

Het Zwin, successen en lessen



Bresgroeïexperimenten

6 en 7 oktober 1994

"Het totale experiment geslaagd"

Technische

Adviescommissie voor de

Waterkeringen

Voorwoord

Op 6 en 7 oktober 1994 hebben twee grootschalige damdoorbraakexperimenten plaatsgevonden in Het Zwin in Zeeuwsch-Vlaanderen. Vooral het eerste experiment op 6 oktober heeft veel publicitaire aandacht getrokken. Op het beslissende ogenblik, het begin van de proef rondom het tijdstip van hoogwater, verliep deze proef niet volgens verwachting. Het doorbraakproces kwam slecht op gang. Uiteindelijk werd een bescheiden gat bereikt; de gatbreedte bedroeg aan het eind van de proef ongeveer 13 meter.

Direct na de afloop van de proef op 6 oktober werd besloten de proef op 7 oktober te herhalen. Op 7 oktober verliep de proef volledig naar wens. In 1 uur tijd werd uiteindelijk een gatbreedte van ongeveer 41 meter bereikt.

In deze rapportage wordt een samenvatting van de achtergronden, de voorbereiding en het verloop van de beide proeven gegeven. Aan de successen die zijn behaald en de lessen die zijn geleerd, wordt aandacht besteed.

De proeven vormen een onderdeel van het onderzoek naar dijkdoorbraakprocessen dat in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat voor de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen wordt uitgevoerd. Omdat het in deze gevallen om onverdedigde zanddammen gaat, wordt in deze rapportage steeds de term 'damdoorbraak' in plaats van 'dijkdoorbraak' gebruikt.

1. Inleiding

Nederland heeft veel te stellen met bedreigingen van hoogwater. Stormen kunnen het water en de golven op de Noordzee hoog tegen onze kusten en dijken opstuwen (figuur 1). Smeltende sneeuw en zware regenval in de stroomgebieden van de grote rivieren veroorzaken soms hoge waterstanden in het winterbed van de Maas en tegen de dijken in het rivierengebied (figuur 2).

Om wateroverlast tegen te gaan, zijn grote delen van Nederland beveiligd door een stelsel van waterkeringen. Bij het ontwerp van 'veilige' waterkeringen speelt het ontwerppeil voor de waterstand en/of de maatgevende afvoer voornamelijk een beslissende rol. [Wet op de waterkering (1996)]. Bij de vaststelling van de thans vigerende ontwerppeilen en maatgevende afvoeren is enigermate rekening gehouden met regionale verschillen. De overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil die bij het ontwerp en de toetsing van waterkeringen van Centraal Holland moet worden aangehouden (1/10000 per jaar) is iets kleiner dan de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil voor waterkeringen in bijvoorbeeld Zeeland en Friesland (1/4000 - 1/2000 per jaar). Mede omdat in het

rivierengebied tijdig tot evacuatie kan worden besloten, kunnen daar wat grotere risico's worden genomen. De overschrijdingsfrequentie van de maatgevende afvoer is dan ook relatief groot (1/1250 per jaar).

In Nederland zijn thans ruim 50 dijkkringgebieden gedefinieerd. Het aantal inwoners, de economische ontwikkeling en de hoogteligging van het maaiveld ten opzichte van het bedreigende hoogwater, variëren sterk per dijkkringgebied. In brede kring leeft de gedachte (ook bij de wetgever) dat alleen met de vaststelling van ontwerppeilen en maatgevende afvoeren onvoldoende recht wordt gedaan aan de bestaande regionale verschillen. In de toekomst zou de mate van beveiliging die een waterkering het achterland biedt, veel directer moeten worden afgestemd op de mate waarin de belangen in het dijkkringgebied daadwerkelijk worden bedreigd. In dit verband wordt wel het begrip inundatierisico gebruikt. Dat risico is het product van de kans op inundatie en de gevolgen van inundatie (slachtoffers en schade). Dit inundatierisico is in feite een veel kenmerkender grootheid dan een ontwerppeil of een maatgevende afvoer. De Wet op de waterkering voorziet op termijn in een dergelijke overgang.

Figuur 1
Duinen na
stormaanval



Het aantal slachtoffers en de grootte van de schade die bij een inundatie kunnen optreden, hangen sterk af van de wijze waarop een inundatie zich voltrekt. Het is dus onder meer noodzakelijk zeer goed te weten hoe het water, dat het dijkkringgebied na een doorbraak binnen-dringt, zich gedraagt. Diverse daarmee samenhangende vragen moeten dan kunnen worden beantwoord, zoals:

- hoeveel water komt er uiteindelijk het dijkkringgebied binnen?
- hoe snel stijgt het water op diverse locaties binnen het dijkkringgebied?
- welke snelheden bereikt het water bij het volstromen van het dijkkringgebied?
- welke uiteindelijke waterdiepte wordt er op diverse plaatsen in het dijkkringgebied bereikt?

Deze vragen spelen overigens ook een rol bij beslissingen rondom de evacuatiestrategie van een dijkkringgebied. Eén en ander mondt dan uit in de vraag:

hoeveel tijd resteert er om te vluchten?

De hoeveelheid water die een dijkkringgebied na een doorbraak binnenstroomt, is onder meer afhankelijk van de karakteristieken van het gat in de waterkering; de diepte en de breedte van het gat als functie van de tijd.

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) coördineert voor de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) de diverse

onderzoeken die nodig zijn om op termijn maatgevende inundatierisico's voor de verschillende dijkkringgebieden te kunnen vaststellen. Vanuit deze maatgevende inundatierisico's kunnen dan vervolgens de ontwerpisen voor de waterkeringen worden afgeleid.

Werkgroep C van de TAW (TAW-C) is belast met het onderzoek naar bresgroei van diverse typen waterkeringen. Zowel duinen van min of meer uniforme samenstelling als dijken bestaande uit diverse soorten materiaal (vaak een combinatie van zand, klei en bekledingslagen), worden in het onderzoek betrokken.

Bij dat onderzoek gaat het er om hoe het debiet door een bres zich ontwikkelt in de tijd. Daartoe wordt nagegaan hoe, nadat een initiële bres in de waterkering aanwezig is, de afmetingen van het gat zich in de tijd ontwikkelen als functie van randvoorwaarden als buitenwaterstand, binnenwaterstand en type en omvang van de waterkering.

In slechts een beperkt aantal concrete gevallen (bijvoorbeeld bij relatief kleine dijkkringgebieden) is een preciese voorspelling van de ontwikkeling van de bres in de tijd van minder belang; het dijkkringgebied stroomt toch volledig 'vol'.

In de meeste gevallen is een meer gedetailleerde voorspelling wel noodzakelijk. Gezien de omvang van het dijkkringgebied is een volledig volstromen van het gebied onwaarschijnlijk.

Figuur 2
Hoog water nabij
Ochten (1 februari
1995)



Vanwege de complexiteit van het doorbraakproces (onder meer 3-dimensionale stromingen en vaak hele hoge stroomsnelheden) en vanwege de geschetste belangen die uiteindelijk met de resultaten van het bresgroeionderzoek zullen worden gediend, heeft de TAW voor een gefaseerde opzet van het bresgroeionderzoek gekozen. Eerst zal worden getracht het gedrag van een uit zand bestaande waterkering (bijvoorbeeld een duin) in voldoende mate te doorgronden; in een later stadium komen dan andere typen waterkeringen aan de orde.

In hoofdstuk 2 wordt een kort overzicht gegeven van de huidige stand van zaken van het door de TAW geïnitieerde bresgroeionderzoek; er zal worden aangegeven hoe de prototypeproeven op 6 en 7 oktober 1994 in Het Zwin daarin passen.

In hoofdstuk 3 komt de opzet en uitvoering van de proef van 6 oktober aan de orde. Er wordt aangegeven waardoor die proef minder goed verliep dan was verwacht.

De volledig geslaagde proef van 7 oktober wordt in hoofdstuk 4 besproken.

In hoofdstuk 5 wordt een samenvatting gegeven en worden enkele conclusies getrokken.

2. Achtergronden

2.1 Het bresgroeiproces

Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven beperkt het bresgroeionderzoek van de TAW zich vooralsnog tot waterkeringen die uit nagenoeg uniform materiaal (zand) bestaan. Nadat op de één of andere manier een initiële bres is ontstaan (de waterkering wordt bijvoorbeeld plaatselijk overstroomd waarbij door erosie de bekleding van de waterkering wegslaat), treden de diverse opeenvolgende fasen van het bresgroeiproces in.

Visser et al. (1986) geven als eersten in Nederland een goed overzicht van deze processen.

De serie processen is hieronder samengevat.

□ **Fase 1:** Het binnentalud van de waterkering versteilt eerst door het overstromende water tot een relatief steile evenwichtshelling is bereikt; zie ook figuur 3.

□ **Fase 2:** Vervolgens schrijdt het aldus gevormde, relatief steile talud onder globaal dezelfde helling terug in de richting van het buitentalud. De bodemhoogte van de initiële geul blijft daarbij nagenoeg constant; bij een constante buitenwaterstand verandert daarbij de afvoer door de initiële geul dan ook niet wezenlijk (volkomen overlaat). Als het terugschrijdende talud het buitentalud bereikt (de kruinlengte ter plaatse van de bres is dan gelijk aan 0) eindigt Fase 2.

In Fase 1 en Fase 2 is het debiet nog relatief

Figuur 3
Versteiling van het
binnentalud tijdens
fase 1



gering; in die fasen treedt er ook nog nagenoeg geen breedtegroei van de initiële geul op; zie figuur 4.

□ **Fase 3:** In de derde fase verlaagt de kruin in de bres. Door de verdiepte ligging van de kruin ten opzichte van de buitenwaterstand neemt de snelheid van het instromende water snel toe en wordt het debiet door de bres veel groter dan in

de Fasen 1 en 2 het geval was; zie figuur 5. Door de toenemende diepte van het gat en de toegenomen snelheden in het gat begint ook de groei in de breedte flink op gang te komen.

□ **Fase 4:** In deze fase neemt de breedte van het gat steeds verder toe. In de Fasen 1 tot en met 4 speelt de binnenwaterstand nog geen bepalende rol (steeds volkomen overlaat).

Figuur 4
Terugschrijdend
talud in fase 2



Figuur 5
Verdieping van de
bres in fase 3



□ **Fase 5:** Aan het begin van de vijfde fase is de binnenwaterstand zo hoog geworden dat er van een gestuwde afvoer door de bres sprake is. De groei in de breedte gaat dan echter nog steeds door; zie ook figuur 6.

De verdere groei van de bres in de breedte stagneert als de snelheden in de bres zo laag zijn geworden dat de taluds van de bres niet meer

worden aangetast.

De Fasen 1, 2 en 3 worden gewoonlijk als dieptegroei aangemerkt; in de Fasen 4 en 5 speelt de breedtegroei de belangrijkste rol. Om de grootte van het debiet dat uiteindelijk het dijkkringgebied binnenstroomt te kunnen bepalen, is het overigens van groot belang om te weten in hoeverre de dieptegroei in de Fasen 4 en 5 zich nog voortzet.

Figuur 6
Gestuwde afvoer
door de bres



Sinds 1986 zijn in Nederland in laboratorium-opstellingen op relatief kleine schaal experimenten uitgevoerd waarbij het proces van dieptegroei en breedtegroei is bestudeerd en vastgelegd. De resultaten van de proeven zijn en worden gebruikt om de rekenmodellen, die inmiddels zijn ontwikkeld, bij te stellen, te toetsen en te verifiëren.

2.2 Zwinproef 1989

Eind 1989 deed zich de mogelijkheid voor om het proces van bresgroei op relatief grote schaal te bestuderen. Een deel van de hoofdgeul van de slufster Het Zwin in Zeeuwsch-Vlaanderen op de grens van België en Nederland wordt de laatste jaren van tijd tot tijd uitgediept om een totale verzanding van het gebied te voorkomen. Het Belgische aannemingsbedrijf dat in 1989 met de uitdiepingswerkzaamheden van de slufster bezig was, werd bereid gevonden tijdens laagwater de hoofdgeul met een zanddam van zee af te sluiten. Rond het tijdstip van het daarop volgende hoogwater is de dam vervolgens doorgebroken. Het doorbraakproces is ingeleid met behulp van een smalle initiële geul in het midden van de ongeveer 60 m lange en 8 m (bovenkant kruin) brede zanddam.

Het doel van die proef in 1989 was om enig inzicht te krijgen in de processen die zich op grote schaal voordoen. Mede door de indertijd korte voorbereidingstijd is er weinig aandacht besteed aan de opzet en uitvoering van gedetailleerde metingen in en rondom de bres. Een provisorische meetopstelling voor het meten van snelheden nabij de bres is door het ontketende geweld verloren gegaan. Er zijn wel diverse foto- en video-opnamen gemaakt. De Looff (1990) geeft een feitenverslag van die proef.

De proef in Het Zwin in 1989 heeft volledig aan de (niet al te hoge) verwachtingen voldaan. De toeschouwers waren indertijd onder de indruk van het geweld waarmee het water zich een weg baande door een steeds breder wordende bres. Een belangrijke bevinding was verder dat, zo op het eerste gezicht, de processen die zich tijdens die proef op grote schaal voordeden niet wezenlijk anders waren dan de processen die toendertijd bekend waren uit onderzoek in laboratoriumopstellingen; onder meer eerst de duidelijke dieptegroei en daarna de breedtegroei. De bevindingen van de Zwinproef van 1989 hebben er mede toe bijgedragen dat het nog steeds zinvol wordt geacht voor sommige aspecten van het bresgroei proces proeven op kleine schaal in laboratoriumopstellingen uit te voeren. In dit verband kunnen de door de TAW geïnitieerde proeven naar dieptegroei en breedtegroei worden genoemd die bij het Waterloopkundig

Laboratorium in 1992 en 1993 zijn uitgevoerd. [Steetzel en Visser (1992) en Steetzel (1996).]

2.3 Zwinproef 1994

Bij de Zwinproef van 1989 is dus maar een beperkt aantal metingen uitgevoerd. Toen het er in de loop van 1993 naar uitzag dat op niet al te lange termijn weer een uitdiepingsoperatie van Het Zwin zou worden uitgevoerd, is die mogelijkheid aangegrepen om opnieuw een prototype proef op te zetten. De nieuwe proef kon wel degelijk worden voorbereid; aan de meting van diverse parameters kon vooraf veel aandacht worden besteed. Met een dergelijke proef kon zeer veel, voor het bresgroei-onderzoek, heel wezenlijke informatie worden verkregen.

3. De proef van 6 oktober 1994

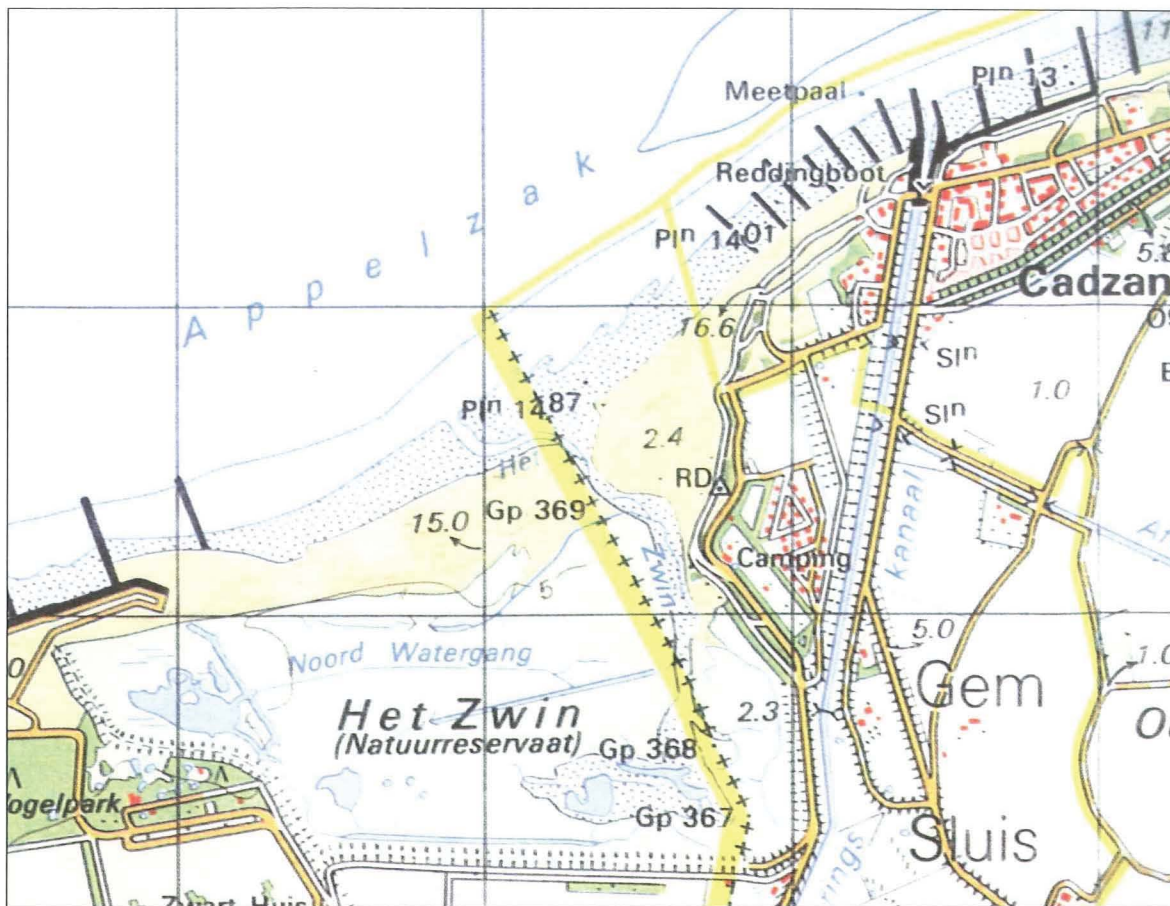
3.1 Initiatief

Uit het experiment in 1989 was gebleken dat Het Zwin een zeer geschikte locatie is om op tamelijk grote schaal het damdoorbraakproces na te bootsen.

In de loop van 1993 zag het er naar uit dat het Zwingebied op korte termijn weer zou worden uitgediept. Teneinde de directe kosten voor een eventueel nieuw experiment beperkt te houden, is de combinatie van reguliere uitdiepingswerkzaamheden en een experiment aan te bevelen. Omdat het personeel en materieel van het aannemingsbedrijf dan toch al aanwezig zijn, kunnen de kosten van de extra werkzaamheden ten behoeve van een damdoorbraakexperiment relatief laag blijven. De geboden kans is dan ook aangegrepen om na te gaan of een nieuwe, beter voorbereide, Zwinproef zou kunnen worden uitgevoerd.

Het eerste initiatief van Ir. W.T. Bakker (TAW-C; Bresgroei-begeleidingsgroep) werd snel breed gedragen. Veel personen en instanties zijn bij de verdere voorbereiding en uitvoering betrokken. Met Ir. Bakker als projectleider hebben mw. M.J. Smit en dhr. D.W. Snip (toendertijd afstudeerders van de Faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft) een groot deel van de benodigde coördinatie voor hun rekening genomen. Beoogde data van de uitvoering van de proef werden enige malen uitgesteld; uiteindelijk kon op 28 september 1994 het definitieve groene licht worden gegeven voor de proef van 6 oktober 1994.

Locatie Het Zwin



3.2 Locatie; Het Zwin

In Zeeuwsch-Vlaanderen, in het grensgebied van België en Nederland, ligt het natuurgebied Het Zwin; zie figuur 7. Het gebied staat in open verbinding met de Noordzee. Het getijverschil in het kustgebied nabij Het Zwin is voor Nederlandse begrippen tamelijk groot; circa 2,85 m tijdens doodtij en 4,35 m tijdens springtij. Gemiddeld stroomt er per getij ongeveer 350.000 m³ water het gebied in en uit.

Van het totale kombergingsgebied van Het Zwin bevindt zich 6/7 deel op Belgisch grondgebied; de rest is Nederlands. De hoofdgeul van het sluffersysteem (de Zwinggeul) en de monding bevinden zich grotendeels op Nederlands grondgebied. Het gebied dat door het getij wordt beïnvloed is ongeveer 1 km lang en 1,5 km breed. Aan de landzijde vormt de zogenaamde 'Internationale dijk' de grens tussen het natuurgebied en het achterland.

Het grote getijverschil, het redelijk omvangrijke kombergingsvolume en het in overvloed aanwezige zand, maken Het Zwin in principe tot een geschikte locatie om grootschalige experimenten naar damdoorbraken uit te voeren. Dat Het Zwin tevens een zeer kwetsbaar internationaal natuurgebied is, is daarbij een complicerende factor. In de praktijk is echter gebleken

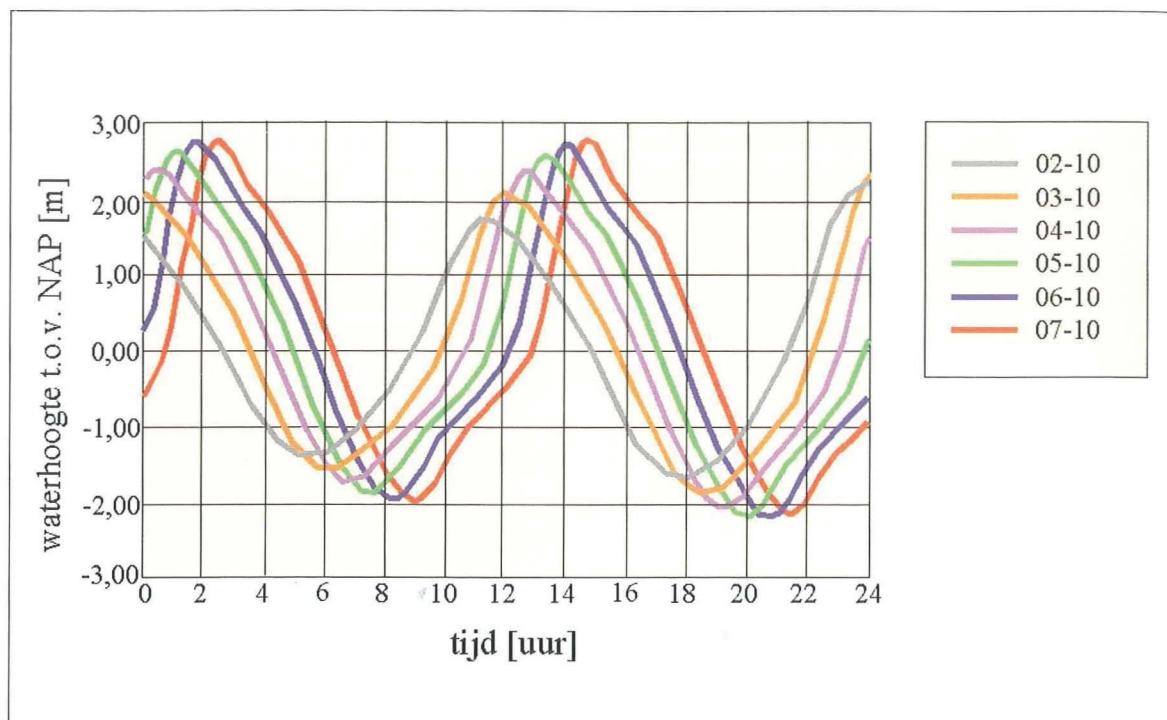
dat in goed overleg met alle betrokkenen tot een dusdanige opzet en uitvoering van de proeven kon worden besloten, dat alle partijen zich daarin konden vinden.

Langs het kustgedeelte waarin de Zwingeel zich bevindt, komt een netto noordwaarts zandtransport van naar schatting 200.000 m³ per jaar voor. Mede door dit grote langstransport verandert de positie van de uitmonding van de Zwingeel in zee voortdurend. Thans is het kombergingsgebied sterk sedimentvragend. Zowel zand als slib worden in het gebied afgezet. Zonder periodieke uitbaggeringsoperaties zou het gebied naar verwachting binnen enkele jaren volledig verzanden.

Gezien de zeer waardevolle fauna en flora die in het gebied voorkomen, wordt er zowel van Belgische als van Nederlandse zijde naar gestreefd het gebied voor totale verzanding te behoeden. In Vlaanderen is het slufteergebied als 'gerangschikt landschap' aangemerkt en is als natuurreserveaat op het gewestplan aangegeven. In Nederland is het gebied in het provinciale plan met de hoofdfunctie 'natuur' aangegeven; in het gemeentelijke bestemmingsplan is de bestemming 'natuur' aan het gebied toegekend.

Omdat Het Zwin een kwetsbaar natuurgebied

Figuur 8
Astronomische
getijden bij
Cadzand. Eerste
week van oktober
1994



is, mag het gebied niet te lang van de Noordzee worden afgesloten. In overleg met onder andere natuurbeschermingsorganisaties is besloten hiervoor een maximale periode van 48 uur aan te nemen.

Tijdens het doorbraakproces wordt veel zand van de aangebrachte dam naar het kombergingsgebied van Het Zwin getransporteerd. De zandvang die in het kader van de uitdiepingswerkzaamheden landwaarts van de dam zou worden aangelegd, is daarom eerst uitgegraven. Na afloop van de proef is de zandvang weer op diepte gebracht.

3.3 Voorbereidingen en uitvoering proef 6 oktober

In figuur 8 zijn de verwachte astronomische getijverlopen in de periode rond 6 oktober 1994 voor de permanente meetpaal nabij Cadzand gegeven. Duidelijk is te zien dat de hoogwaters in de dagen vóór 6 oktober steeds hoger zouden worden. Voor 6 oktober werd omstreeks 14:00 uur een hoogste waterstand van circa NAP + 2,72 m verwacht.

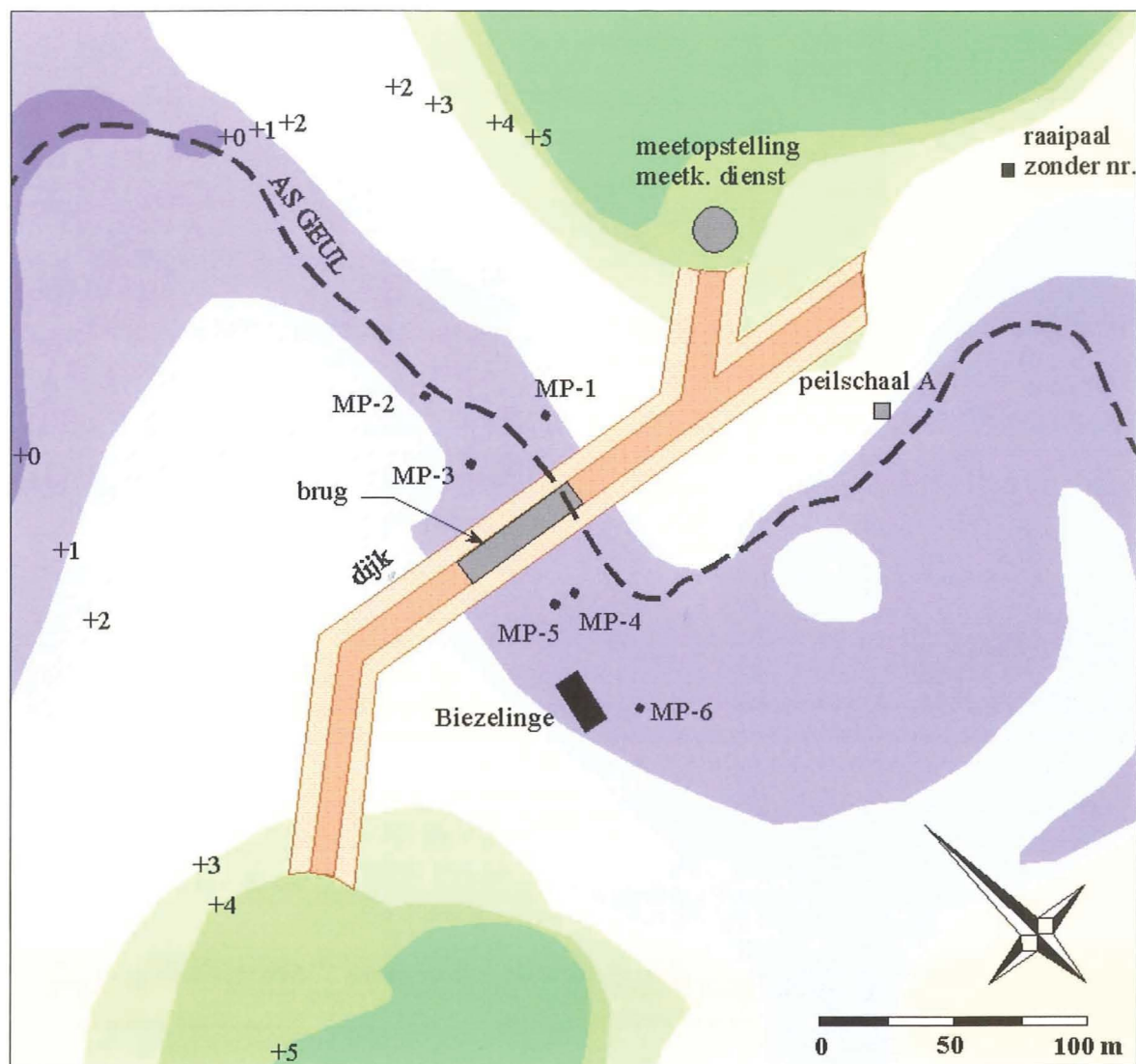
Een groot aantal meetinstrumenten is bij de proef ingezet. Omdat ook in het damlichaam een groot aantal opnemers moest worden geïnstalleerd, kon de dam niet rondom het tijdstip van laagwater op 6 oktober zelf worden aangelegd. De Zwingel is daarom al op woensdagochtend 5 oktober afgesloten en de afsluitdam diende dus twee hoogwaters te kunnen keren voordat op 6 oktober rond 14:00 uur de proef zou beginnen. De twee te keren

hoogwaters zouden naar verwachting duidelijk lager blijven dan het hoogwater tijdens de eigenlijke proef. De ontwerpdamhoogte van NAP + 3,25 m (circa 0,50 m boven de verwachte hoogwaterstand van 6 oktober) werd ruim toereikend geacht om de twee (lagere) hoogwaters die gekeerd zouden moeten worden zonder bezwaar te kunnen doorstaan.

Figuur 9 geeft een overzicht van de aan te leggen dam. Voor de aanleg van de beoogde dam was circa 6.000 m³ zand nodig. Figuur 10 geeft een dwarsdoorsnede van de dam. In de figuren 9 en 10 is ook de circa 50 m lange meetbrug aangegeven die in de lengterichting van de dam is aangebracht. Vanaf de brug konden metingen in de bres worden uitgevoerd. In figuur 9 is ook de positie van het meet- en boorpont Biezeling van de Meetdienst Zeeland van Rijkswaterstaat aangegeven. Vanaf de Biezeling zijn foto's en video-opnamen gemaakt. Verder fungeerde de Biezeling als 'zenuwcentrum' van de metingen. Veel meetsignalen werden met behulp van computers aan boord van de Biezeling opgeslagen.

In het damlichaam en aan de Zwinzijde van de dam zijn in totaal 64 trillingsmeters (zogenoemde Trillo's) op vooraf vastgestelde plaatsen aangebracht. [Zie voor een uitvoerige beschrijving van de Trillo: Smit en Snip (1995) Deel III.] De waarnemingen met behulp van de Trillo's zijn bedoeld om een inzicht te verkrijgen in de diepteligging van de bres en van eventuele ontgrondingskuilen aan de Zwinzijde. (Zie figuur 11 voor een overzicht van de posities van

Figuur 9
Dijktracé van dam
met brug en positie
van diverse
meetpunten



de Trillo's in en onder het damlichaam.)

De Trillo's zijn speciaal voor deze proef ontwikkeld. Voor de overige metingen en waarnemingen (waterstanden, snelheden, foto's, video) zijn gangbare meetinstrumenten en apparatuur gebruikt. Smit en Snip (1995) geven in de delen I en II een overzicht van de uit te voeren metingen. De resultaten van de eerste verwerking van de diverse metingen zijn in het Meetverslag van de Meetdienst Zeeland vastgelegd (Louws en v.d. Weijde (1995)).

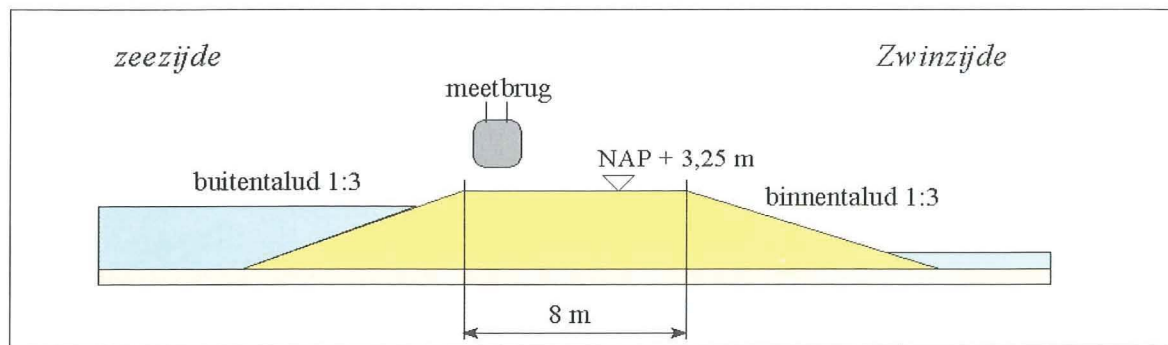
Nadat in de morgen van woensdag 5 oktober rondom laagwater de Zwinggeul was afgesloten, werd het weer snel slechter. Een sterke aanlandige wind veroorzaakte een opzet van ruim 0,30 m en er werden relatief hoge golven op de Noordzee opgewekt. De overhoogte van de dam was in de oorspronkelijke opzet tamelijk gering en een voortijdige doorbraak werd niet uitgesloten geacht. Op woensdag 5 oktober is toen besloten aan de zeezijde van de dam een extra verhoging aan te brengen (tot een hoogte van

NAP + 4,00 m) om de twee hoogwaters voorafgaande aan het proef-hoogwater te doorstaan. In de morgen van 6 oktober is een deel van de extra verhoging afgegraven. Omdat de meetbrug inmiddels was geplaatst, kon een gedeelte van de verhoging onder de brug niet gemakkelijk worden verwijderd.

In de ochtend van donderdag 6 oktober is de initiële geul gegraven; de breedte op het bodemniveau was circa 0,5 m; vooral onder de brug waren er steil oplopende kanten. Het bodemniveau van de initiële geul lag op circa NAP + 2,50 m. De initiële geul werd met enige zandzakken tijdelijk afgesloten. Het was daarbij de bedoeling dat, nadat zich een waterhoogte van circa 0,20 m tegen die zandzakkendam had opgebouwd, de zandzakken zouden worden verwijderd en het doorbraakproces aldus zou worden ingeleid.

In de loop van de morgen van 6 oktober is de wind geruimd en in kracht afgenomen. Ondanks de afname van de kracht van de wind

Figuur 10
Dwarsdoorsnede
van de dam op 6
oktober



werd er enige afwaaiing verwacht. Er werd besloten het bodemniveau van de initiële geul nog enigszins te verlagen. Door de tamelijk steile hellingen en de positie van de meetbrug juist boven de dam was dat een lastig karwei dat met schoppen en handkracht diende te worden uitgevoerd.

Op het beslissende ogenblik, circa 10 minuten vóór het verwachte hoogwater om 14:00 uur, bleek het waterniveau in de initiële geul zee- waarts van de tijdelijke dam van zandzakken, in plaats van ruim 0,20 m, slechts enkele centime- ters te bedragen. Nadat de zandzakken werden verwijderd, bleek het proces niet goed 'vanzelf' op gang te komen.

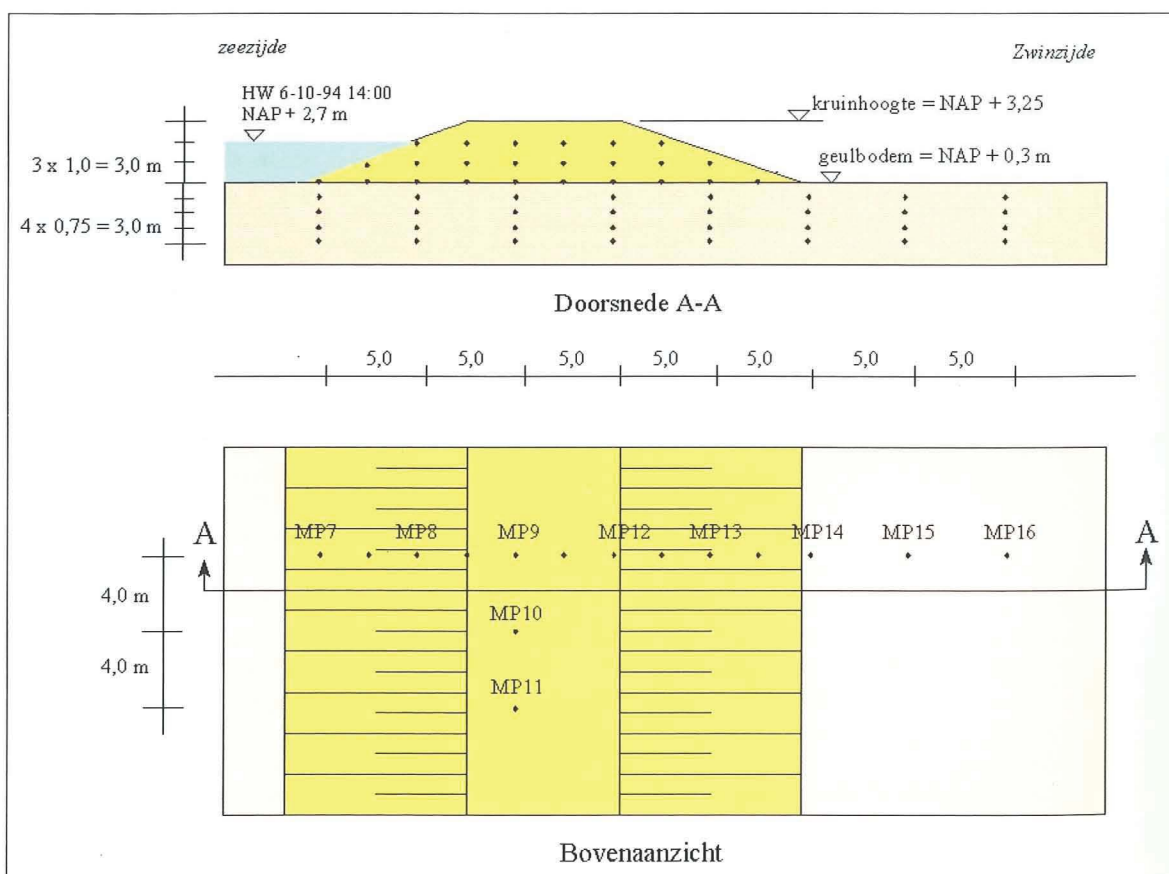
Vervolgens is eerst wat schuchter, maar allengs steeds verwoeder met mankracht gepoogd aan de zeezijde van de initiële geul de bodem alsnog

te verlagen. Omdat daar een, zij het dun, laagje water stond, was dat met een schop vechten tegen de bierkaai. Elk gat dat door het opscheppen van zand ontstond, vloeide ogenblikkelijk weer vol.

Daarna is gedurende ongeveer een half uur tamelijk ongecoördineerd gepoogd de initiële geul met handkracht uit te diepen. In die tijd was de waterstand aan de zeezijde inmiddels met circa 0,25 m gedaald. Uiteindelijk werd besloten met twee graafmachines van Anne- mingsbedrijf Aertssen NV de initiële geul aan weerszijden van de brug uit te diepen. (Zie figuur 12.) Met de graafmachines zijn echter ook een aantal bindingsdraden van meetinstru- menten stukgetrokken.

Ongeveer drie kwartier na het oorspronkelijk beoogde aanvangstijdstip kwam de proef uitein-

Figuur 11
Positie van de
Trillo's in en onder
het damlichaam



Figuur 12
Initiële geul wordt
alsnog verdiept



delijk op gang. Omdat inmiddels de buitenwaterstand aanzienlijk was gedaald, verliep de proef verder veel minder spectaculair dan aanvankelijk werd verwacht. Uiteindelijk werd aan het einde van de proef een gatbreedte van circa 13 meter bereikt (zie figuur 13).

3.4 Welke lessen zijn geleerd?

Het is zonder meer duidelijk dat het bodemniveau van de initiële geul te hoog lag ten opzichte van de uiteindelijk bereikte buitenwaterstand. Dat het buitenwater daarbij de verwachte hoogwaterstand niet bereikte, is evident. Bij de permanente meetpaal nabij Cadzand werd in plaats van de verwachte maximale waterstand van NAP + 2,72 m slechts een maximum waarde van NAP + 2,47 m bereikt. (De gemeten maximale waterstanden met de drie meetpalen juist zeewaarts van de dam in de Zwinggeul bleken uiteindelijk op NAP + 2,57 m uit te komen.)

Het is achteraf niet moeilijk om vast te stellen dat er wezenlijke beoordelingsfouten zijn gemaakt. Dat de maximum waterstand circa 0,25 m beneden de verwachte waarde zou blijven, was bijvoorbeeld een half uur vóór de beoogde aanvang van de proef niet bij de verantwoordelijke personen op de locatie bij de dam bekend. Als dat, zelfs pas op dat moment, wel bekend zou zijn geweest, was er nog voldoende tijd geweest om, zij het met enige moeite, de initiële geul handmatig uit te diepen. In het voch-

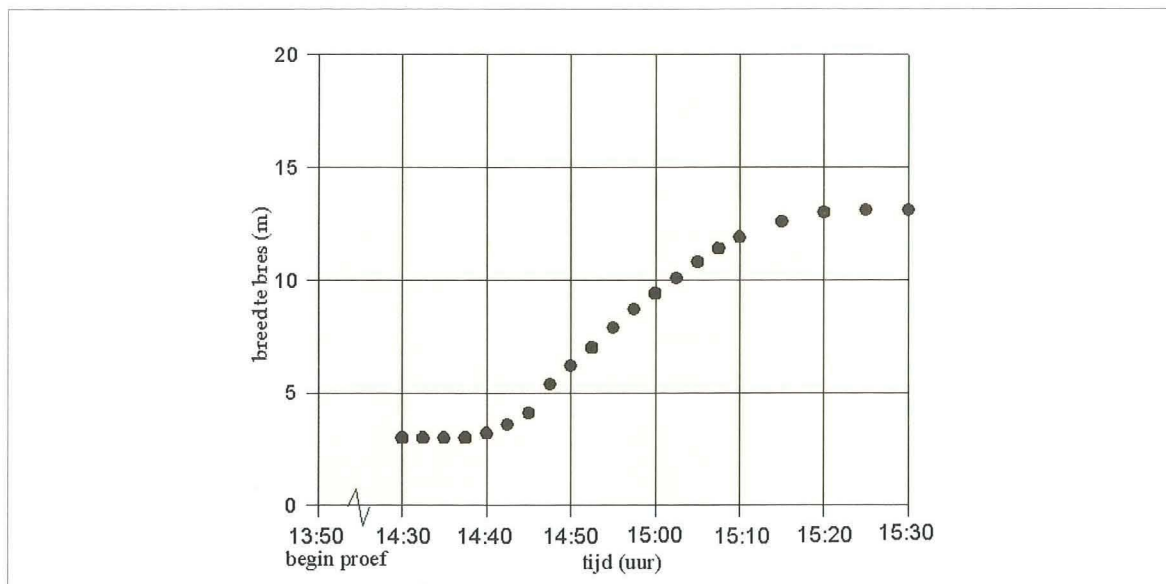
tige zand zou het ook met de relatief steile hellingen mogelijk zijn geweest het bodemniveau in de initiële geul te verlagen. De op de locatie aanwezige mankracht zou in ieder geval geen beperkende factor zijn geweest.

Permanent inzicht bij de verantwoordelijke personen op de locatie in het verloop van de waterstanden (en van eventuele afwijkingen daarvan ten opzichte van het verwachte verloop) is bij dergelijke proeven van essentieel belang voor het welslagen van een proef.

Tijdens de voorbereiding van de proef is heel uitgebreid aandacht besteed aan de mogelijke gevolgen van eventueel optredende afwijkingen van de voorgenomen planning. Zeer veel alternatieven zijn doordacht. Dat er iets 'mis' zou kunnen gaan bij het op gang komen van het doorbraakproces werd echter nauwelijks voor mogelijk gehouden.

Mede omdat het in principe om een uitermate spectaculaire proef zou gaan, is er vooraf veel publiciteit voor de proef gemaakt. Naast een groot aantal toeschouwers waren radio, televisie en veel vertegenwoordigers van de schrijvende pers op de locatie aanwezig (figuur 14). Direct voorafgaand aan de proef en ook tijdens de proef werden diverse verantwoordelijke personen mede in beslag genomen door het te woord staan van persvertegenwoordigers en het aanwezig zijn bij radio- en televisieopnamen. Hoewel één en ander achteraf uitermate gemak-

Figuur 13
Ontwikkeling van
de breedte van de
bres bij proef van 6
oktober



kelijk is om te constateren, kan de indruk niet worden weggenomen dat de, op zich zeer waardevolle publiciteit, diverse verantwoordelijke personen minder alert heeft gemaakt om adequaat in te spelen op de enigszins gewijzigde omstandigheden met betrekking tot de hoogte van de buitenwaterstand.

Het verdient aanbeveling om in dergelijke gevallen een duidelijk onderscheid te maken tussen personen die verantwoordelijk zijn voor de uitvoering van de proef en personen die de contacten met de media onderhouden.

Bij de uitvoering van spectaculaire, maar ook

gecompliceerde, proeven op prototypeschaal in de toekomst, is het dan ook aan te bevelen de eigenlijke proef en de publiciteit daar omheen toch zoveel als mogelijk te ontkoppelen. In voorkomende gevallen verdient het aanbeveling zo mogelijk speciale, wellicht wat eenvoudiger opgezette, proeven voor vertegenwoordigers van de pers op te zetten.

Dat het doorbraakproces niet goed 'vanzelf' op gang kwam, was uiteraard buitengewoon vervelend voor de uitvoering van de proef van 6 oktober. Tegelijkertijd leert dit voorval echter dat het soms met kennelijk beperkte middelen mogelijk is een ramp te voorkomen. Door op het

Figuur 14
Toeschouwers op
locatie



juiste moment met enkele scheppen zand of een rijtje zandzakken een beginnende bres af te sluiten, kan soms naderend onheil worden afgewend.

4. De proef van 7 oktober 1994: "Een succes"

4.1 Aanzet herhalingsproef vrijdag 7 oktober
Direct na de in feite minder geslaagde proef van donderdag 6 oktober is, vooral op instigatie van Ir. A.W. Kraak van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat, besloten de proef op vrijdag 7 oktober te herhalen. Het aannemingsbedrijf Aertssen NV werd bereid gevonden nogmaals een dam op te bouwen.

De verwachte hoogwaterstand op vrijdagmiddag 7 oktober zou nog iets hoger zijn dan op 6 oktober (zie figuur 8). Na vrijdag zouden de hoogwaterstanden echter snel lager worden. Omdat het meet- en boorponton Biezeling op de ingenomen positie slechts bij relatief hoge waterstanden los van de bodem kan komen, diende de Biezeling uiterlijk zondag 9 oktober de Zwingel te verlaten. Als dat niet zou lukken, zou de Biezeling 4 weken in de Zwingel moeten achterblijven voordat zich een nieuwe mogelijkheid tot vertrek zou voordoen. Omdat niet kon worden gegarandeerd dat de meetbrug na de proef op vrijdag voor zondag zou worden verwijderd, is besloten de brug tijdens de opbouw van de nieuwe zanddam te verwijderen. Bij de tweede proef kon dus niet meer van de meetbrug gebruik worden gemaakt.

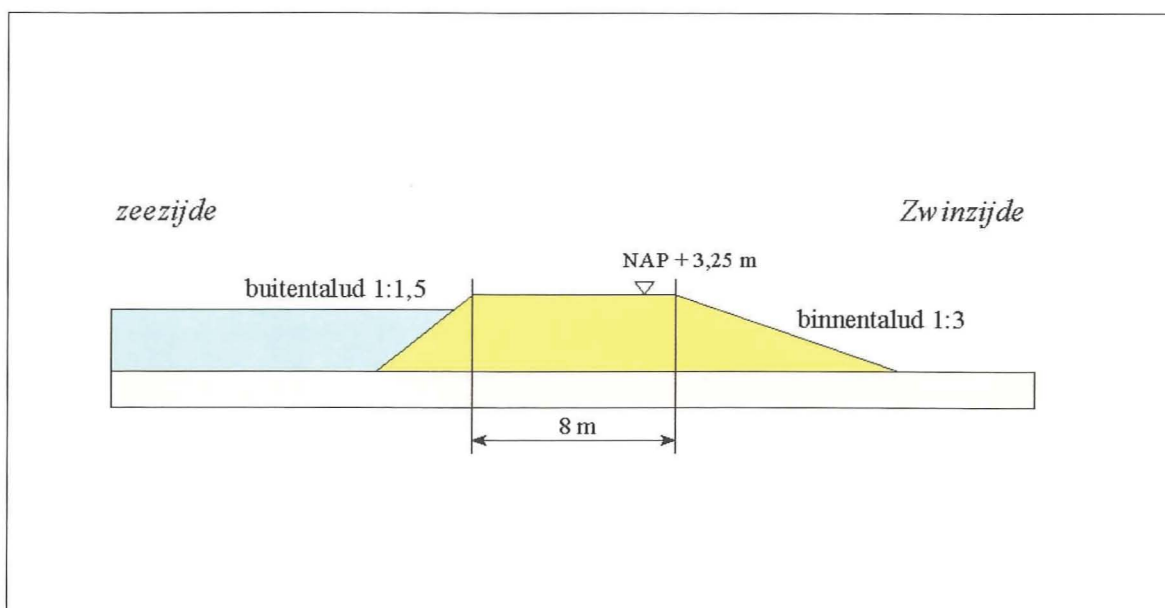
4.2 Voorbereiding

Nadat laat in de middag van 6 oktober was besloten de proef op 7 oktober te herhalen, is er direct veel werk verzet. De meetbrug werd verwijderd en een nieuwe dam werd aangelegd. Aan de zeezijde werd het talud van de dam wat steiler opgezet dan bij de eerste proef (zie figuur 15).

De Trillo's die tijdens de proef op donderdag waren weggespoeld of onklaar waren geraakt, konden niet worden vervangen. Alle Trillo's waren bij de proef op donderdag ingezet en er was uiteraard geen rekening gehouden met een tweede proef. Omdat de meetbrug ontbrak, is een nieuw stelsel van meetpunten ingericht om de ontwikkeling van de breedte van het gat te volgen. Uit video-opnamen vanaf de Biezeling kon de ontwikkeling van de breedte als functie van de tijd achteraf goed worden afgeleid. De overige meetinstrumenten konden ook bij de nieuwe proef goed worden gebruikt.

Bij deze proef op vrijdag waren er voorzieningen getroffen om, veel beter dan de vorige dag, op de locatie goed inzicht te hebben over de ontwikkeling van het verloop van de waterstand aan de zeezijde. Om 14:40 uur werd bij de permanente meetlocatie Cadzand een hoogste waterstand van NAP + 2,67 m gemeten; dat was slechts 0,10 m lager dan de voorspelde hoogwaterstand van NAP + 2,77 m. Aan de Noordzeezijde van de Zwingel is op 7 oktober om 14:35 uur een hoogste waterstand van NAP + 2,75 m gemeten. (Omdat deze proef geheel volgens wens verliep en het doorbraakproces om 14:25 uur was gestart, is het niet uitgesloten dat door de aanzuigende werking van het zich ontwikkelende gat de waterstanden iets verder

Figuur 15
Dwarsdoorsnede
dam op 7 oktober



Figuur 16
Met behulp van
een graafmachine
wordt de initiële
geul vrijgemaakt



op zee voor de monding van de Zwingel nog iets hoger zijn geweest.)

Ook bij de proef van 7 oktober is weer een initiële geul in het damlichaam aangebracht. Wijs geworden door de eerdere ervaringen waren de dimensies van die geul ruim gekozen. Ook de hellingen waren flauw opgezet (iets flauwer dan de helling van het natuurlijk talud). De additionele dam in de initiële geul bestond deze keer uit een zanddammetje dat met een graafmachine op het gewenste ogenblik zou worden verwijderd.

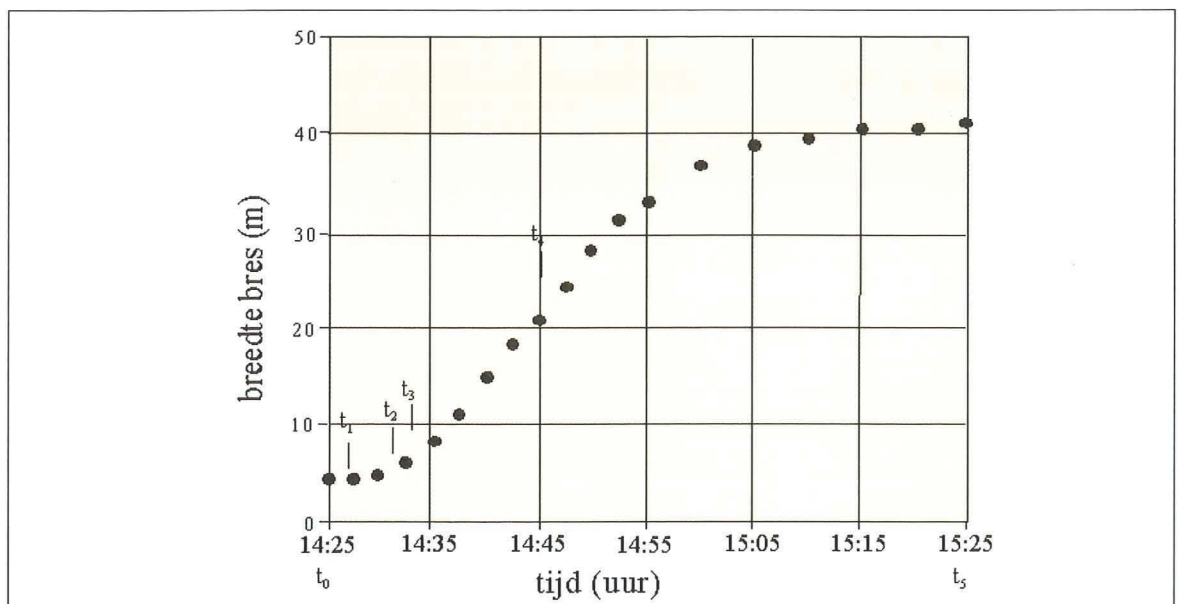
Aan de uitvoering van de geheel volgens wens

verlopen herhalingsproef is vooraf geen ruchtbaarheid gegeven. Naast de direct betrokkenen waren slechts enkele toevallige voorbijgangers getuige van de proef. Een journalist van BRT-radio en een verslaggever van de Provinciale Zeeuwsche Courant woonden deze spectaculaire proef bij.

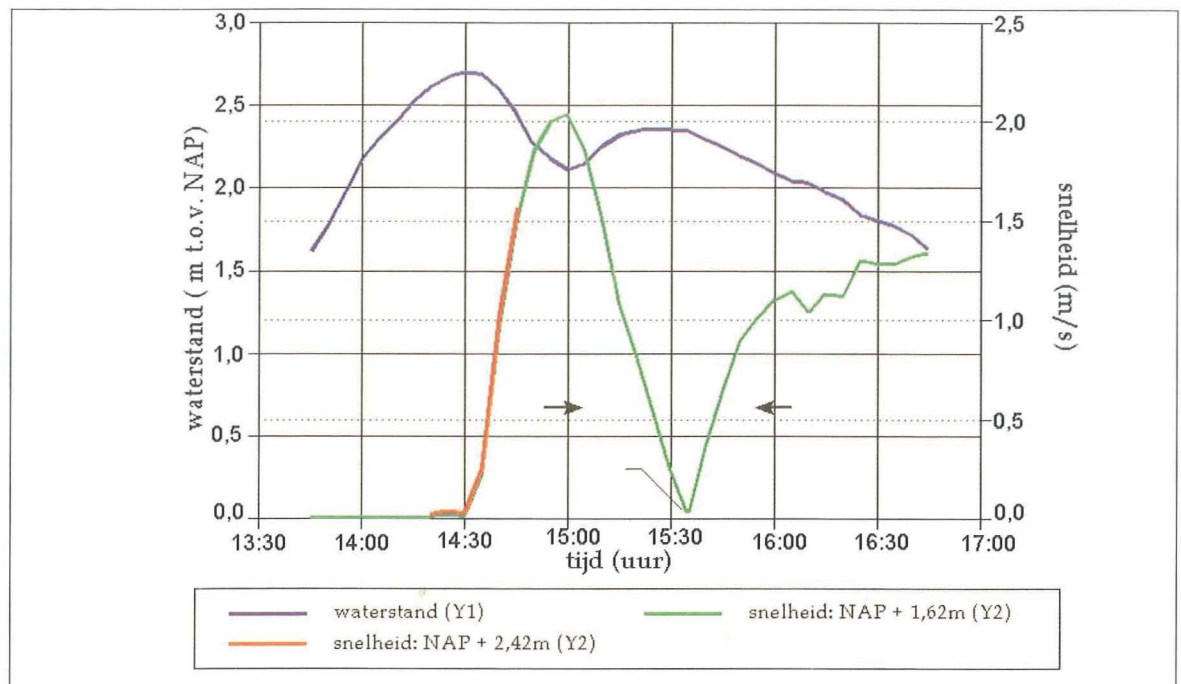
4.3 Verloop van de proef

Nadat om 14:25 uur de initiële geul met behulp van een graafmachine was vrijgemaakt (zie figuur 16), is het doorbraakproces direct goed op gang gekomen. Na 1,5 minuut was Fase 1 (versteiling binnentalud; zie hoofdstuk 2) afgelopen. In een tijdsbestek van slechts 5 minuten

Figuur 17
Ontwikkeling van
de breedte van de
bres proef 7
oktober



Figuur 18
Waterstanden en
snelheden MP-3
(rapport
Meetdienst
Zeeland)



werd vervolgens Fase 2 (terugschrijding evenwichtstalud) doorlopen. Weer 2 minuten later was de resterende zandophoging aan de zeezijde van de bres geheel opgeruimd. (Einde Fase 3; kruinverlaging.) Circa 20 minuten na het begin van de proef ging de ongestuwde afvoer door het gat over in een gestuwde afvoer. (Einde Fase 4; ongestuwde afvoer.) Kennelijk was er in die 20 minuten zoveel water Het Zwin binnengestroomd dat de binnenwaterstand van invloed werd op de hoeveelheid water die door de bres stroomde. Ongeveer een uur na de aanvang van de proef waren de snelheden in de bres zo laag geworden dat de breedte van het gat niet verder toenam. De kentering trad 75 minuten na het begin van de proef in.

Figuur 17 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de breedte van de bres als functie van de tijd.

In figuur 18 zijn de resultaten van waterstands- en snelheidsmetingen aan MP-3 (zie voor de positie van MP-3: figuur 9) gegeven. MP-3 bevond zich enkele meters zeewaarts van de dam in de as-lijn van de initiële geul. Aan het verloop van de waterstand is heel goed de aanzuigende werking van de (groeierende) bres te zien. Omdat MP-3 tamelijk dicht bij de dam was gesitueerd, was er tijdelijk van enige verlaging van de waterstand sprake.

De in figuur 18 aangegeven groene lijn heeft betrekking op een snelheidsmeter die op een

niveau van NAP + 1,62 m was aangebracht. Als hoogste snelheid werd 2,04 m/s om 15:00 uur bereikt. De opnemer die op een hoogte van NAP + 2,42 m was aangebracht, heeft niet permanent onder water gestaan (tot 14:45 uur; rode lijn in figuur 18). In de periode dat beide opnemers functioneerden bleken de snelheidsverschillen tussen beide opnemers marginaal te zijn.

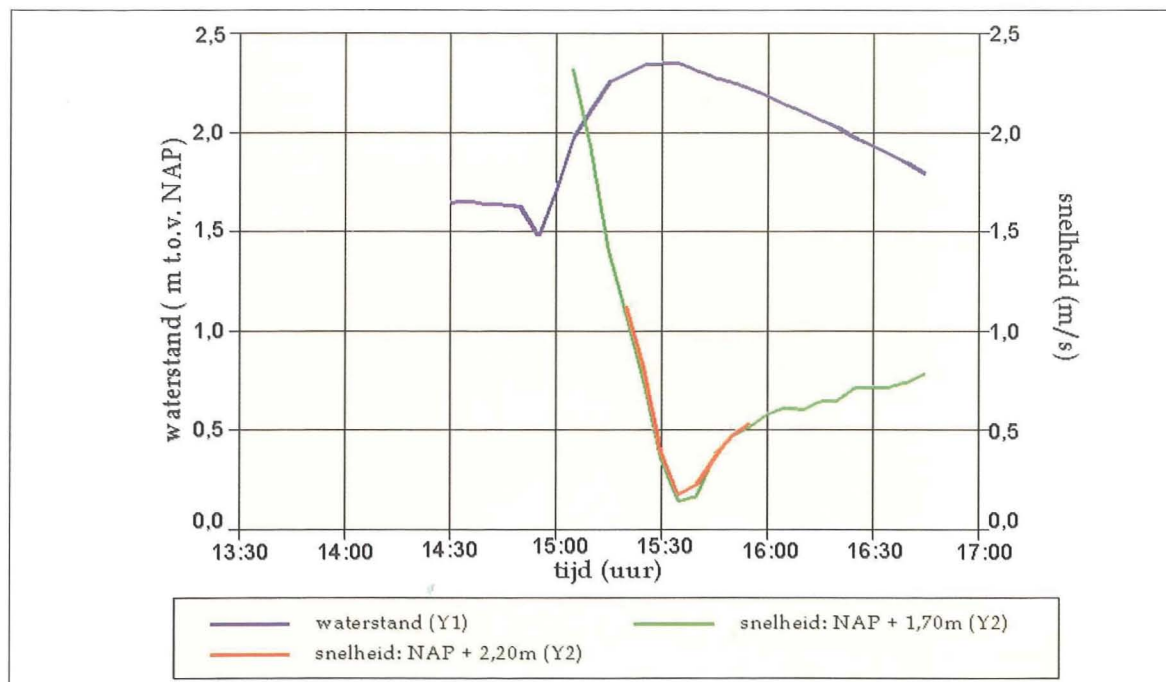
In figuur 19 is het waterstands- en snelheidsverloop van MP-4 gegeven (MP-4 is juist landwaarts van de dam gesitueerd). De waterstand sijgt snel. Op het moment dat de snelheidsmeter die op een hoogte van NAP + 1,70 m is gepositioneerd onder water komt te staan, wordt een snelheid van meer dan 2,0 m/s geregistreerd. Daarna zakt de snelheid zeer snel.

4.4 Uitwerking meetresultaten; rapportages

De analyse van de gegevens is thans nog in volle gang. De Meetdienst Zeeland heeft in maart 1995 een meetverslag uitgegeven met tal van feiten omtrent de metingen. Ook zijn in dat verslag de eerste resultaten van de meeste meetgegevens gegeven. In hoofdstuk 6 is een overzicht gegeven van verschillende publicaties waarin aan de Zwinproeven van 1994 wordt gerefereerd.

Uit de analyse van de Trillometingen is gebleken dat er zich geen diepe ontgrondingskuilen tijdens het doorbraakproces hebben gevormd.

Figuur 19
Waterstanden en
snelheden MP-4
(rapport
Meetdienst
Zeeland)



5. Samenvatting en conclusies

Teneinde op termijn bij het ontwerp van waterkeringen op een verantwoorde wijze de overstap te kunnen maken van ontwerppeilen en maatgevende afvoeren naar maatgevende inundatierisico's, is het noodzakelijk om tamelijk gedetailleerd te weten hoe in een waterkering een eenmaal gevormde bres zich in de loop van de tijd ontwikkelt. De hoeveelheid water die uiteindelijk het dijkgebied instroomt, hangt onder meer heel direct af van de breedte van de bres.

Proeven op kleine schaal in laboratoriumopstellingen zijn van groot belang om het inzicht in de complexe processen, die tijdens de groei van een bres optreden, te verdiepen. Voordat die inzichten in adequate, gevalideerde rekenmodellen kunnen worden omgezet, zijn proeven op zo groot mogelijke schaal onontbeerlijk.

Het Zwin is een uitstekende locatie om dergelijke grootschalige proeven uit te voeren.

Gezien het maatschappelijke belang dat met het bresgroeionderzoek samenhangt, is het in principe een uitstekende gedachte om een breed publiek (belangstellenden, pers, radio en televisie) getuige te laten zijn van grootschalige (spectaculaire) proeven die in een dergelijk kader worden uitgevoerd.

Grootschalige proeven in de natuur zijn veelal uniek. Zulke proeven vergen vaak een zeer uitgebreide voorbereiding. Vlak vóór en tijdens dergelijke unieke proeven wordt veel verwacht van de personen die verantwoordelijk zijn voor het welslagen van de uitvoering van de proeven. Dat kan op enigszins gespannen voet komen te staan met de wens de proeven ook aan een breed publiek te tonen.

Hoewel het achteraf uitermate gemakkelijk is om vast te stellen, kan de indruk niet worden weggenomen dat bij de minder geslaagde proef van 6 oktober de vele publiciteit een alerte uitvoering van de proef enigszins heeft belemmerd. Eén en ander kan er toe hebben bijgedragen dat er wat minder gemakkelijk op gewijzigde omstandigheden kon worden ingespeeld dan wenselijk was.

Het verdient aanbeveling in toekomstige soortgelijke gevallen een striktere scheiding tussen de eigenlijke proefuitvoering en de publieksvoorlichting aan te brengen.

Het is in voorkomende gevallen te overwegen bijvoorbeeld een tweede, wellicht wat minder complexe, proef in te richten die speciaal is bedoeld voor publieksvoorlichting.

Ondanks de op het eerste gezicht minder geslaagde proef in Het Zwin op 6 oktober 1994, heeft ook die proef waardevolle gegevens opgeleverd voor het bresgroeionderzoek.

Dat direct na de beëindiging van de proef van 6 oktober kon worden besloten om de proef de volgende dag te herhalen, is te danken aan enkele personen die uitermate alert hebben opgetreden, in het bijzonder Ir. A.W. Kraak van de DWW.

De proef op 7 oktober heeft aan alle verwachtingen voldaan. Zeer waardevolle gegevens zijn verkregen. Deze proef is zeer succesvol verlopen.

De initiële bres speelt een cruciale rol in het al of niet slagen van een bresgroeiproef.

Zowel voor de breedte als de diepte van de initiële bres moeten voldoende ruime waarden worden vastgesteld.

De proef van 6 oktober heeft nog eens bewezen dat bij waterkeringen die op het punt van doorbreken staan, het doorbraakgevaar soms met relatief eenvoudige middelen kan worden afgewend.

Een groot aantal personen en instanties heeft bij de opzet, voorbereiding en uitvoering van de proeven samengewerkt. Het samen werken aan dit grote en unieke project is bij velen als uitermate stimulerend ervaren.

6. Literatuur

Referenties

Looff, A.P. de (1990)

Bresgroei in een zanddijk, feitenverslag van een proef. Rapport WBA-R-90.041 DWW, Delft.

Louws, D. en P. v.d. Weijde (1995)

Meetverslag Bresgroei Zwingel. Notitie ZLMD-94.N.039.

Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland.

Smit, M.J. en D.W. Snip (1995)

Voorbereiding van een bresgroeiexperiment in het Zwin 1994. Deel I: Theoretisch vooronderzoek.

Vakgroep Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek; Technische Universiteit Delft.

Smit, M.J. en D.W. Snip (1995)

Voorbereiding van een bresgroeiexperiment in het Zwin 1994. Deel II: Praktisch vooronderzoek. Vakgroep Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek; Technische Universiteit Delft.

Smit, M.J. en D.W. Snip (1995)

Voorbereiding van een bresgroeiexperiment in het Zwin 1994. Deel III: Laboratoriumproeven met de trillingsmeter.

Vakgroep Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek; Technische Universiteit Delft.

Steetzel, H.J. en P.J. Visser (1992)

Bresgroei, deel II: 2DV ontwikkeling initiële bres; Verslag modelonderzoek Scheldegoot. Waterloopkundig Laboratorium, rapport H1242, augustus 1992.

Steetzel, H.J. (1996)

Bresgroei deel III: 2DH/3D ontwikkeling initiële bres; Verslag modelonderzoek Scheldebak en nadere formulering breedtegroei module. Waterloopkundig Laboratorium, rapport H1242, maart 1996.

Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1995-1996

Wet op de waterkering. Wet van 21 december 1995.

Staatsblad 1996; 8, Den Haag.

Visser, P.J., J.S. Ribberink en J.P.Th. Kalkwijk (1986)

Ontwikkeling stroomgat en debiet bij dijkdoorbraak. Deelstudie voor pompaccumulatiecentrale. Rapport 8-86. Vakgroep Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek; Technische Universiteit Delft.

Rapportages waarin aan de Zwinproeven 1994 wordt gerefereerd

Kraak, A.W., W.T. Bakker, J. van de Graaff, H.J. Steetzel and P.J. Visser (1994)

Breach growth research programme and its place in damage assessment for a polder. Proc. 24th Int. Conf. on Coastal Engineering, Kobe, Japan.

Somers, C.A. (1995)

Meetverslag bresgroeioproef Zwin, 7 oktober: De Trillometingen.

Vakgroep Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek; Technische Universiteit Delft. oktober 1995.

Somers, C.A., G.S. Stelling and W.T. Bakker (1996)

Numerical simulation of breach growth in a sanddike. Paper to be presented at 25th Int. Conf. on Coastal Eng., Orlando, USA.

Visser, P.J. (1994)

A model for breach growth in sand-dikes. Proc. 24th Int. Conf. on Coastal Engineering, Kobe, Japan.

Visser, P.J., A.W. Kraak, W.T. Bakker, M.J. Smit, D.W. Snip, H.J. Steetzel and J. van de Graaff (1995)

A large-scale experiment on breaching in sand-dikes. Coastal Dynamics '95.

Visser, P.J., W.T. Bakker, J. van de Graaff, A.W. Kraak, M.J. Smit, D.W. Snip en H.J. Steetzel (1995)

Experiment dijkdoorbraak in 't Zwin geslaagd. OTAR 7/8 1995.

Visser, P.J., M.J. Smit en D.W. Snip (1996)

Zwin '94 experiment. Meetopstelling en overzicht van alle meetresultaten. Rapport 4-96. Vakgroep Waterbouwkunde; Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft.

Colofon

Uitgave:

Technische Adviescommissie voor de
Waterkeringen, juni 1996

Tekst:

Ir. W.T. Bakker (RWS-RIKZ / TUDelft)
Dr. Ir. J. van de Graaff (TUDelft)
Ir. A.W. Kraak (RWS-DWW)
Ir. M.J. Smit (TUDelft)
Ir. D.W. Snip (TUDelft)
Dr. Ir. H.J. Steetzel (WL)
Ir. P.J. Visser (TUDelft)

Vormgeving:

Ing. M.Z. Voorendt (TUDelft)

Fotografie:

Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat, afdeling
Grafische Technieken.
Dr. Ir. J. van de Graaff (TUDelft)
Ir. P.J. Visser (TUDelft)

Druk:

W.D. Meinema BV, Delft
