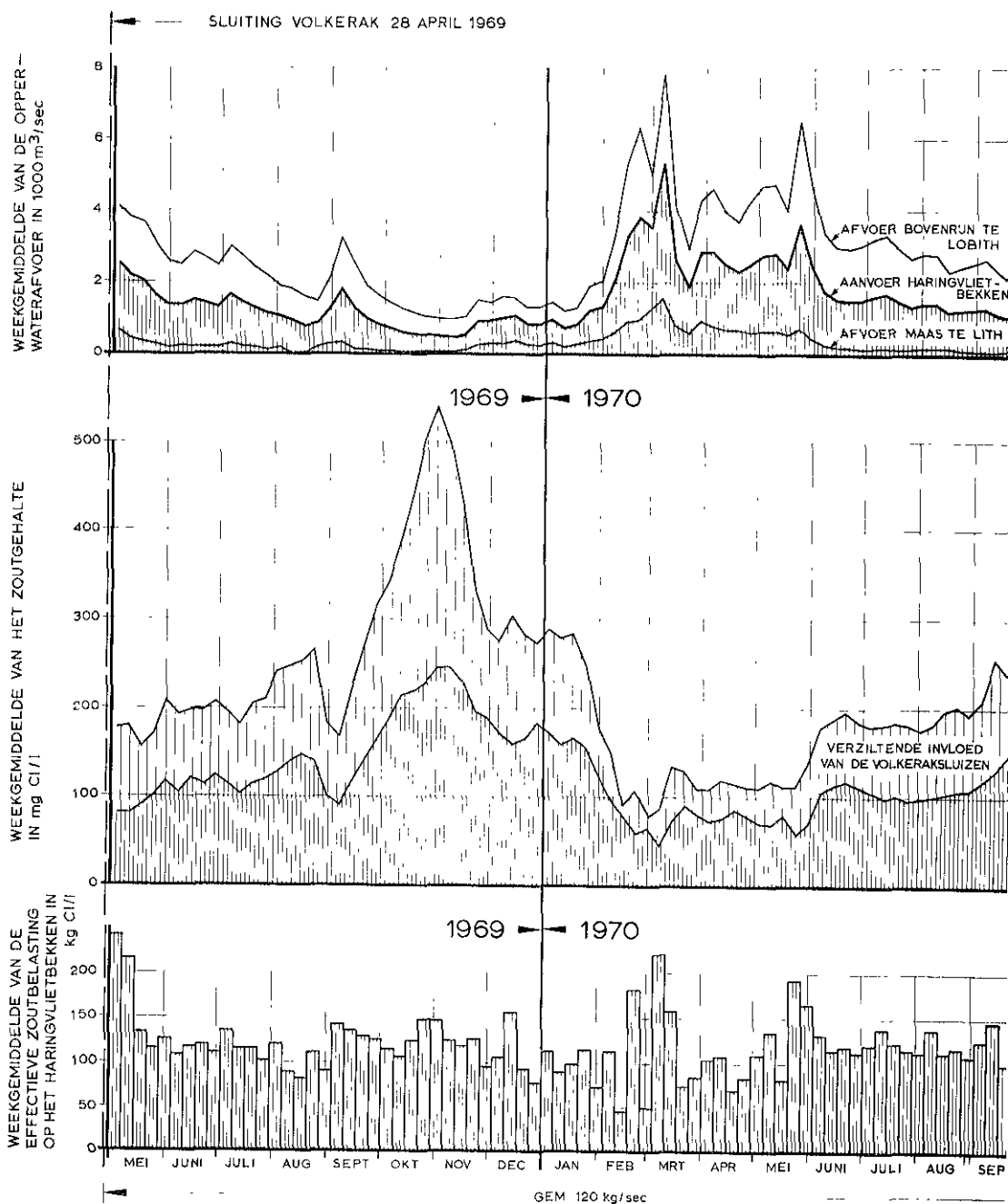
Cl/l vlak boven de rivierbodem bij de Moerdijkbruggen.

Afhankelijk van de grootte van de afvoer van Waal en Maas wordt het zoute schutwater in de diepe geulen als gevolg van door de afvoer en de wind opgewekte turbulenties en circulatiestromingen in meer of mindere mate met het er overheen stromende oppervlatafvoer gemengd, en tegelijk ermee afgevoerd. Hoe groter de rivierafvoeren, hoe meer de oostwaarts gerichte dichtheidsstromen worden afgezwakt; bij een Rijnaafvoer van 2200 m³/sec. – de gemiddelde afvoer – wordt vrijwel al het via de noordelijke voorhaven vrijkomende zoute schutwater meteen langs het Haringvliet afgevoerd.

De verschijnselen die we hierboven beschreven, zijn van een gecompliceerd karakter; zonder er al te diep op in te gaan kunnen we stellen dat de natuurlijke zoutvangfunctie van het Hollands Diep uit een oogpunt van zoutbestrijding zowel gunstige als ongunstige effecten heeft. Een en ander kan worden toegelicht aan het verloop van de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet in periode II, 2 november 1970 – midden 1971.

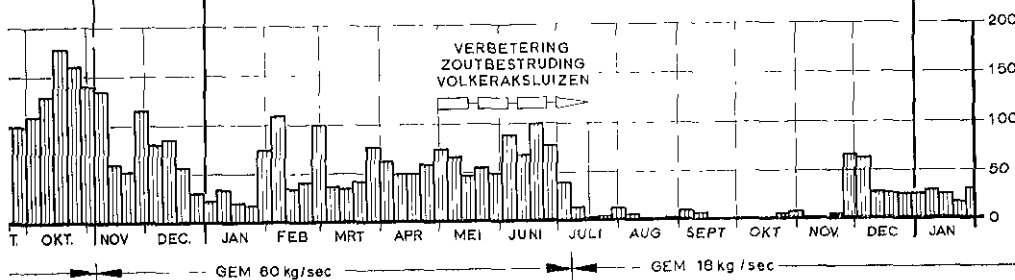
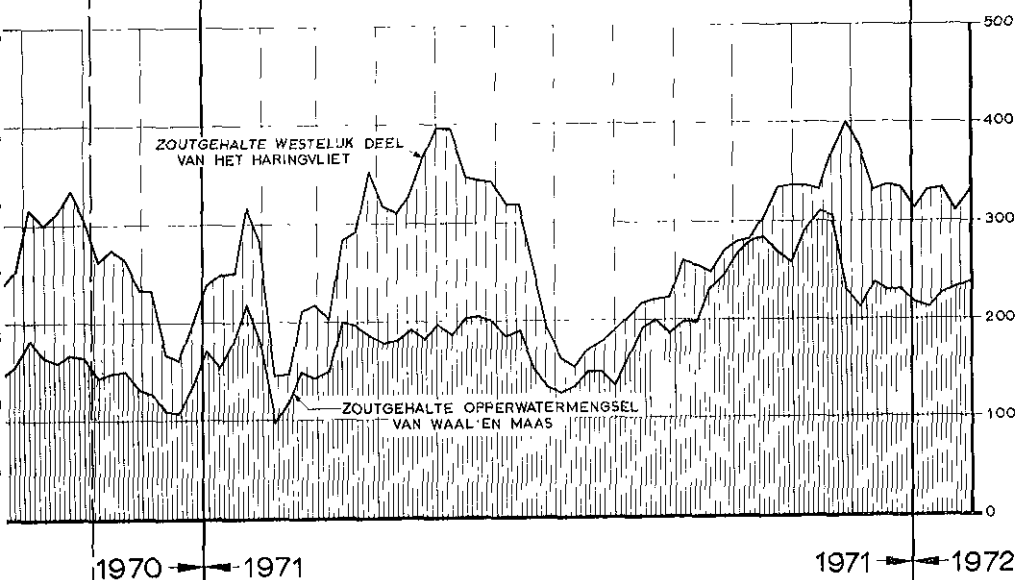
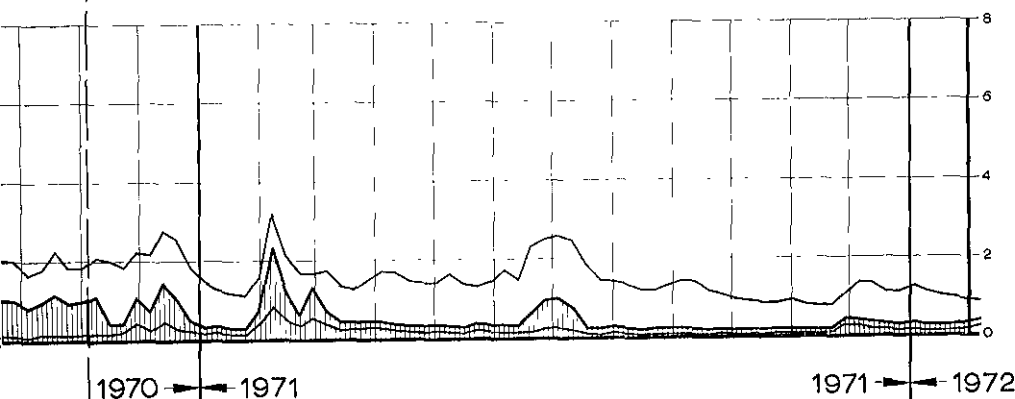
Wanneer de afvoer van de Rijn na een periode van hoge waarden daalt beneden het gemiddelde, dan loopt het 'eigen' zoutgehalte van het oppervlatafvoer vrij hoog op; maar de effectieve zoutbelasting van het Haringvliet daalt tegelijkertijd, als gevolg van de natuurlijke zoutvang in het Hollands Diep. Men krijgt dan bijvoorbeeld de in de tabel bij de IIe periode genoemde minimale waarden. Komt de Bovenrijnaafvoer binnen niet al te lange tijd vervolgens weer boven zijn gemiddelde waarde, dan zakt weliswaar het 'eigen' chloridegehalte van het oppervlatafvoer

Fig. 1 (doorlopend op blz. 94).
 Weekgemiddelden van de opper-
 waterafvoer, het zout- of
 chloridegehalte en de effectieve
 zoutbelasting op het Haring-
 vlietbekken van 28 april 1969
 tot en met 16 augustus 1972

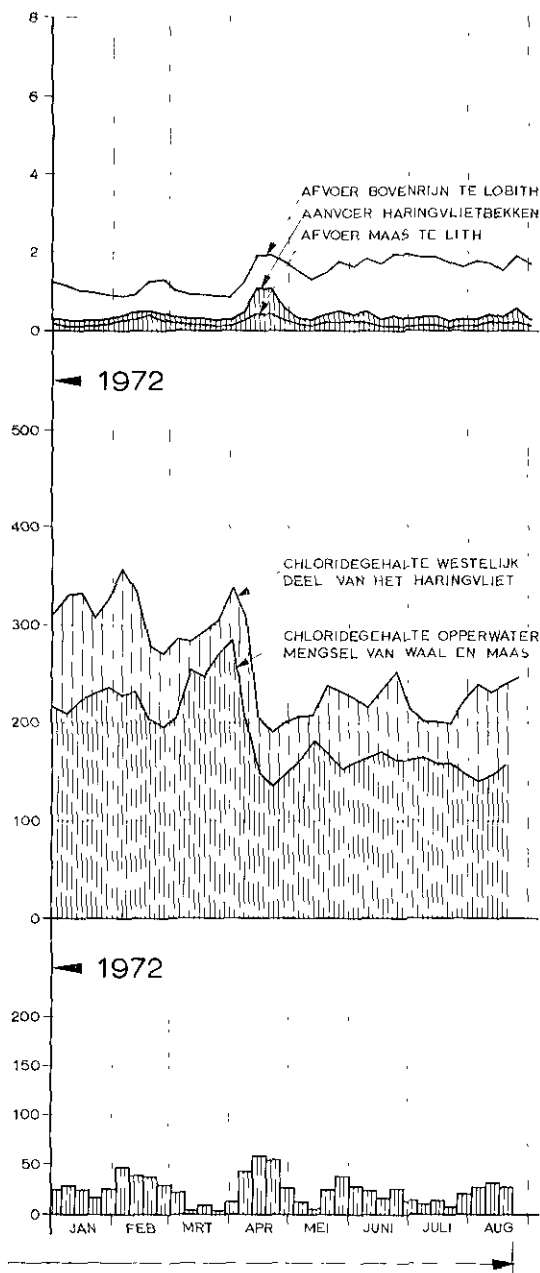


INGEBRUIKNEMING HARINGVLIETSLUIZEN

2 NOVEMBER 1970



weer tot betrekkelijk lage waarden, maar de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet neemt toe: het tijdelijk in de diepe geulen geborgen zoute schutwater wordt door de grotere afvoeren meegevoerd en bereikt dus met vertraging het Haringvliet. Tengevolge daarvan kan men juist bij grotere afvoeren een maximale zoutbelasting op het Haringvliet verwachten, bijvoorbeeld het maximum bij de IIe periode. Het 'eigen' zoutgehalte van het oppervlaktewater is dan relatief echter zo laag dat het gehalte op het Haringvliet ondanks de sterk verhoogde effectieve zoutbelasting beneden de 200 mg Cl/l blijft. Dit verloop heeft derhalve een veel gunstiger einduitwerking dan het omgekeerde: daling van de Bovenrijnaafvoer beneden zijn gemiddelde waarde. Het 'eigen' zoutgehalte van het oppervlaktewater is in dat laatste geval veelal zo hoog, dat zelfs de sterk verlaagde effectieve zoutbelasting het gehalte op het Haringvliet boven de grens van 300 mg Cl/l doet stijgen. Het ongunstigst zijn die situaties waarin de rivierafvoer langdurig en zonder veel variatie om een lagere dan de gemiddelde waarde blijft schommelen. Zo'n situatie deed zich voor in de maanden maart, april en mei 1971. De effectieve zoutbelasting stelde zich in die periode in op zijn gemiddelde waarde, ongeveer 60 kg Cl/sec, het 'eigen' zoutgehalte van het oppervlaktewater schommelde tussen 280 en 310 mg Cl/l. Het eindresultaat was, dat het zoutgehalte op het Haringvliet en het Spui opliep tot 400 mg Cl/l. Op de benedenloop van de Oude Maas liep het gehalte niet verder op dan 300 tot 350 mg/l, zulks als gevolg van de gunstige invloed van het oppervlaktewater van het bovenstroomse deel van de Oude Maas. Tijdens sterke wind kan als gevolg van dan optredende circulatiestromingen en turbulenties een tamelijk groot gedeelte van het water in de diepe geulen van de natuurlijke zoutvang gemengd worden met erover heen stromend oppervlaktewater. Even ten oosten van de Haringvlietbrug ontstaat dan als het ware een grote zoutwolk in de bovenste waterlagen, die vervolgens langzaam westwaarts trekt. Al gaande vlakkt die wolk af, dat wil zeggen dat het zoutgehalte in het centrum geringer wordt, en langs de randen toeneemt. Tegelijkertijd verspreidt de wolk zich op het brede Haringvliet over een steeds grotere oppervlakte. Op het Spui en bij de prise d'eau op de Berenplaat blijkt het voorbijrijden van zo'n wolk uit een vrij langdurige, betrekkelijk geringe verhoging van het zoutgehalte. Een bijkomend, zeer ongunstig effect van de natuurlijke zoutvang wordt veroorzaakt door het feit dat de diepe geul zich oostwaarts uitstrekt tot voorbij de mond van



Tabel – Effectieve zoutbelasting van het Haringvliet en specifieke zoutbelasting van de Volkeraksluizen

Alle waarden in kg/sec	Effectieve zoutbelasting van het Haringvliet Weekgemiddelden			Specifieke zoutbelasting van de Volkeraksluizen Kolkmetingen	
	max.	gem.	min.	gem. per etm.	datum
I. 28 april '69 – 2 nov. '70	242	120	45	ca. 135	17 aug. '69
II. 2 nov. '70 – 7 juli '71	134	60	17	ca. 32	30 maart '71
III. 7 juli '71 – 16 aug. '72	66	18	< 0	19 à 23 ¹⁾	6, 9, 19 juli en 24 aug. 1971

¹⁾ Deze gemeten waarden zijn inclusief het primaire maar exclusief het secundaire effect van het 'nacht-spuien' en het schutten met 'lekkende ebdeuren'.

de Dordtse Kil. Het gevaar bestaat dus dat ook de Kil wordt 'besmet' met het zoute schutwater; het noordelijk Deltabekken zou op die manier achterwaarts via de Oude Maas kunnen verzilten.

De hele hier besproken problematiek wordt samengevat in fig. 1. Daar valt uit af te lezen dat de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet in de drie onderscheiden perioden in wezen telkens eender verloopt, en dat de variaties steeds mede een gevolg waren van de bufferwerking van de natuurlijke zoutvang. Het verschil ligt in de grootte van de zoutbelasting van de Volkeraksluizen, en daarmee ook van de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet. In de middelste periode waren die waarden tweemaal zo hoog als in de voorafgaande. Ze daalden echter tot één zevende van die waarden nadat eenmaal bepaald zoutbestrijdingsmaatregelen bij de Volkeraksluizen waren getroffen.

Zoutbestrijdingsmaatregelen

Dat na het inwerkingstellen van de Haringvlietssluisen de zoutbelasting van de Volkeraksluizen terugliep, is voor een niet gering gedeelte te danken aan de sterke vermindering van de getijbeweging en de verhoging van de middenstand op het Haringvlietbekken. In hoeverre de luchtbellenschermen die opgenomen waren in de drempels van de schutkolken der Volkeraksluizen aan deze vermindering hebben bijgedragen, is door het ontbreken van de nodige technische en operationele gegevens thans helaas niet meer na te gaan. De vele zoutmetingen die werden uitgevoerd op het Hollands Diep, het Haringvliet en het Spui, wezen echter uit dat de

zoutbelasting van de twee schutsluizen nog ver boven het toelaatbare lag, ondanks de vermindering die vanaf 2 november 1970 was opgetreden. Na enig onderzoek bleek dat dit onder meer moest worden toegeschreven aan het nog niet operationeel zijn van de luchtbellenschermen omdat deze nog in een afbouwstadium verkeerden.

De zoutbelasting diende drastisch te worden beperkt. In de tijd tussen 1 mei en 7 juli 1971 zijn toen met kracht een aantal technische voorzieningen en operationele maatregelen doorgevoerd. Allereerst werd het systeem van luchtbellenschermen voorzien van snel te monteren tijdelijke injectiebuizen. Daarnaast werd de operationele bedrijfsvoering van de Volkeraksluizen geperfectioneerd, zodat een groter rendement van de installatie werd verkregen. Voorts werd besloten dat zolang de waterstanden op het Volkerak lager zullen zijn dan die op het Haringvliet – dus tot na de afsluiting van de Oosterschelde – 's nachts met één van de schutsluizen zou worden gespuid, en dat bovendien ten allen tijde in beide schutsluizen zou worden geschut met 'lekkende ebdeuren', dat wil zeggen met niet helemaal gesloten rinketschuiven in de betreffende sluisdeuren. Deze laatste twee maatregelen hadden beide tot doel, het water onmiddellijk ten zuiden van de Volkeraksluizen te verzoeten. Om het over de bodem van het Hollands Diep doorgedrongen zoute schutwater vlotter te laten afvoeren werd ten slotte de eerder vermelde bodemdrempel ten oosten van de Haringvlietbrug weggebaggerd. Al deze maatregelen en voorzieningen tezamen hebben als gevolg gehad dat de zoutbelasting van de schutsluizen in het Volkerak is teruggelopen tot voor deze overgangs-

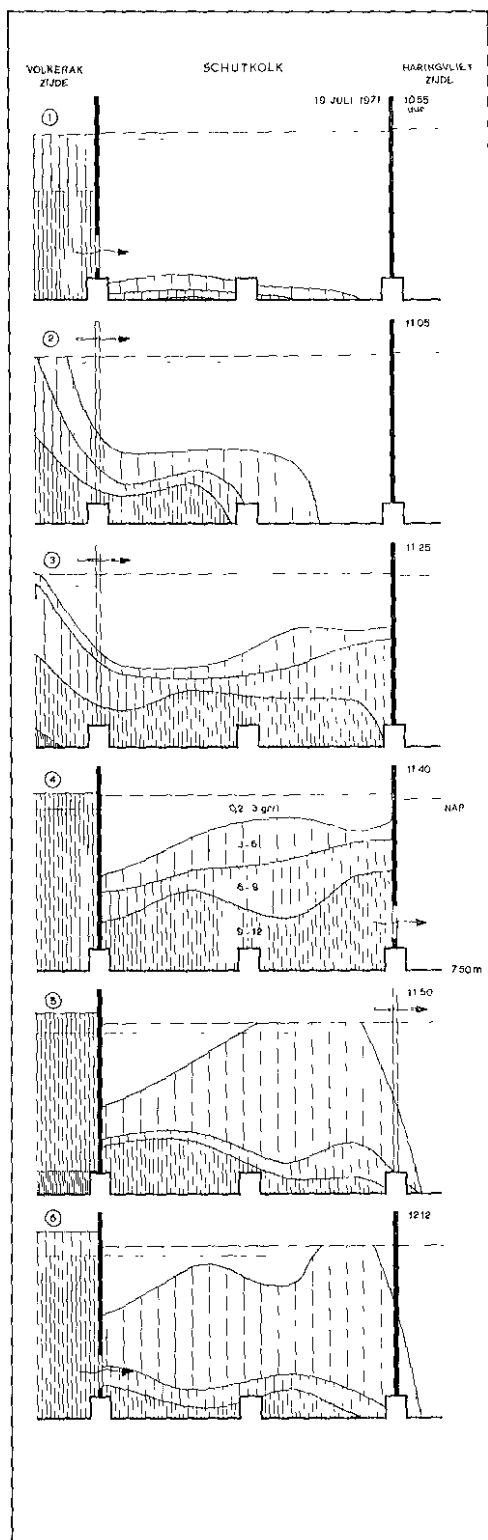


Fig. 2a. lijnen van gelijk zoutgehalte gedurende een schutcyclus; meting van 19 juli 1972 (links)

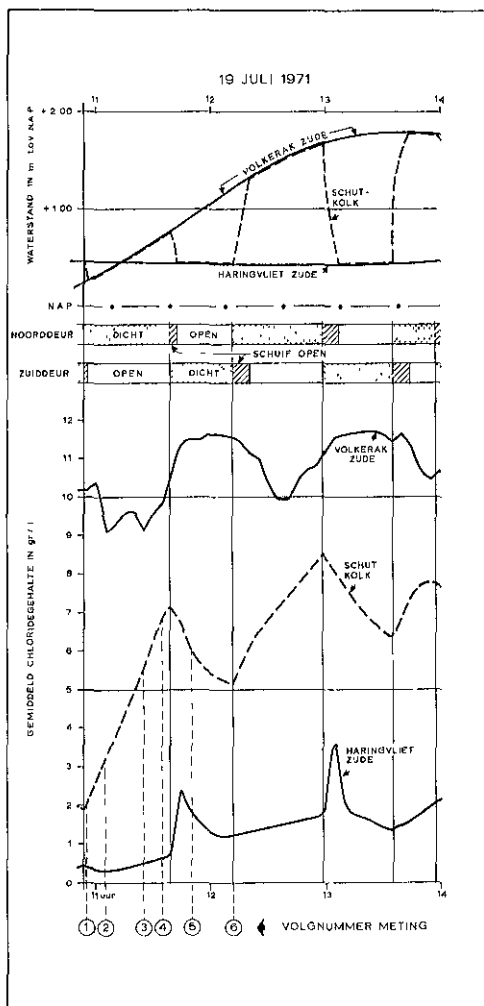
b. verloop van zoutgehalte en waterstand tijdens de meting van 19 juli 1972

periode tot aan de afsluiting van de Oosterschelde acceptabele waarden. De scheepvaart ondervindt van het nachtspuien, het schutten met lekkende ebdeuren en van de krachtige luchtbellenschermen relatief slechts weinig hinder. Sinds 1 mei 1971 werd gemiddeld 30 m³/sec. naar het Volkerak gespuid.

Door de perfectionering van het systeem van luchtbellenschermen in de zes sluishoofden verminderde de uitwisseling tussen het zoute Volkerak en de beide schutkolken en tussen de brakke schutkolken en het zoete Haringvliet; ook dat kwam de verlaging van de effectieve zoutbelasting ten goede. Het nachtelijk spuien en het schutbedrijf met lekkende ebdeuren deden het zoutgehalte aan de zuidzijde van het sluizencomplex dalen. Dientengevolge nam het dichtheidsverschil over de sluizen af, en daarmee de resterende zoutbelasting. Ook blijkt een niet onaanzienlijk deel van het ondanks de zoutbestrijdingsmaatregelen in de lange voorhaven doorgedrongen zoute schutwater tijdens het nachtelijk spuien naar het Volkerak te worden teruggevoerd.

Het zoete Haringvlietwater dat vanaf 1 mei 1971 werd afgelaten op het Volkerak, moest zich eerst met het zoute water tussen de sluizen en de Oosterschelde vermengen voordat zich een min of meer stabiele zoutgradiënt kon instellen tussen de Oosterschelde en het sluizencomplex. Dit proces verloopt, zoals men uit ervaringen tijdens en na de afsluiting van het Volkerak weet, slechts langzaam.

Het nagestreefde effect op de zoutbelasting werd dan ook pas omstreeks het midden van juli goed merkbaar, mede doordat ook de andere maatregelen en voorzieningen ver-



spreid over de maanden mei en juni werden gerealiseerd. Periode II ging dus medio 1971 geleidelijk over in periode III.

De in de aanvang genoemde kolkmetingen van de zoutbelasting werden uitgevoerd op 17 juli 1969, op 30 maart 1971, op 6, 9 en 19 juli 1971 en tenslotte op 24 augustus 1971. Er werd steeds gedurende een dag gemeten. Per sluis werd uit de laatste vier kolkmetingen een 'specifieke zoutbelasting' berekend van ongeveer 16 kg Cl⁻/sec. Overdag wordt met beide sluisen geschut; 's nachts wordt met de ene sluis geschut, en met de andere gespuid.

Houdt men vervolgens rekening met een factor 0,5 tot 1,0 voor het nachtelijk scheepvaartverkeer in de overblijvende sluis, dan kan de specifieke zoutbelasting van het hele sluisencomplex op grond van de drie punt-

metingen gesteld worden op 19 tot 23 kg Cl⁻/sec gemiddeld over het etmaal. Deze waarden liggen iets hoger dan het weekgemiddelde, zoals dat in tabel 1 voor periode III is berekend. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat het 'nachtspuien' en het werken met 'lekkende ebdeuren' naast het eerder omschreven primaire effect nog een bijkomend voordeel heeft. Een deel van het in de noordelijke voorhaven doorgebrongen zout wordt hierdoor namelijk weer naar het Volkerak teruggevoerd. Uit metingen dienaangaande is gebleken, dat de hierdoor bereikte extra vermindering van het zoutbezwaar varieert van 1 tot maximaal zelfs 5 kg Cl⁻/sec. Houdt men hiernaede rekening dan zijn de kolkmetingen van de specifieke zoutbelasting in zeer goede overeenstemming met de berekende gemiddelde waarde van de effectieve zoutbelasting in periode III.

In feite variëren het spuldeblet en het zoutgehalte van het gespuide water voortdurend, en daarmee ook het resterende zoutbezwaar. Tijdelijk kunnen daarbij waarden bereikt worden, groter dan 10 kg Cl⁻/sec; anderzijds kunnen ze soms zelfs dalen tot beneden nul. Onder invloed van de krachtdadige zoutbestrijdingsmaatregelen die sinds 1 mei 1971 bij de Volkeraksluizen worden getroffen is het resterende zoutbezwaar zo geminimaliseerd, dat de kwalitatief gunstige invloed van het Maaswater, die zich vanaf 2 november 1970 over het hele noordelijke Deltabekken doet gevoelen, slechts voor een klein deel wordt tenietgedaan.

Het zoutgehalte van het door de Volkeraksluizen beïnvloede opperwatermengsel van Waal en Maas, dat via het Spui langs de Berenplaat afstroomt op de Oude Maas, blijft zelfs bij lage Rijnafvoeren gemiddeld beneden het zoutgehalte van het Rijn- en Waalwater zelf. Vroeger passeerde bij het splitsingspunt Berenplaat alleen door de Waal en de Oude Maas aangevoerd Rijnwater. Afgezien van de eventuele verziltende invloed van de zee schommelt het zoutgehalte van het water op dit splitsingspunt nu tussen dat van het Spui en dat van de bedienloop van de Oude Maas. Zoals reeds werd opgemerkt is het resterende zoutbezwaar van de Volkeraksluizen in de bestaande overgangperiode tot kort na de afsluiting van de Oosterschelde nog net aanvaardbaar. Pas bij de afsluiting van de Oosterschelde en het inwerkingstellen van het daarin te bouwen selectieve lozingsmiddel zal deze zoutbelasting definitief tot het einde behoren.

Bij het maken van dammen in getijgebieden is in de laatste decennia in toenemende mate gebruik gemaakt van zand, dat ter dichting van een stroomgeul rechtstreeks in een sluitgat werd gebracht. Zand biedt weliswaar veel minder weerstand aan de stroom dan steen of klei, maar het is aanmerkelijk goedkoper. De steeds groeiende capaciteit van de moderne zandzuiger staat er borg voor, dat zand bij steeds grotere sluitingen voldoende snel in voldoende hoeveelheden kan worden aangevoerd.

Daarom kan in de sluitingsfase een vrij groot verlies van zand worden geaccepteerd, tot wel 25% van het ingebrachte toe. De enige voorwaarde is dat er ten allen tijde behoorlijk veel meer zand in het sluitgat achterblijft dan er door de stroom uit wordt weggespoeld.

Aanvankelijk werd het zand – we denken hierbij aan de inpoldering van het Zuid-Sloe in 1949 en aan de afsluiting van de Braakman in 1952 – alleen gebruikt als hulpmiddel bij de sluiting; de eigenlijke sluiting werd gerealiseerd met behulp van rijshouten dammen, stortsteen en klei, dan wel met caissons. Voor het eerst bij de aanleg van de bouwput voor de uitwateringssluizen in het Haringvliet werd een zanddam van grote lengte opgespoten in een getijgebied. De uiteindelijke sluiting van deze ringdijk werd vanwege de hoge stroomsnelheden toch nog uitgevoerd met gebruikmaking van caissons (Bericht nr. 2, november 1957).

Uit de verkregen ervaringen werd afgeleid dat het ook mogelijk moest zijn geulen in een getijgebied en zelfs zeegaten af te sluiten uitsluitend onder aanwending van zand als sluitingsmateriaal. Voorwaarde daarbij moest wel zijn dat de getijstroom in het af te sluiten gat niet te hoog mochten oplopen, omdat de zandverliezen anders te groot zouden worden. De zandproductie van de gezamenlijke zuigers moest ruim voldoende zijn om de verliezen te compenseren. Hoe groter de productie, hoe sneller de sluiting, en hoe kleiner het totaal verlies aan zand. Het tempo van de afsluiting kan worden vergroot door de sluitkade een minimaal profiel te geven, uiteraard met inachtneming van een behoorlijke veiligheidsreserve tegen doorbraak, wanneer tijdens de uitvoering van het werk onverhoopt een storm zou optreden. Is het sluitgat eenmaal afgegrendeld, dan kan de sluitkade verder met zand worden uitgebouwd tot de uiteindelijk gewenste afmetingen, zonder dat er nog zandverliezen door stroom optreden.

De sluiting van getijgeulen met zand

Uit het voorgaande volgt dat een aantal factoren in het bijzonder van belang is voor de bepaling of een zandsluiting uitvoerbaar is. Om na te gaan of een zandsluiting in een bepaald geval kan worden gerealiseerd, moeten allereerst de getijomstandigheden ter plaatse bekend zijn. Ook moet rekening gehouden worden met het snelheidverhogend effect van een gedeeltelijk gerealiseerde afsluiting. Voor deze doeleinden kan onderzoek in een waterloopkundig laboratorium nodig zijn. De korreldiameter moet voorts bekend zijn van het zand waarmee men van zins is de afsluiting te voltrekken; zand wordt minder snel door de stroom meegenomen naarmate het grover van korrel is. Tenslotte moet ook het aantal beschikbare zuigers en de totale capaciteit daarvan in aanmerking worden genomen.

Voor het kiezen van het tijdstip van sluiting dient men, behalve met de cyclische variaties van doortij en springtij, ook rekening te houden met de waarschijnlijkheid van het optreden van een storm. De meeste zandsluitingen zullen dan ook voltrokken worden in het late voorjaar of de vroege zomer, wanneer de kans op stormen het geringste is. Niet alleen om de mogelijkheid van een zandsluiting onder zekere omstandigheden te kunnen vaststellen, maar ook om uit verschillende denkbare afsluitingsmethoden en uitvoeringsperioden de gunstigste te kunnen kiezen, is het nodig dat men de zandverliezen vooraf berekenen kan. Een nauwkeurige rekenwijze staat voor dit doel nog niet ter beschikking. De zandtransportformule die men tot nu toe toepast, gaat uit van een constante stroomsnelheid terwijl in werkelijkheid ten gevolge van de vernauwing van het sluitgat

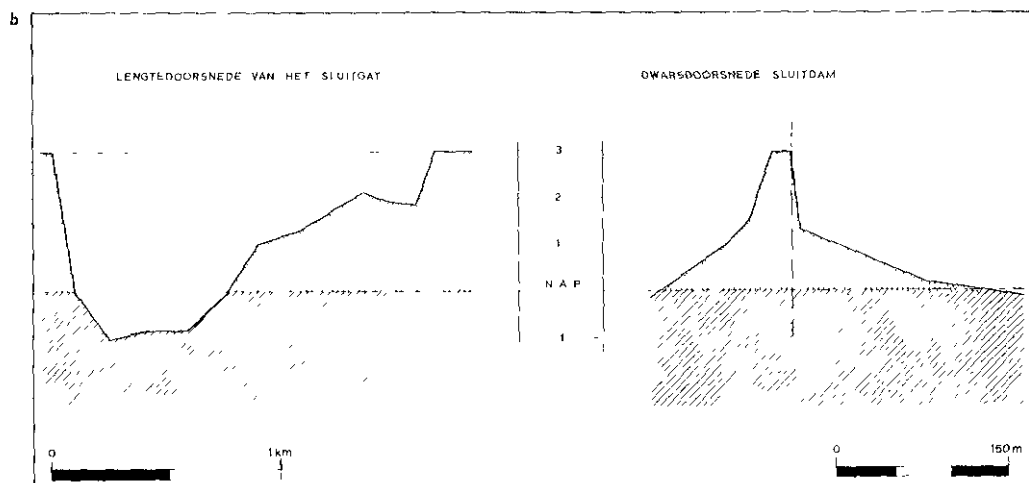
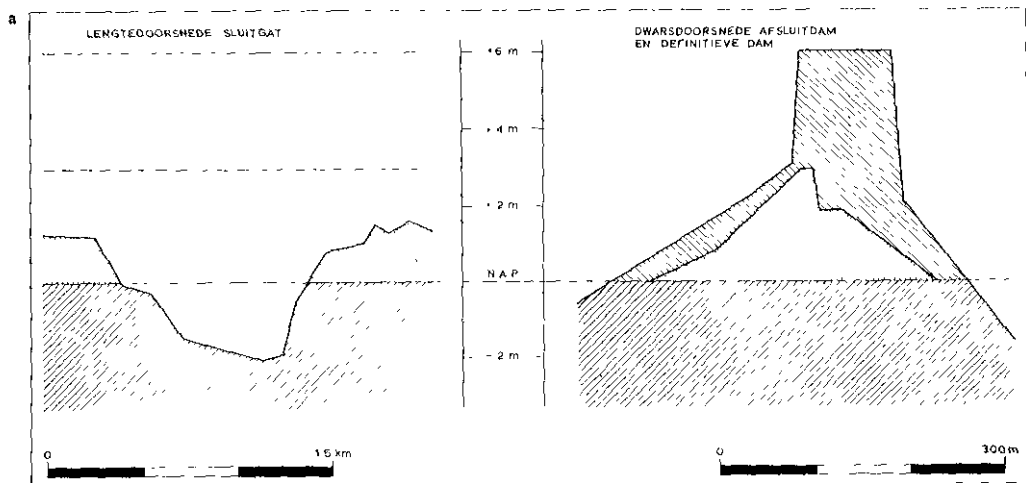
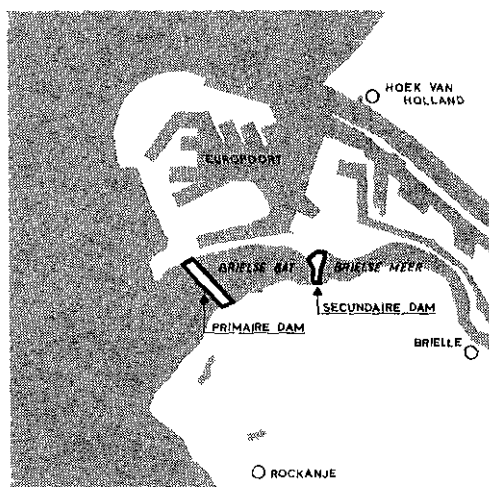
De sluiting met zand van het Brielse Gat in zijn laatste fase; bulldozers en draglines werken het profiel bij

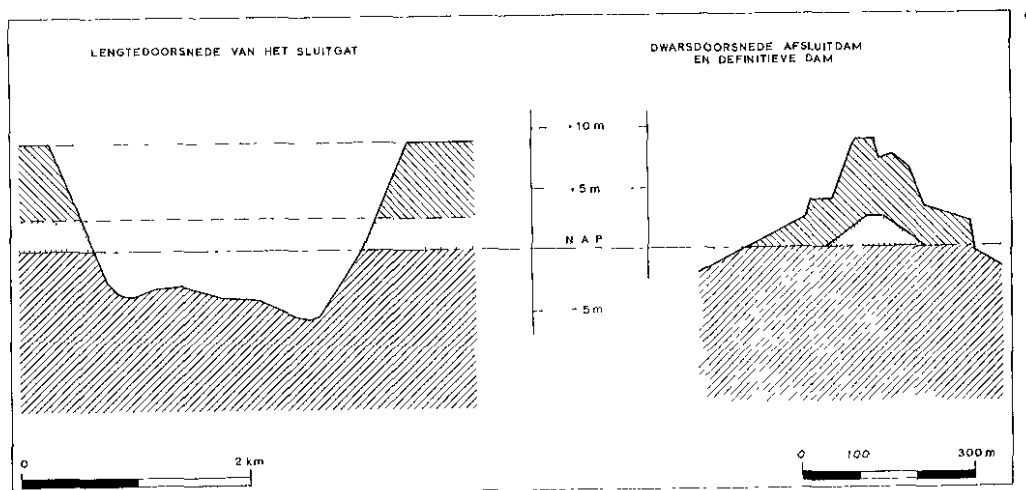
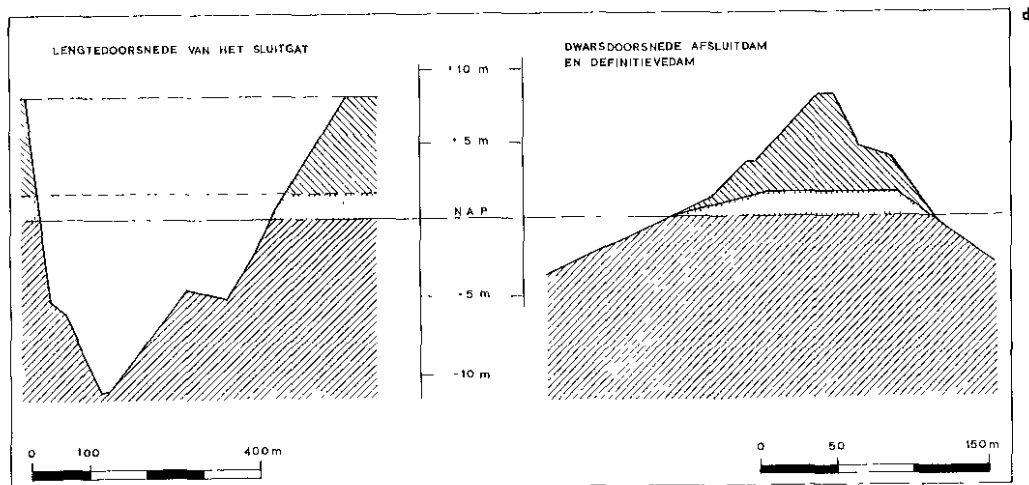
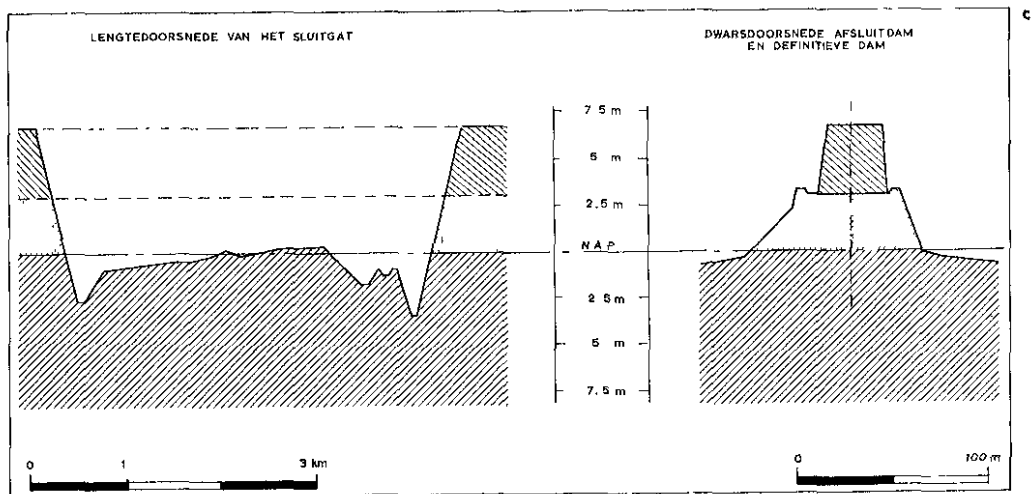


eerst een sterke toeneming en daarna een geleidelijke vermindering van de snelheden op te merken valt. Bij de huidige methode bepaalt men het vermoedelijk zandverlies dan ook door het zandtransport bij maximale stroomsnelheid in het sluitgat te berekenen en de uitkomst hiervan tot 25% van de gevonden waarde terug te brengen.

Een andere factor die de berekening van het zandverlies beïnvloedt, vormt de wijze waarop het zand wordt aangevoerd. De zuiger brengt het namelijk als zand-watermengsel op het stort. Dit mengsel wordt veel makkelijker door de stroom meegevoerd dan het bodemzand. Daarom verdubbelt men ter plaatse van het stort het berekende zandverlies. De hier genoemde rekenwijze voor de bepaling van zandverliezen is nog niet voldoende door metingen gecontroleerd; de praktijk wijst echter uit dat het mogelijk is er een redelijke schatting mee te bereiken van de vereiste zuigercapaciteit. Bovendien kan ermee worden voorspeld welke van een aantal mogelijke werkwijzen de minste verliezen zal meebrengen. Het kan bijvoorbeeld voordelig zijn om te beginnen bij het diepste gedeelte van een sluitgat en de sluiting te voltooien op een ondiep gedeelte. Ook kan het zijn voordeel hebben wanneer men werkt van één kant, zodat alleen op één stort betrekkelijk hoge verliezen moeten worden aangetekend. Met nadruk wordt hier echter herhaald dat de bedoelde rekenwijze nog vrij grof is, en dat nadere controle van de berekeningen door metingen in het werk noodzakelijk is. Al heeft de rekenmethode voor de bepaling van zandverliezen dan ook een zekere onnauwkeurigheid, in de afgelopen jaren kon ze met een succes een paar keer worden toegepast, en gaandeweg onderging ze ook enige verfijningen. Bij de eerste zandsluitingen van getijgeulen — het Ventjagersgaatje (Bericht nr. 8, mei 1959), het sluitgat in de zuidelijke toerit van de brug over het Haringvliet bij Numansdorp (Bericht nr. 19, februari 1962) — was deze rekenmethode nog in het geheel niet voorhanden. De bij deze twee sluitingen opgedane ervaringen leidden juist mede tot de ontwikkeling van die methode. Zo kon ze naderhand worden toegepast bij de zandsluitingen van het Brielse Gat (primaire en secundaire dam), van het dijkvak op de Zuidwal in de Lauwerszee (Bericht nr. 45, aug. 1968), van het Noord-Pampus in het Haringvliet (Bericht nr. 47, febr. 1969), van het Springersdiep in het Brouwershavensche Gat (Bericht nr. 48, mei 1969), en onlangs van de Geul in de Oosterschelde. Tabel I vat een aantal gegevens samen van de eerste vijf

Fig. 1. Lengte- en dwarsdoorsnede van een aantal getijgeulen die recent in de afgelopen jaren met zand werden dichtgezet: de primaire (a) en de secundaire (b) dam door het Brielse Gat, het damvak op de Zuidwal (c), door het Noord-Pampus (d) en het Springersdiep (e)





Tabel I. Gegevens van een
aantal zandsluitingen

		Brielse Gat primaire dam	Brielse Gat secundaire dam	Lauwerszee Zuidwal	Noord- Pampus	Springers- diep
Gemiddelde getij-amplitude	m	2,2	2,2	2,6	1,85	2,60
Lengte van het sluitgat	m	1820	1720	3351	400	1000
Oppervlak van het sluitgat	m ²	1120	390	4280	2430	4280
Inhoud van de afsluitdam	10 ⁶ m ³	1,19	0,22	1,04	0,75	1,62
Inhoud van de voltooide dam	10 ⁶ m ³	3,28	0,23	1,24	1,10	3,34
Totale zuigerproductie tijdens de sluiting	10 ⁶ m ³	1,72	0,27	1,56	0,97	1,87
Totale zuigerproductie voor het gehele werk	10 ⁶ m ³	3,10	0,28	1,75	1,50	3,60
Totaal waargenomen zand- verlies tijdens sluiting	10 ⁶ m ³	0,53	0,06	0,52	0,22	0,25
Totaal waargenomen zand- verlies tijdens het gehele werk	10 ⁶ m ³	+ 0,18 ¹⁾	0,05	0,51	0,40	0,26
Voor de sluiting benodigde tijd	dagen	63	36	70	37	66
Maximum aantal zuigers		2	1	3	2	3
Maximum zuigerproductie per getij	10 ³ m ³	20	10,5	16	25	25
Maximum voorspeld zand- verlies per getij	10 ³ m ³	12	6	1,48	6	7,8
Aantal zandstorten		2	1	2	1	1
Gemiddelde korreldiameter van het zand	micron	—	—	130	135	200

¹ aanzanding

genoemde sluitingen, terwijl figuur 1 het verloop van de totale zuigerproductiviteit en van de inhoud van de afsluitdammen laat zien. Er is in het algemeen naar gestreefd het profiel van de sluitkaden zo klein mogelijk te houden, zodat het werk zo snel mogelijk kon verlopen, en er zo weinig mogelijk zand verloren ging. In de praktijk blijkt echter dat de kruin minimaal 50 m of 100 m breed moet zijn, afhankelijk van het aantal persleidingen. Hoe hoog men de kruin moet opbouwen is afhankelijk van het ter plaatse heersende tijverschil en het risico van doorbraak dat men aanvaardbaar acht. In het algemeen legt men de kruin op N.A.P. + 2 à 3 m. Bulldozers blijken, vooral in de laatste fase, een belangrijke bijdrage te kunnen leveren aan het werktempo, door het dwarsprofiel van de sluitkade in de gewenste vorm te brengen.

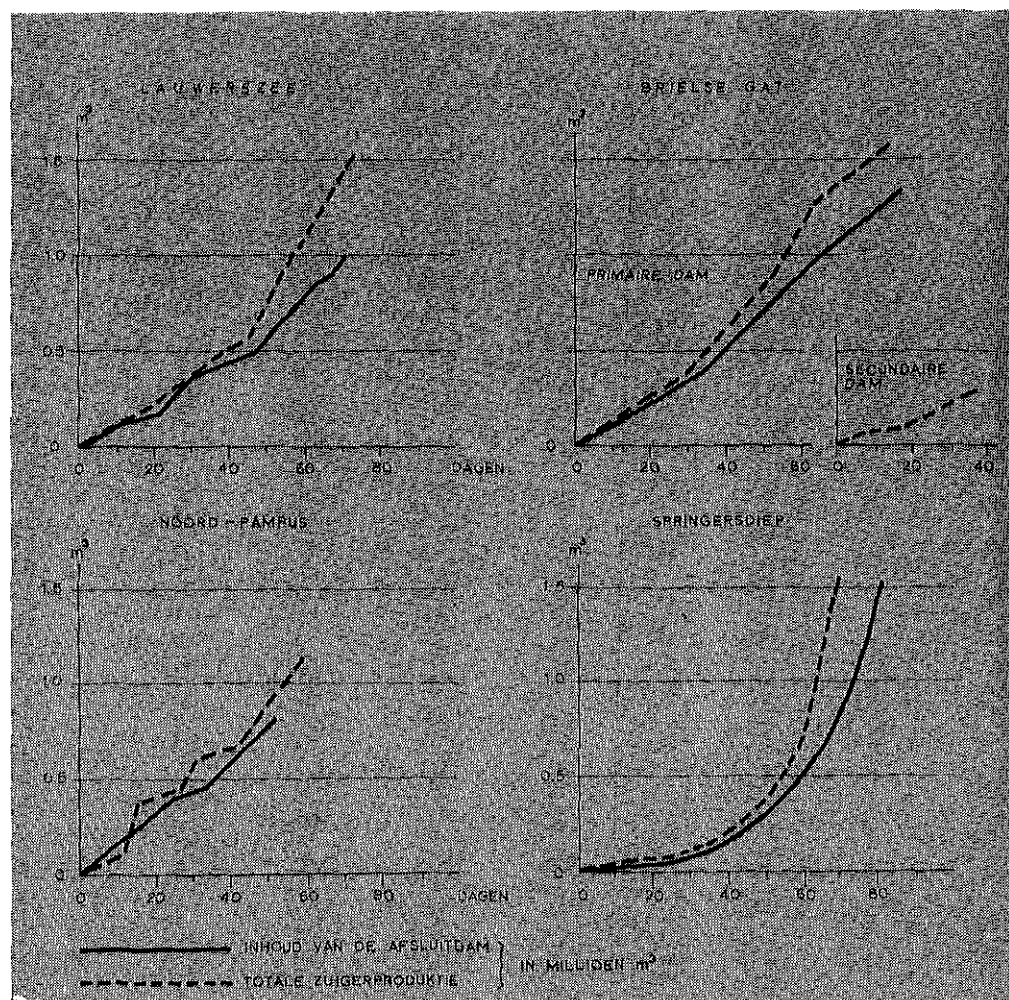
Bij het spuiten ontstaan boven water namelijk vrij flauwe hellingen; zand van 200 tot 150 µ komt te liggen onder een helling van 1 : 30. Onder water komt dit zelfde zand steiler te staan, namelijk 1 : 15 tot 1 : 20. Tabel II geeft de invloed weer die de zuigerproductiviteit in het Springersdiep naar berekening zou hebben op het zandverlies. Vergroting van de produktie leidt tot een meer dan evenredige afneming van het zandverlies en van de sluitingsduur. Figuur 3 geeft een voorbeeld van de berekende zandverliezen per getij. Het blijkt dat bij verondersteld gemiddeld getij de grootste zandverliezen optreden enige tijd voordat de afsluiting haar beslag krijgt, en dat de maximale verliezen bij eb in een vroeger stadium van de sluiting voorkomen dan die bij vloed. In werkelijkheid verloopt het verlies onder

Tabel II. Springersdiep. Berekende zandverliezen bij verschillende totale zuigerproductiviteit

Totale zuiger- productie	Tijdsduur van de sluiting	Berekend zandverlies
m ³ /week	weken	10 ⁶ m ³
230,000	5	0.50
300,000	3½	0.35
350,000	2½	0.25

Fig. 2. Verschil tussen zuiger-
productiviteit en dam-inhoud bij
een aantal zandsluitingen

invloed van variaties op het gemiddeld getij, zoals doottij en springtij, enigszins minder regelmatig dan figuur 3 voorgeeft. De meest voordelige sluitingsperiode kan worden afgeleid uit een figuur als 4, waar rekening is



gehouden met de variërende getij-omstandigheden. Hoe groot in een bepaald geval het voordeel is wanneer men eerst de diepe gedeelten van het damtracé dempt, en de sluiting voltrekt op een ondiepe plaats, laat zich verder door berekening uitwijzen.

Voor het Noord-Pampus bijvoorbeeld kwam door berekening vast te staan dat de verliezen bij een sluiting van noord naar zuid bijna twee keer zo groot zouden zijn geweest als bij de omgekeerde, ook werkelijk toegepaste, werk-volgorde.

Onder invloed van de weersomstandigheden kunnen in de praktijk toch nog belangrijke afwijkingen van de berekening voorkomen. Betrekkelijk kleine afwijkingen in de getij-beweging en daarmee in de stroomsnelheid kunnen grote veranderingen teweegbrengen in het zandverlies. Ook de golfwerking kan zijn

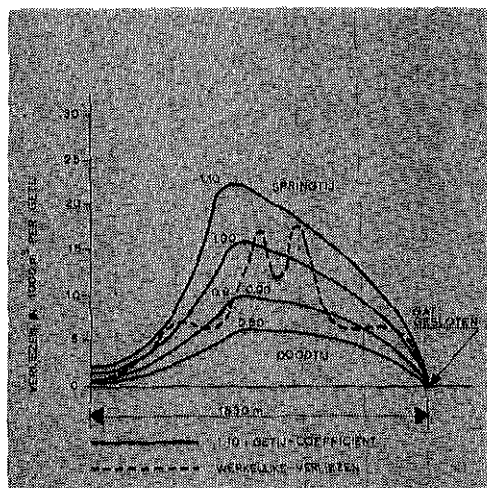
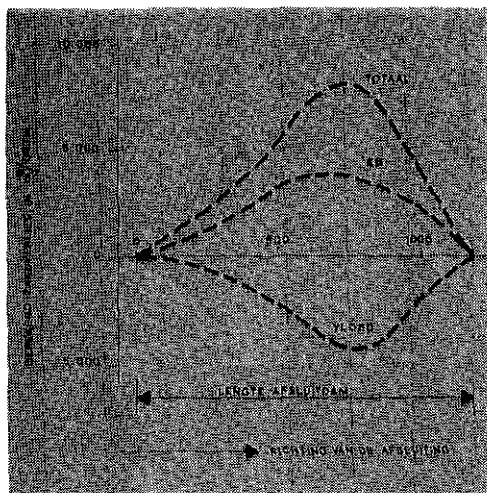


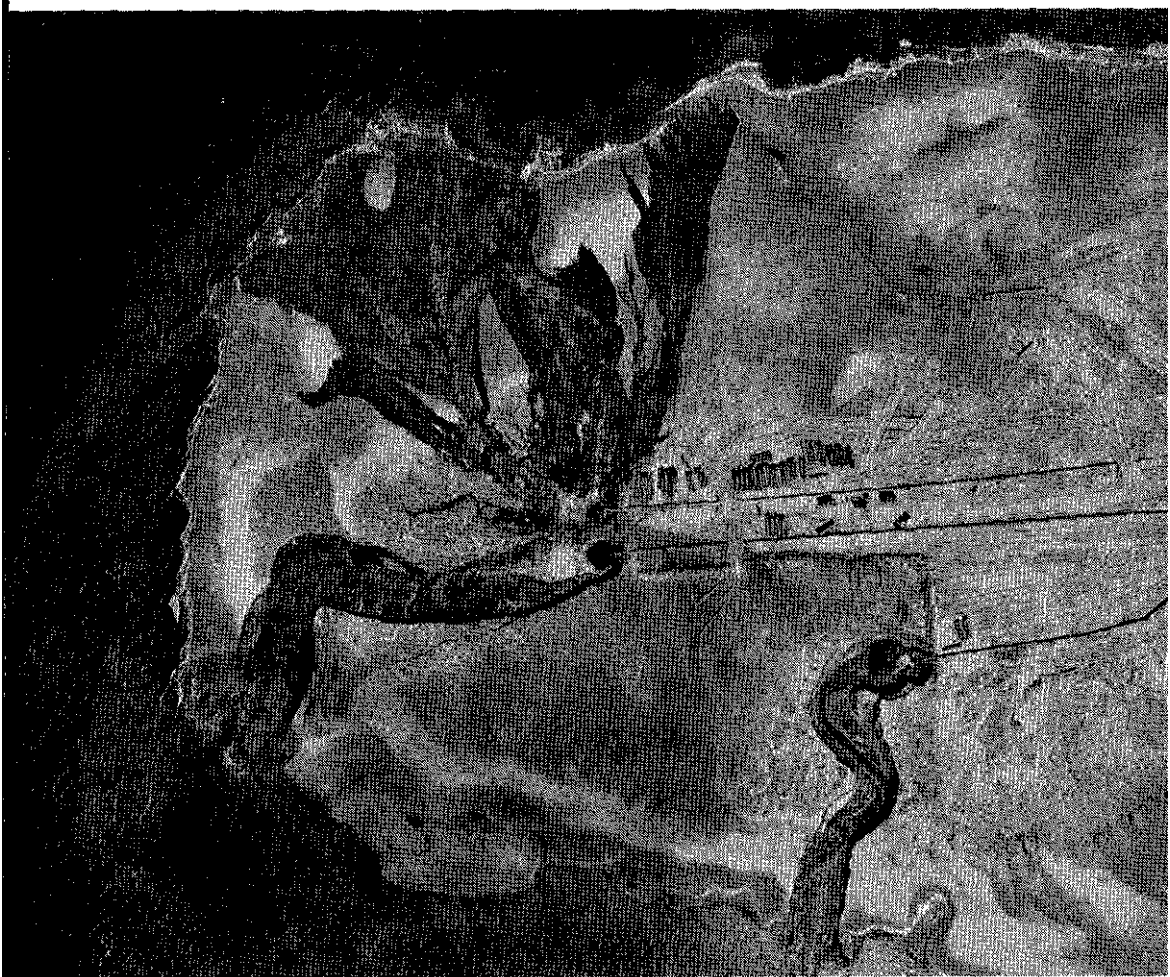
Fig 3 en 4 Verloop van de berekende verliezen aan zand tijdens een afsluiting waarbij (boven) is uitgegaan van een gemiddeld getij en waarbij (beneden) rekening is gehouden met getijvariëties

Foto links: zandsluiting van het Noord-Pampus; opname van 29 oktober 1968. Duidelijk is te zien hoe de ebstroom zand meevoert van het stort

Foto rechts: zandsluiting van de Geul in de Oosterschelde; opname van het stort op 28 juni 1972

nadelige invloed doen bemerken. Mede om deze redenen dient men te zorgen voor een zandproduktie die tenminste enkele malen groter is dan het berekende verlies. Wel moet bedacht worden dat een deel van het zand dat voor de afsluitdam verloren gaat, dichtbij op de bodem wordt afgezet, en zo uiteindelijk toch weer binnen het damlichaam valt. Voor de sluitingsoperatie heeft dit zand dan geen betekenis gehad, maar dat wil nog niet zeggen dat het in de economie van het gehele werk niet zou meetellen. Datzelfde geldt voor het materiaal dat onder invloed van de golfwerking tijdens het spuiten verplaatst wordt naar diepere geulgedeelten in de nabijheid van de dam. Een ander soort verlies wordt geleden wanneer materiaal met een zeer kleine diameter verloren gaat. Omdat dit gemakkelijk

door de stroom wordt meegenomen, vindt men er niets meer van terug. Zo moet het in winzand voorkomende slib, dat wél meetelt in de produktie van de zuigers, grotendeels als definitief verloren worden beschouwd. Ondanks de onnauwkeurigheden in de rekenmethodes die men thans gebruikt, kan toch met een voor de praktijk voldoende nauwkeurigheid worden geraamd welke zandproduktie in een bepaald geval nodig is, en kunnen bovendien belangrijke aanwijzingen worden verkregen ten aanzien van de te volgen werkwijze en te prefereren sluitingsperiode.



Vorderingen

A. De werken van het Deltaplan

Haringvliet

Begin juni werd een begin gemaakt met de opruimingswerkzaamheden van de werkweg op het Voorne strand en de buitendijkse gronden tussen het 'Voorne plateau' en de werkhaven te Hellevoetsluis. Deze weg werd aangelegd voor de aanvoer van materialen en materieel t.b.v. de afsluitingswerken van het Rak van Scheelhoek. Met de eigenaren van de gronden werd destijds overeengekomen dat het terrein na het voltooien van de werken weer in zijn oorspronkelijke staat zou worden teruggebracht. Half juli kwam het werk gereed.

De werkzaamheden aan toeleidingsgeul, stortbedden en waterkering bij de inlaatsluis van de Zuiderdiepboezem bij Dirksland werden eveneens half juni voltooid en opgeleverd. Het montagewerk ter versteviging van de vangrail-constructie op de verkeersweg over de uitwateringssluizen werd half mei opgeleverd. De bouw van de vijf lossteigers voor vissersschepen in de buitenhaven bij Stellendam werd in augustus voltooid.

Volkerak

Voor het verlengen van de bestaande overbrugging van de te bouwen derde schutsluis moeten eerst een pijler en een landhoofd worden gebouwd. Om deze werkzaamheden te kunnen uitvoeren wordt thans 150 000 m³ grond ontgraven.

De bouwput voor de derde sluis is inmiddels met behulp van een bronbemaling geheel drooggezet. Men is begonnen de

bouwput tot de aanlegdiepte van de sluis verder te ontgraven. De bronbemaling voor de bouwput van de inlaat- en jachtersluis werd in de verslagperiode geplaatst; de bemaling is thans in volle gang. Zodra deze bouwput droogvalt zal worden begonnen aan het op diepte ontgraven ter plaatse van de pijlers van de inlaatsluis en de pijlers van de ernaast liggende overbrugging. Daarna zal een grondverbetering worden toegepast. Inmiddels is ook begonnen met de opbouw van een betonmortelininstallatie.

Brouwershavense Gat

De aanleg van de afsluitdam in het Brouwershavense Gat is voltooid. Op 3 oktober, dat wij zeggen 3 maanden eerder dan in de overeenkomst was voorgeschreven, is door de aannemerscombinatie, de N.V. Dijkbouw, het laatste gedeelte van de dam opgeleverd. De bouw van de dam begon in 1965 met de aanleg van een damvak op de Middelplaat en is nu, ruim 7 jaar later, voltooid. Behalve dat de dam de veiligheid van het achterland bij stormvloed verzekert, heeft hij ook een recreatieve en een verkeersfunctie. Dit bleek overduidelijk in het afgelopen zomerseizoen; opvallend was

De voltooide Brouwersdam gezien van zuid naar noord; opname van 9 augustus 1972



dat de meerzijde van de dam meer recreanten trok dan de zeezijde. Het goede viswater dat de Grevelingen blijkbaar is, trok honderden hengelaars die over de gehele lengte van de dam verspreid hun geluk beproefden. In de komende tijd zijn nog enkele kleine werkzaamheden te wachten. Zo zal nog dit jaar een beplanting worden aangebracht volgens een in samenwerking met het Staatsbosbeheer opgesteld plan en zullen ter plaatse van de verkeers- en de voetgangerstunnel op Schouwen en van de voetgangers-tunnel bij Goeree vangraals

worden aangebracht ter verhoging van de veiligheid van de weggebruiker. Volgend jaar zal de hoofdverharding van een deklaag worden voorzien.

Oosterschelde

Bij de damaanzet tegen de Noordbevelandse oever kwam in deze periode de gehele beklading aan de zeezijde tot N.A.P. + 8 m, bestaande uit betonblokken en asfaltbeton, nagenoeg gereed.

Een aanvang werd gemaakt met het aanbrengen van een ver-

harding op het zandlichaam door cementstabilisatie. De werkhaven wordt verder op diepte gecutterd en zal binnen enkele weken gereed zijn. De onderbouw van de noordelijke schermdam kwam gereed; hierop is een gedeelte van de bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat overgebleven betonblokken aange-

Zandsluiting van De Geul in de Oosterschelde; foto d.d. 28 juli 1972



bracht als golfbescherming. De werkzaamheden vorderen goed. De werkzaamheden aan het damvak tussen de werkeilanden Noordland en Neeltje Jans zijn tot nu toe eveneens voorspoedig verlopen. Op 18 juli was het zandsputten voor de dichting van de Geul, waarmee op 1 juni was begonnen, zover gevorderd, dat bij laag water een verbinding tot stand was gekomen. Op 20 september was alle benodigde zand, 5 600 000 m³, aangebracht. De verdediging aan de zeezijde, bestaande uit kraagstukken, damwanden en gepenetreerde stortsteen tot

N.A.P. + 6,5 m, kwam over de gehele lengte van ongeveer 2 km gereed. Met de asfaltbetonkleding boven N.A.P. + 6,5 m werd een aanvang gemaakt. De werkweg van grindasfaltbeton kwam over de gehele lengte gereed. Aan de binnenzijde van het damvak werd een aanvang gemaakt met het maken van kraagstukken en teenconstructies en met het leggen van betonblokken tot N.A.P. + 4 m. De bovengenoemde werkzaamheden zijn tot de helft gevorderd.

zo'n verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt, dat de anders noodzakelijke waterdichte afheilingen, bronbemalingen en wat meer nodig is bij ontgravingen tot 4 m beneden de waterstand, achterwege kan blijven. Langs het zeewaterbassin zijn in de afgelopen periode gobilmatbekledingen aangebracht. De werken zijn, behoudens de aansluitende werken bij de inlaatsluis en de uitlaatconstructie, voltooid.

Inlaatsluis en uitlaatconstructie in de zeedijk van het waterschap Texel

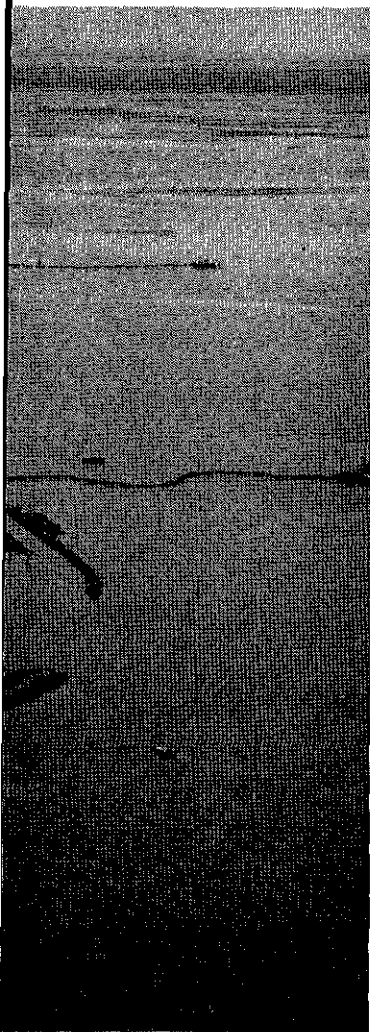
Het betonwerk van de uitlaatconstructie is voltooid. De vier bodemdelen voor de gewapendbetonnen vloer van de inlaatsluis zijn gestort. De aanslagframes voor de elektrisch bediende afsluitkleppen en de terugslagkleppen zijn gesteld en gedeeltelijk ingebetonneerd. Het bekistingswerk voor het overige betonwerk vindt voortgang. De heilwerken van stalen damwand in zee zijn thans voltooid. Er zijn gewapendbetonnen deksloven en overstortdrempels op aangebracht. De werken aan de zeedijk zijn in uitvoering. De zinkwerken zijn, behoudens enige aansluitingen, voltooid. De geleideschermen in het zeewaterbassin werden afgewerkt. De bodemvoorziening van het stortbed is grotendeels klaar. De aangebrachte bekleding wijkt enigszins af van het bestek. Wel zijn de rietmatten en de in het werk gevlochten matten conform het bestek aangebracht, maar de bestorting van zinksteen, gepenetreerd met gietasfalt, is op verzoek van de directie van de elektriciteitscentrale annex waterfabriek vervangen door een bodembekleding van in het werk gestorte stampbetonblokken. De aldus verkregen zeer vlakke bodem is nu geschikt om in de toekomst mechanisch gereinigd te worden. Verwacht wordt namelijk dat zich op de bodem aanmerkelijke hoeveelheden door de vuilvanger gekeerde algen, wieren en kwallen zullen ophopen.

C. De werken ten noorden van Hoek van Holland

Werkhaven en zeewaterbassin op Texel

De werkhaven is thans grotendeels in den droge ontgraven. Op de hoofdwaterkering langs de werkhaven en langs het zeewaterbassin is de kleibekleding aangebracht, die nu verder met teelaarde wordt afgedekt. De remmingwerken aan de kadebeschoeiingen zijn voltooid, evenals het heilwerk aan de haventoeegang; daar zijn de remmingwerken in uitvoering. Een gedeelte van de bestaande zeewering wordt zeewaarts verplaatst. De oeververbindingen en steenbestortingen met gedeeltelijke asfaltpenetratie zijn behoudens enige aansluitingen voltooid. Met het aanbrengen van de koperslakkeibekledingen is aangevangen.

Achter de westelijke beschoeiing van de werkhaven wordt een modern peilmeetstation gebouwd. De peilmeetput van stalen damwandplanken is geheel, en de op N.A.P. - 3,50 m te leggen stalen toevoerbuys wordt thans uitgevoerd. De onderbouw van dit aanvullende werk kan met zeer grote kostenbesparing worden uitgevoerd. De ontgraving in den droge van de werkhaven heeft namelijk



Opgave van bestede en gegunde bestekken en gesloten ondershandse overeenkomsten

Opgave van door het Rijk ten behoeve van de uitvoering van de Deltawerken gesloten overeenkomsten

DED-1385 3 mei 1971

Het vervaardigen en leveren van 10 stuks stalen frames voor het transport van betonblokken ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat Aannemingssom f 40 000,- Aannemer n.v. Staaikonstruktie Apparatenbouw en Scheeps-reparatiebedrijf 'Helievoet' te Helievoetluis

DED-1387 19 mei 1971

Het huren van een gedeelte v.g. perceel, kadastraal bekend gemeente Schiedam, sectie N, nr. 365 Aannemingssom eenheids-prijzen Aannemer n.v. Tankers' Schoonmaakbedrijf Tanker-cleaning te Schiedam

DED-1389 6 mei 1971

Huren van de motorvlet 'Jumbo' ten behoeve van de Waterloop-kundige afdeling van de Deltadienst Aannemingssom eenheids-prijzen Aannemer n.v. Handels- en Scheepvaartbedrijf W van Laar en Zonen te Soest

DED-1390 9 december 1971

Het maken van afsluitdammen door de stroomgeulen 'Kous' en 'Brouwerhavensche Gat',

van wegen en bijkomende wer-ken onder de gemeenten Goede-reede, Middenschouwen en Brouwershaven Aannemingssom f 46 500 000,- Aannemer n.v. Aanneming Maatschappij 'Dijksbouw' te Rijswijk (Z.H.)

DED-1329a 2 juni 1971

Wijziging van overeenkomst DED-1329, leveren van Duitse mijnsteen ten behoeve van de Deltawerken Aannemingssom eenheids-prijzen Aannemer n.v. Utroma te Arnhem

DED-1392 2 augustus 1971

Het leveren van loodslakken ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat Aannemingssom. eenheids-prijzen Aannemer n.v. Handels- en transportonderneming W de Beyer te Arnhem

DED-1393 29 juli 1971

Het leveren van steenkorven en binddraad ten behoeve van de afsluiting van het Brouwers-havensche Gat Aannemingssom: eenheids-prijzen Aannemer. Technisch Handels-en Adviesbureau M. E. F. de Looff te Capelle a/d IJssel

DED-1394 29 juni 1971

Leveren van grind ten behoeve

van de afsluiting van het Brouwerhavensche Gat Aannemingssom. eenheids-prijzen Aannemer: n.v. Utroma te Arnhem

DED-1396 27 juli 1971

Het leveren en plaatsen van de stoomlier met twee trommels op de drijvende bok 'Ursus' van de Deltadienst Aannemingssom. f 20 000,- Aannemer n.v. Arie Rijdsijk-Boss en Zonen te Hendrik Ido Ambacht

DED-1279a 17 september 1971

Wijziging van overeenkomst DED 1279 voor het verlengen van het damvak op de Kabbelaars-bank en het aanbrengen van een bodembescherming in de stroomgeul 'Kous' met bij-komende werken, onder de gemeenten Goedereede, Middenschouw en Brouwers-haven Aannemingssom. f 12 034 117,- Aannemer: n.v. Aannemings Maatschappij 'Dijksbouw' te Rijswijk (Z.H.)

DED-1397 25 mei 1971

Voorlopige overeenkomst voor DED-1390, voor het dichten van de twee sluitgaten in de Brouwershavensche Gat-dam en het uitvoeren van de daarmee verband houdende damwerken en bijbehorende weg- en bij-komende werken onder de gemeenten Goedereede, Middenschouwen en Brouwers-haven Aannemingssom f 46 500 000,- Aannemer n.v. Aannemings Maatschappij 'Dijksbouw' te Rijswijk (Z.H.)

DED-1400 4 augustus 1971

Het verplaatsen van een Romneyloods van het kabel-baanstation Scharendijke naar de werkhaven Schelphoek en het leveren en plaatsen van twee nieuwe Romneyloodsen Aannemingssom f 85 000,- Aannemer: Aannemingsbedrijf 'Schouwen-Duiveland' te Zierikzee

DED-1402 13 oktober 1971

Huur van twee dieselpompen ten behoeve van de uitwatering van een gedeelte van het grondgebied van de Vereniging van Aanwassen onder Fijnaart en een gedeelte van het grondgebied behorende bij het Waterschap 'De Striene' te Klundert in de gemeente Willemstad
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: P. C. Klein te Willemstad

DED-1403 17 mei 1971

Leveren van rijsmaterialen ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: n.v. W. van Wijngaarden te Sliedrecht

DED-1404 17 mei 1971

Leveren van rijsmaterialen ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: n.v. Gebr. van Noordenne te Hardinxveld-Giessendam

DED-1406 6 december 1971

Het leveren van groenstenen ten behoeve van de sluiting van het Brouwershavensche Gat en aanpassingswerken
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: n.v. Gobi te Zutphen

DED-1195c 19 juli 1971

Wijziging van overeenkomst DED-1195a en 1195b voor het vervaardigen en in depot opslaan van 210 000 stuks betonblokken ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat onder de gemeenten Goedereede en Middenschouwen
Aannemingssom: f 14 588 421,75
Aannemer:
1 Dirk Verstoep n.v. te 's-Gravenhage
2 v. Hattum en Blankevoort n.v. te Beverwijk

DED-1408 13 juli 1971

Leveren van rijsmaterialen ten behoeve van de afsluiting Oosterschelde
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: n.v. Gebr. van Noordenne te Hardinxveld-Giessendam

DED-1409 13 juli 1971

Idem
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: fa. G. J. Versluis en Zn. te Lexmond

DED-1410 13 juli 1971

Leveren van rijsmaterialen ten behoeve van de afsluiting Oosterschelde
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: E. H. van Hoff te Woerden

DED-1411 13 juli 1971

Idem
Aannemingssom: idem
Aannemer: W. van Wijngaarden te Sliedrecht

DED-1412 13 juli 1971

Idem
Aannemingssom: idem
Aannemer: fa. G. van Weverwijk en Zn. te Zijdeveld

DED-1413 13 juli 1971

Idem
Aannemingssom: idem
Aannemer: fa. A. J. van Loon te Drimmelen

DED-1414 13 juli 1971

Idem
Aannemingssom: idem
Aannemer: fa. Gebr. Dubbeldam Bzn te Lage Zwaluwe

DED-1419 18 december 1971

Aan- en verkoop van een houten keet met inventaris staande op het werkeiland Neeltje Jans in de Oosterschelde
Aannemingssom: f 36 038,09
Aannemer: Combinatie C. J. v. d. Hoeven-Dirk Verstoep te 's-Gravenhage

DED-1279b 1 september 1971

Wijziging van overeenkomst DED-1279, eerder gewijzigd bij overeenkomst DED1279a voor het verlengen van het damvak op de Kabbelaarsbank en het aanbrengen van een bodembescherming in de stroomgeul 'Kous' met bijkomende werken, onder de gemeenten Goedereede, Middenschouwen en Brouwershaven
Aannemingssom: f 12 034 117,-
Aannemer: n.v. Aannemings Maatschappij 'Dijksbouw' te Rijswijk (Z.H.)

DED-944b 30 december 1971

Wijziging van overeenkomst DED-944, eerder gewijzigd bij overeenkomst DED-944a voor het aansluiten van het bouwdoek voor doorlaatcaissons Nieuw-Bommenede op het hoogspanningsnet van Schouwen-Duiveland
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: n.v. Prov. Zeeuwse Energie Maatschappij te Middelburg

DED-1248 9 november 1971

Leveren van rijsmaterialen ten behoeve van het werkeiland Noordland in de Oosterschelde
Aannemingssom: eenheids-prijzen
Aannemer: fa. J. A. de Ruiter te Hardinxveld-Giessendam

DED-1340 4 november 1971

Ter beschikking stellen heli-copter door Amerikaanse Leger voor storten betonblokken
Aannemingssom: idem
Aannemer: U.S.-Forces Europe

BR-5485 16 maart 1971

Vervaardigen, leveren en bedrijfsvaardig opstellen van een elektrische installatie c.a. voor twaalf doorlaat- en twee landhoofdcaissons ten behoeve van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat
Aannemingssom: f 258 429,-
Aannemer: Van Rietschoten en Houwens' Elektrotechnische Maatschappij n.v. te Rotterdam

