

stowa

DIJKDOORBRAKEN ONTSTAAN, VOORKÓMEN EN BESTRIJDEN



RAPPORT

2004
W05

DIJKDOORBRAKEN ONTSTAAN, VOORKÖMEN EN BESTRIJDEN

RAPPORT

2004
W05

ISBN 90.5773.264.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties en het publicatie overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 629 33 32 FAX 078 610 610 42 87 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

COLOFON

Utrecht, november 2004

UITGAVE STOWA, Utrecht

AUTEURS

ir. K.A.J. van Gerven (TU-Delft)

begeleid door:

ir. Gert Jan Akkerman (Royal Haskoning)

M.A. van Heereveld M.Sc. (Royal Haskoning)

ir. H.J. Verhagen (TU-Delft)

ir. L.R. Wentholt (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2004-W05
ISBN 90.5773.264.5

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefteinventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

DIJKDOORBRAKEN ONTSTAAN, VOORKÓMEN EN BESTRIJDEN

INHOUD

STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond en doelstelling	1
1.2	Aanpak en overzicht onderwerpen	2
2	SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN	3
2.1	Faaltraject dijken	3
2.2	Preventieve maatregelen	6
2.3	Curatieve maatregelen	7
2.4	Kostenverkenning	9
3	SAMENVATTENDE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	11

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND EN DOELSTELLING

Bij hoogwaterrisico's wordt veel aandacht besteed aan de belastingen: waterstanden, golfwerking en stroming. Aan de sterkte van dijken wordt minder aandacht besteed, ondanks dat bijvoorbeeld in 1995 bleek dat de dijken niet overal stevig genoeg waren; De toen optredende Rijnafvoer ($12.600 \text{ m}^3/\text{s}$) lag zelfs ver onder de norm van die tijd ($15.000 \text{ m}^3/\text{s}$). Er moesten noodmaatregelen getroffen worden en er werd zelfs tot evacuatie van de Betuwe overgegaan. Het doorbreken van primaire waterkeringen is dus zeker niet denkbeeldig, ondanks dat van officiële zijde wordt gesteld dat de dijken sinds de uitvoering van het Deltaplan Grote Rivieren nu veilig zijn. Formeel is de overschrijdingskans van de ontwerp-waterstand (variërend van 1/10.000 tot 1/1.250 jaar) ook de norm waarop een dijk pas wordt geacht door te breken. De feitelijke kans kan wel veel groter zijn omdat er omtrent de sterkte van dijken sprake is van een groot gebrek aan kennis. Tezamen met een grote variabiliteit aan sterkte-eigenschappen maakt dit dat er veel onzekerheden kleven aan de werkelijke kans op een doorbraak.

Hierbij komt nog dat de overstromingsrisico's in de toekomst groter worden, wanneer er geen verdere maatregelen genomen worden. Dit is het gevolg van klimaatveranderingen en een toename van de potentiële schade en slachtoffers door intensiever ruimtegebruik in potentiële overstromingsgebieden.

Op basis van het voorgaande werd door Royal Haskoning nader onderzoek wenselijk geacht, waarbij dieper ingegaan zou worden op de redenen van het ontstaan van een doorbraak (bres), op de mogelijkheden ter voorkoming ervan en op te treffen noodmaatregelen mocht een bres onverhoopt toch optreden. Over de opzet van dit onderzoek vond overleg plaats met dr.ir. P.J. Visser van de TUD, die een autoriteit is op het gebied van dijkdoorbraken.

De voorliggende management samenvatting is een beknopte weerslag van deze studie, welke werd uitgevoerd door ir. K.A.J. van Gerven, in het kader van zijn afstuderen aan de TUD. Deze studie is opgedragen door STOWA aan Royal Haskoning, met als contactpersonen de heer ir. L.R. Wentholt en de heer ir. H.J. Verhagen (de laatste mede namens de TUD). Royal Haskoning initieerde het project en zorgde voor de hosting en directe begeleiding van de heer Van Gerven, waarbij ir. G.J. Akkerman en M.A. van Heereveld M.Sc. betrokken waren.

Voor details van de studie wordt naar het afstudeerrapport van Koen van Gerven verwezen. De voorliggende management samenvatting kan in de conclusies en aanbevelingen wat afwijken van het afstudeerrapport, omdat hierin ook de visie van Royal Haskoning op de problematiek wordt verwoord.

1.2 AANPAK EN OVERZICHT ONDERWERPEN

Omdat bij het hedendaagse ontwerp van dijken geen rekening wordt gehouden met het 'remmen' van beginnende schademechanismen en van onverhoopte bresgroei, is in eerste instantie gekeken naar de constructie-onderdelen van dijken en hun mogelijke effect op doorgaande schade en bresgroei. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen zeedijken (met een relatief flauw buitentalud) en rivierdijken (met een relatief flauw binnentalud).

Ten aanzien van schade wordt onderscheid gemaakt in schademechanismen die nog niet leiden tot verlies van de waterkerende functie en de bresvorming. Bij bresvorming is de waterkerende functie niet meer (in voldoende mate) aanwezig en is er dus een substantiële hoeveelheid water die het beschermde gebied binnenstroomt.

De verschillende mechanismen die tot falen kunnen leiden worden in het rapport geanalyseerd, nadat op de huidige ontwerpprincipes van dijken is ingegaan. Vooral van belang is de reststerkte, nadat een inleidend schademechanisme is opgetreden. Deze reststerkte is afhankelijk van het type dijk, het type aanval en het initiële schademechanisme.

Bij een eenmaal ontstane bres worden diverse stadia van ontwikkeling onderkend en kan vanaf een bepaald ontwikkelingsstadium een voorspelling worden gedaan over de groei ervan (bresgroei modellering). Het rapport gaat in op de stand van zaken van deze voorspellingsmogelijkheden, met name ook wanneer sprake is van kleidijken.

Vervolgens wordt ingegaan op de mogelijkheid om preventieve maatregelen te nemen. Dit zijn constructieve maatregelen, gericht op het verminderen van de bresgroei, zoals een erosiebestendige drempel en een versterkte teenconstructie of buitenberm aan de rivier- of zeezijde. Ook wordt ingegaan op een mogelijke versterking van het binnentalud (voor rivierdijken de zwakste plek) waarmee wordt getracht schade te voorkomen of te beperken.

Wanneer een kritieke situatie dreigt, dient deze zo mogelijk te worden afgewend door het treffen van noodmaatregelen, ook wel curatieve maatregelen genoemd. Ook hieraan is aandacht besteed, waarbij onderscheid is gemaakt tussen maatregelen die dienen om vervolgschade aan de dijk te voorkomen of te beperken en (omvangrijke) maatregelen die getroffen moeten worden als onverhoopt een bres is ontstaan. Bij de eerste categorie is de koppeling met de reststerkte van belang. Bij de laatste categorie is de (tijdsafhankelijke) geometrie van de bres en optredende erosiekuil van belang.

Op basis van de bevindingen worden in het afstudeerrapport vervolgens conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

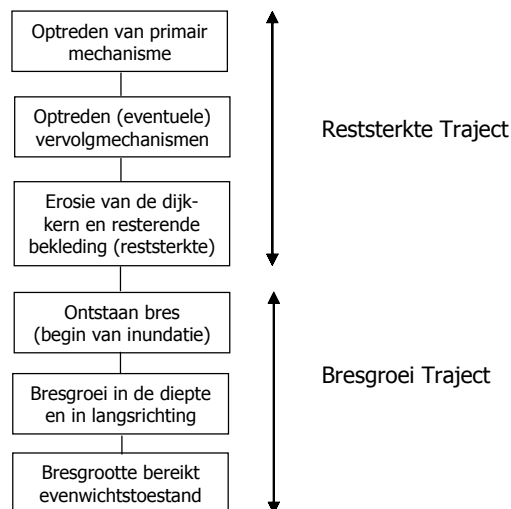
2

SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN

2.1 FAALTRAJECT DIJKEN

Falen van een dijklichaam treedt pas op als de hoofdfunctie - het keren van water - niet meer afdoende wordt vervuld: Er is dan sprake van een bres in de dijk, die zonder ingrijpen snel groeit. Voorafgaande daaraan is er echter sprake van een traject van (schade)mechanismen die tot het ontstaan van de bres kunnen leiden. Dit traject is het reststerkte traject. Aansluitend treedt het bresgroei traject op (zie onderstaande figuur 2.1). Beide trajecten zijn van belang voor het nemen van de juiste maatregelen.

FIGUUR 2.1 RESTSTERKTE EN BRESGROEI TRAJEKT



COHESIE EN SAMENHANGENDE ELEMENTEN

Gebleken is dat cohesie belangrijk is bij de reststerkte van de dijk. Daarmee hebben echte kleidijken, zoals die vroeger vaak werden aangelegd, een aanzienlijk grotere reststerkte dan de moderne zanddijken met alleen een dunne kleibekleding. Ook bij bresgroei zijn kleidijken aanzienlijk gunstiger dan de zanddijken, omdat de aanwezigheid van klei de bresgroei sterk kan remmen.

GEVAARLIJKE SCHADEMECHANISMEN

Bij rivierdijken is vooral de sterkte van het binnentalud kritisch als een combinatie van golf overslag of overloop en macro- of micro-instabiliteit optreedt. Piping kan wel vaak voorkomen (zoals in 1995 in het bovenrivierengebied), maar zal bij tijdige reparatie (die relatief eenvoudig is) geen problemen geven. Bij zeedijken is vooral de stabiliteit van het buitentalud kritisch. Het belang van een adequate verdediging op het buitentalud is hiermee evident. Mocht het desondanks tot een beschadiging van het buitentalud komen, dan is er voor reparatie enige tijd beschikbaar tijdens laagwater.

BRESVORMING

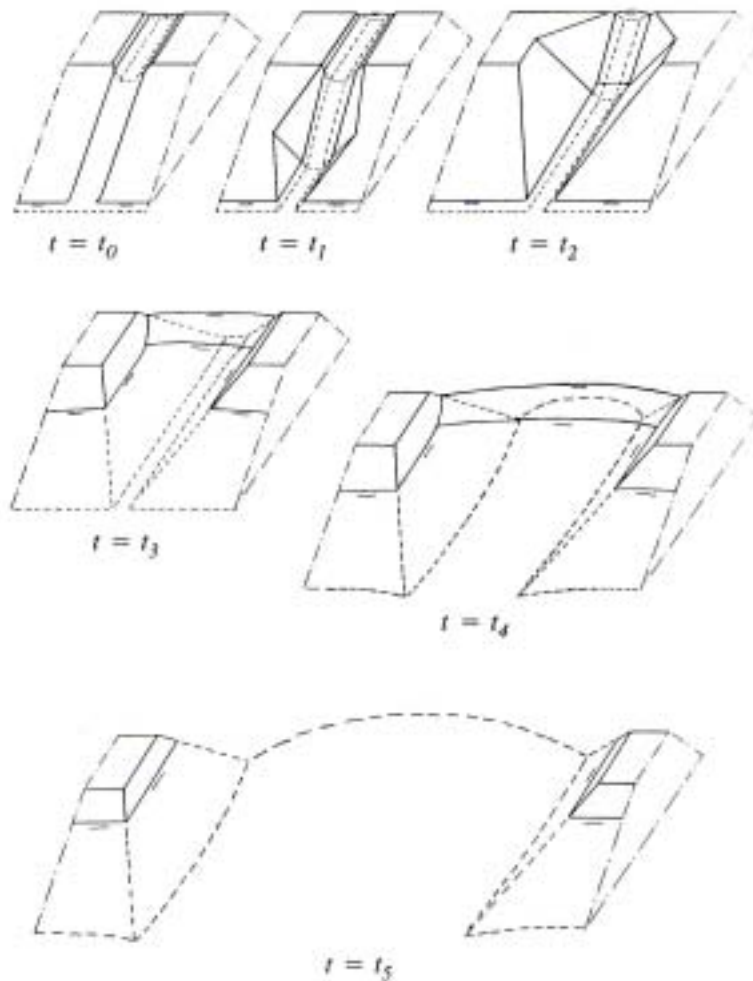
Bresvorming, inclusief de vorming van een erosiekuil waardoor een sterke stroomgeul ontstaat, is voor zanddijken redelijk goed voorspelbaar vanaf het moment dat de bresgroeï goed op gang is gekomen. Dit dankzij uitgebreid onderzoek naar dit aspect over de afgelopen tientallen jaren. Het belang van een goede voorspelling is groot, omdat de grootte van de bres de hoeveelheid water bepaalt die het beschermde gebied in stroomt. Bresgroeï in zanddijken is overigens een snel verlopend verschijnsel en kan leiden tot een uiteindelijke lengte van meerdere honderden meters waarover de dijk is weggeslagen.

Cohesie in de dijk en in de ondergrond, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van klei, beperkt de bresgroeï. Goede voorspelmodellen hiervoor ontbreken echter nog. Sterke cohesie van de ondergrond beperkt de bresgroeï omdat de ondergrond als een soort drempel fungeert, welke het debiet controleert (volkomen overlaat situatie). Andere, min of meer samenhangende elementen, zoals een oud wegdek, oude verdedigingen, oude klei- of keilemlagen, zullen het proces ook vertragen.

Figuur 2.2 geeft een kenmerkend beeld van bresgroeï in een zanddijk. Hierbij vindt eerst een insnijding plaats in het benedenstroomse talud en de kruin. Vervolgens gaat de bres in de breedte groeien, tegelijkertijd met de ontwikkeling van een erosiekuil in het stroomgat.

FIGUUR 2.2

SCHEMATISCHE ILLUSTRATIE VAN BRESGROEI IN EEN ZANDDIJK (BRON: [VISSER, 1998])



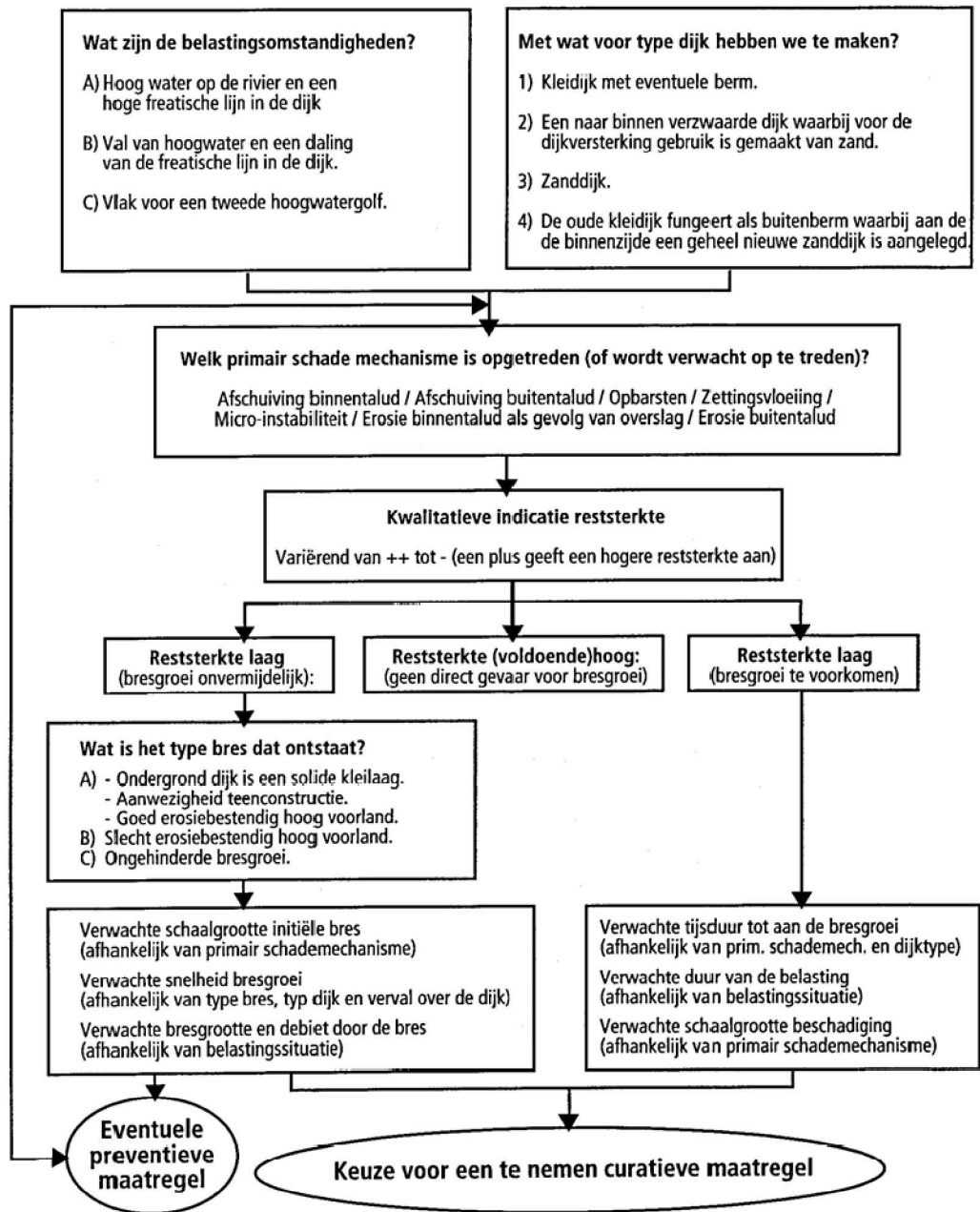
De te nemen maatregelen zijn afhankelijk van:

- belastingomstandigheden;
- dijktype;
- primair schademechanisme dat is opgetreden of verwacht wordt op te treden;
- een indicatie van de aanwezige of te verwachten reststerkte;
- een indicatie van het type bres;
- tijdsduur van de belasting en van het traject totdat de bres ontstaat;
- aard en tijdsduur van de bresgroei.

Dit is in onderstaande figuur kwalitatief uitgewerkt.

FIGUUR 2.3

BEPALENDE FACTOREN VOOR HET KIEZEN VAN MAATREGELN



¹ Breach growth in sand-dikes. P.J.Visser, Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen, ISBN 90-9012279-6.

Hieruit volgt een keuze voor de eventuele preventieve maatregelen en curatieve maatregelen; bij deze laatste moet worden gedacht aan noodmaatregelen ter voorkoming van een bres of maatregelen nadat een bres is ontstaan.

2.2 PREVENTIEVE MAATREGELEN

Vooraf te nemen constructieve maatregelen zijn in het rapport aangeduid als 'preventieve maatregelen'. In deze studie zijn hiertoe geen maatregelen onderzocht die de dijk sterker maken voordat er schade optreedt (uitgezonderd versterking van het binnentalud), maar wél maatregelen die de groei van een eenmaal ontstane bres beperken. Beperking van de bresgroei is belangrijk, omdat er dan meer tijd is voor tegenmaatregelen en eventuele evacuatie waardoor er minder schade zal optreden.

De volgende constructieve maatregelen zijn gunstig:

- *De aanwezigheid van een erosiebestendig voorland*

Door het remmen van de diepte van de bres wordt ook de breedte geremd. Het gaat hierbij om een situatie-aspect, zoals bij grasbektelede hoge uiterwaarden. Toch kan hier soms ook een maatregel uit volgen. Daar, waar sprake is van onvoldoende erosiebestendigheid (bijvoorbeeld aanwezigheid van *tuinbouw*), kan met een grasbekleding een belangrijke verbetering worden verkregen. Nog beter zou zijn een meer stroomresistente bekleding aan te brengen, zoals een versterkte grasbekleding (doorgroei-systemen en dergelijke).

- *Aanbrengen van een stroomresistente drempel*

Hiervoor geldt hetzelfde principe als bij een hoog voorland. Deze maatregel is nuttig als er geen hoog stroomresistent voorland aanwezig is. Mogelijk kan ook de aanwezigheid van een oud wegdek (onder de huidige kruin) hiertoe dienen, maar dan moet nog wel het effect ervan op de waterhuishouding en schademechanismen worden nagegaan.

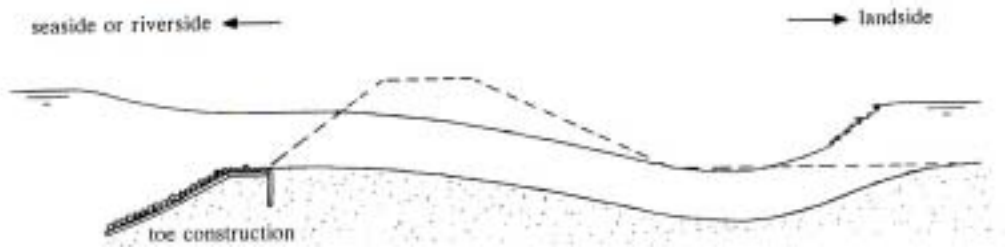
- *Aanbrengen van een versterkte teen/buitenberm constructie*

Een versterkte teen of buitenberm constructie kan ook de bresvorming remmen, wederom met voornoemd principe in het achterhoofd. De verdediging op de teen of buitenberm dient daarbij bij voorkeur samenhangend te zijn (blokkenmatten, samenhangende doorgroei-constructies, maar geen zetwerk) dan wel zeer cohesief en stroombestendig (zoals bijvoorbeeld keileem). De samenhang is belangrijk omdat anders desintegratie van de elementen kan optreden vanaf benedenstroms in het stroomgat van de bres.

Alle drie maatregelen kenmerken zich door het tegengaan van een sterke verdieping in het stroomgat, waardoor ook de breedtegroei sterk wordt beperkt. Een beeld van de stroming bij een versterkte teen/buitenberm is hierna weergegeven:

FIGUUR 2.4

STROMING DOOR DE BRES WANNEER EEN TEENVERDEDIGING HET LAGER GELEGEN DEEL VAN HET BUITENTALUD TEGEN VERDERE ERODIE BESCHERMT (BRON: [VISSER, 1998])



Overigens is ook versterking van het binnentalud, een kritiek onderdeel bij rivierdijken, een mogelijk alternatief voor of aanvulling op verdere dijkverhoging. Het gaat hierbij niet om de bresgroei te remmen, maar om initiële- en vervolg-schademechanismen te voorkómen. Voor een duurzame verbetering van de sterkte van de dijk lijken vooral doorgroei-systemen in aanmerking te komen.

2.3 CURATIEVE MAATREGELEN

Maatregelen die worden ingezet, wanneer zich een kritieke situatie voordoet, zijn in het rapport aangegeven als 'curatieve maatregelen'. Deze maatregelen kunnen voor een tweetal situaties worden ingezet. De eerste situatie is wanneer er zich een eerste schademechanisme voordoet (of een vervolgmechanisme), welke tot falen kan leiden. De tweede situatie is wanneer zich een bres aan het vormen is en de dijk feitelijk al faalt. Een bres kan zich voordoen wanneer initiële schade niet tijdig is ontdekt, reparatie onmogelijk was of anderszins heeft gefaald of wanneer zich plotseling een mechanisme heeft voorgedaan dat direct aanleiding geeft tot falen (zoals een binnenwaartse macro-instabiliteit met het aangrijpingspunt in het buitentalud wat kan optreden als gevolg van het opdrijven van de aan het binnentalud grenzende grondlagen).

Aan de hand van het eerder vermelde schema in figuur 2.3 kan een principe keuze voor de noodmaatregelen worden gemaakt. Een verdere uitwerking van deze maatregelen dient nog wel plaats te vinden; dit viel buiten de reikwijdte van deze studie.

De noodmaatregelen bedoeld voor de eerste situatie zijn bepaald door de reststerkte, door het dijkttype en door omgevingsfactoren (bereikbaarheid, stroom- en golfaanval). Bij een keuze van de optimale maatregelen is inzicht in de reststerkte, zoals behandeld in het rapport, van groot belang. Als maatregelen kunnen worden genoemd: 'opkisten' van een zandmeevoerende wel, aanvullen van beschadigde delen van de dijk met 'geo-bags', plaatsen van zandzakken of breuksteen, het aanbrengen van een afdekking met geotextiel of zinkstukken. Ook kan worden overwogen om, bij een zeer kritieke situatie die waarschijnlijk tot falen zal leiden, aan de buitenzijde een ringdijk aan te brengen om de mogelijke doorbraaklocatie heen; dit laatste zou met containers kunnen gebeuren welke na plaatsing (met een helikopter bijvoorbeeld), worden geballast en ingepakt in breuksteen of ander afdichtend materiaal.

FIGUUR 2.5

DIJKVERSTERKINGEN TIJDENS DE HOOGWATERS VAN 1993 EN 1995 (BRON: RIJKSWATERSTAAT)

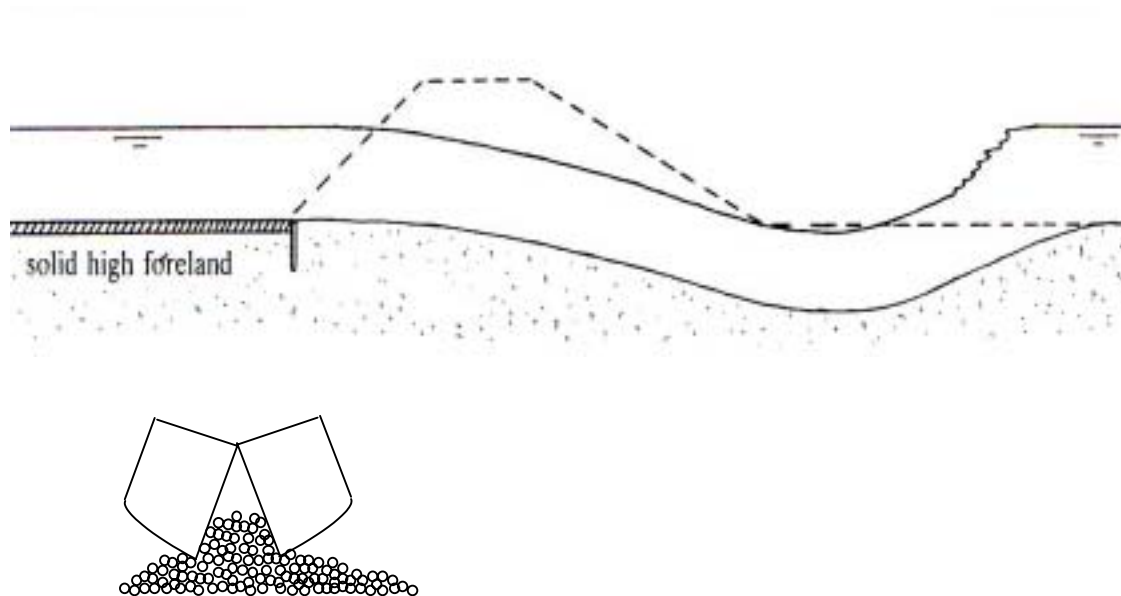


Adequate noodmaatregelen voor de situatie nadat een bres is ontstaan zijn niet eenvoudig te nemen. Dit wordt onder meer veroorzaakt door het grote verval en de hoge stroomsnelheden over het stroomgat, alsmede de slechte bereikbaarheid. Er is in de studie een variant uitgewerkt die als moderne versie kan worden gezien van de fortuinlijke sluiting van het stroomgat in de Schielandse Hoge Zeedijk in 1953. Hierbij werd een binnenvaartschip, dat toevallig in de buurt lag, gevorderd en in het stroomgat gevaren (zie figuur 2.5). Meer planmatig, zou een met breuksteen gevulde splijtbak kunnen worden ingezet. De splijtbak kan aan de bovenstroomse zijde van het stroomgat zijn lading dumpen en er 'op blijven steken'. Hierdoor kan een groot deel van het stroomgat snel worden beteugeld. Aansluitend kunnen de resterende openingen worden gedicht met bijvoorbeeld geo-bags. De route van de splijtbak moet vooraf worden vastgesteld, waarbij met name obstakels moeten worden vermeden en de maximaal toelaatbare diepgang worden vastgesteld. De splijtbak zou altijd vol geladen moeten zijn; indien een kleinere diepgang gewenst is, kan de splijtbak zoveel steen storten buiten de uiterwaard, dat toegang tot het stroomgat mogelijk is. Voor deze oplossing moet een erosiebestendig, niet al te laag voorland aanwezig zijn.

FIGUUR 2.5 HET SCHIP 'DE TWEE GEBROEDERS' WAARMEE IN 1953 DE BRES IN DE SCHIELANDSE HOGE ZEEDIJK WERD GEDICHT EN WAARMEE EEN RAMP IN DE RANDSTAD WERD VOORKOMEN.



FIGUUR 2.6 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE SPLIJTBAK NET NA HET MOMENT DAT DEZE VOOR DE BRES DE BREUKSTEEN HEEFT GESTORT EN SAMEN MET DE BREUKSTEEN DREMPEL DIENST DOET ALS WATERKERING



2.4 KOSTENVERKENNING

Om enig inzicht te hebben in de orde van grootte van kosten voor mogelijke preventieve en curatieve maatregelen is in het rapport zeer globaal aandacht besteed aan de kosten voor constructieve maatregelen en noodmaatregelen. Hierbij is gekeken naar:

- Traditionele dijkverzwaring (verkleining primaire schadekans);
- Verdedigd binnentalud (verkleining overgangs-schadekans);
- Erosiebestendige drempel (verkleining schadekans na ontstaan bres);
- Versterkte teen/buitenberm constructie (verkleining schadekans na ontstaan bres).

In termen van risico-vermindering en daarmee schade-vermindering zijn de effecten van deze maatregelen feitelijk allemaal verschillend en dus kunnen kosten niet zonder meer worden vergeleken (uitgezonderd beide laatste maatregelen). Wel zijn de kosten van een verdedigd binnentalud (met een doogroeiblokken-systeem) en van een erosiebestendige drempel (opgebouwd uit keileem) ongeveer twee maal zo duur dan de traditionele dijk-

versterking. Een versterkte buitenberm lijkt wat minder duur dan de traditionele dijkverzwaring.

Het inzetten van slijtbakken in crisissituaties zal op jaarbasis een verwaarloosbaar bedrag vergen, vergeleken met de risicoverkleining die het oplevert in termen van voorkomen of beperken van overstromingsschade, wanneer het concept ook inderdaad goed werkt.

3

SAMENVATTENDE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Opvallend aan de uitkomsten van dit onderzoek is dat er tot dusverre weinig systematisch nagedacht lijkt te zijn over de oorzaken, het voorkómen en bestrijden van dijkdoorbraken. Dit is opmerkelijk omdat de consequenties van falen enorm zijn: bij een doorbraak kan de schade in de tientallen tot honderden miljarden lopen. Het onderzoek van Koen van Gerven probeert daar wat aan te doen en kan als basis worden gezien voor verdere uitwerking.

Bij het ‘spel der krachten’ bij waterkerende constructies, gaat doorgaans meer aandacht uit naar de belasting-kant dan naar de sterkte-kant. Mogelijk draagt het misverstand dat we alles ten aanzien van dijkenbouw al zouden moeten kennen en kunnen daaraan bij; we bouwen immers al sinds mensenheugenis aan onze dijken. In werkelijkheid zijn het echter complexe processen die de sterkte van dijken bepalen en door de natuurlijke variatie in eigenschappen is sprake van een grote variabiliteit van de feitelijke sterkte.

De prototype proef in Bergambacht, waar de dijk sterker bleek dan verwacht, mag dan ook geenszins als representatief worden gezien voor alle dijken in alle situaties. Na het lezen van het rapport van Koen van Gerven zal men dit laatste begrijpen. Er is immers sprake van een tegenovergestelde trend: de moderne zanddijken hebben minder ingebouwde veiligheid dan oude kleidijken, zowel ten aanzien van reststerkte als ten aanzien van bresgroei reductie. Daarbij komt dat de belastingen steeds verder toenemen en de risico's steeds groter worden als we niet iets extra's doen. Wél zijn de ontwerpmethoden voor het geometrische en uitwendige ontwerp van dijken sterk verbeterd. Kruinhoogten zijn daarmee verhoogd, binnentaluds verflauwd (te steile binnentaluds waren veelal de oorzaak van de falende dijken in Zeeland in 1953) en talubekledingen versterkt. Toch blijft er ten aanzien van een aantal schadefenomenen onbekendheid over ten aanzien van het reststerktegedrag. De doorbraak bij Wilnis in een boezemkade, zoals in Figuur 2.7 is te zien, geeft zelfs aan dat vandaag de dag niet eens alle faaloorzaken goed zijn te voorzien.

FIGUUR 2.7

DIJKDOORBRAAK BIJ WILNIS (BRON: GEODELFT)



Op grond van het voorgaande worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Nagaan van de mogelijkheid om bij dijkversterkingen oude erosiebestendige lagen (bijvoorbeeld een oud wegdek) níét te verwijderen, met het oog op de gunstige invloed op de bresgroei.
- Verder onderzoek is nodig naar een betere vaststelling van de sterkterisico's van dijken en de maatregelen ter vermindering van de risico's. Ook zijn betere monitoring-methoden van de sterkte van belang: tijdens hoogwaters dient naast de belasting ook de sterkte 'real-time' te kunnen worden gemeten.
- Betere voorspellingsmethoden voor bresgroei zijn nodig, met name voor (geheel of deels) cohesieve dijken.
- Maatregelen ter voorkoming en bestrijding van dijkdoorbraken, zoals hier aangegeven, moeten verder worden uitgewerkt, zowel qua techniek, logistiek als kosten. Na een onderbouwde keuze dienen deze te worden geïntegreerd in calamiteitenplannen. Met name ook het 'laatste redmiddel' dat in deze studie is uitgewerkt, het inzetten van een met steen gevulde splijtbak bij een onverhoopte dijkdoorbraak, lijkt een nadere uitwerking waard.