

Overloop- en bresgroeiproef
Proefvak Bergambacht
definitief
DC 01.03.01/311 versie 2
14-2-2002

**Overloop- en bresgroeioproef Proefvak
Bergambacht**

definitief

DC 01.03.01/311
14-2-2002
710301 311 3 Overlooppoef Proefvak

Opgesteld in opdracht van:
DELFT CLUSTER
POSTBUS 69
2600 AB DELFT

AFDELING GRONDCONSTRUCTIES
Projectleider : Dr.ir. A.R. Koelewijn
Projectbegeleider: Ir. J. Lindenberg

GeoDelft
Stieltjesweg 2, 2628 CK DELFT
Postbus 69, 2600 AB DELFT

Telefoon (015) 269 35 00
Telefax (015) 261 08 21
Postbank 234342
Bank MeesPierson NV
Rek nr 25 92 35 911

rapportnr: DC 01.03.01/311		datum rapport: 14-2-2002			
titel en subtitel: Overloop- en bresgroeiproef Proefvak Bergambacht		behandelende afdeling: Grondconstructies			
		projectnaam: Waterkeringen			
projectleider(s): Dr.ir. A.R. Koelewijn		projectbegeleider(s): Ir. J. Lindenberg			
naam en adres opdrachtgever: Delft Cluster Postbus 69 2600 AB DELFT		referentie opdrachtgever: 01.03.01			
		verzenden in: -voud			
		type rapport: definitief			
<p>samenvatting rapport:</p> <p>In het Proefvak Actuele Sterkte te Bergambacht is een proef uitgevoerd waarbij gedurende enkele uren 50 tot 2500 m³ water per uur over de kruin van de ten gevolge van de vervormingsproef verzakte dijk is gestroomd. Deze proef was gericht op zowel bresgroei (ontstaan en groei van een bres in een oude, kleiige dijk) als overlopen, ten gevolge waarvan schade kan optreden aan de grasbekleding van het binnentalud. Zowel de grootte van de bres als de mate van erosie van de grasbekleding zijn gedurende de proef vrij beperkt gebleven. De bres groeide niet verder vanwege een uitzonderlijk harde kleilaag, de erosie bleef mede beperkt vanwege de flauwe helling waaronder het talud na afschuiving inmiddels lag (1:4).</p>					
opmerkingen:					
trefwoorden: overloop, bresgroei, prototype-proef		verspreiding: Delft Cluster Betrokkenen Proefvak Bergambacht			
opgeslagen op: onder titel: N:\nuser.afd\klw\Bergambacht\710301_311_3_Overlooppoef Proefvak Bergambacht.doc				aantal blz.: 38	
versie:	datum:	opgesteld door:	paraaf:	gecontroleerd door:	paraaf:
1	21-12-2001	Dr.ir. A.R. Koelewijn			
2	14-2-2002	Dr.ir. A.R. Koelewijn Drs. G.A.M. Kruse Dr.ir. M.A. Van		Ir. J. Lindenberg	

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
2	Uitvoering proef	3
3	Conclusies en aanbevelingen	5

Bijlage 1:
Waarnemingen voorafgaand en tijdens de proef

Bijlage 2:
Waterstand damwandkuip tijdens overloop- en bresgroeiproef

Bijlage 3:
Rapportage waarnemingen Gerard Kruse t.b.v Delft Cluster thema 3, Kust en rivieren

Bijlage 4:
Foto-impressie proef

1 Inleiding

Vanaf 1999 zijn er voorbereidingen getroffen voor het uitvoeren van een grootschalige praktijkproef op een dijk in het Nederlandse benedenrivierengebied. Hiervoor is gebruik gemaakt van een proeflocatie nabij Bergambacht, het zogenoemde 'Proefvak Actuele Sterkte', dat ten gevolge van rivierbedverruimingswerkzaamheden in het kader van 'Ruimte voor de Rivier' voor onderzoek beschikbaar was gekomen. Deze proef past in het kader van onderzoek binnen een samenwerkingsverband tussen Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde en Delft Cluster partners GeoDelft en TU Delft.

De praktijkproef is in meerdere fasen in het najaar van 2001 uitgevoerd en was gericht op het binnenwaarts bezwijken van de dijk volgens het opdrijfmechanisme. Eind november is de dijk uiteindelijk bezwiken, waarbij het grootste deel van de kruin van de dijk met ruim een meter is verzakt. Hiermee eindigde de primaire interesse vanuit thema 1 (Grond en Constructie) van Delft Cluster met betrekking tot waterkeringen, waarbinnen deze proef plaatsvond. Wat resulteerde was een voorbeeldig afgeschoven dijk met een smalle strook in tact gebleven kruin. Voor twee andere thema's van Delft Cluster – thema 2 (Risico's van overstromingen: o.a. 'Hoe lang duurt het voor een polder onder water staat nadat een dijk bezwiken is?') en thema 3 (Kust en rivier: o.a. 'Hoe snel erodeert een dijk en ontstaat er een bres in?') – betekende dit in principe een interessante locatie voor een vervolgprouf gericht op erosie door overlopen en bresgroei op een reeds gedeeltelijk afgeschoven dijk met een kleiïge kern.

Door de reeds betrokken partijen (RWS-DWW en Delft Cluster thema 1) is in vrij korte tijd een kijkproef voorbereid en uitgevoerd. De doelstelling van deze proef was het verkrijgen van inzicht in (orde van grootte van) de tijdsperiode dat een (bezwiken) dijk nog water kan keren bij een zeer hoge buitenwaterstand.

De proef is op donderdag 6 december 2001 uitgevoerd en in dit verslag beschreven. Aangezien het om een kijkproef ging, is er niet op uitgebreide schaal gemeten, wel is er tijdens de proef geobserveerd wat er gebeurde en na afloop van de proef zijn nog enkele metingen en classificatieproeven uitgevoerd.

Deze proef op een kleiïge dijk kan worden gezien als een aanvulling op de bresgroei-proeven op een zanddijk in het Zwin en de overloopprouf in Wissenkerke, beiden in de loop van de jaren negentig van de 20e eeuw, en erosieonderzoek op grasbekledingen in de Deltagoot bij het Waterloopkundig Laboratorium. De proef sluit mede aan bij Delft Cluster project 'Dijkdoorbraakprocessen' (thema 3, basisproject 2, projectnummer 03.02.02).

2 Uitvoering proef

De proef is binnen een week voorbereid en uitgevoerd. Dit kon mede dankzij de configuratie van de opdrijfproef, met onder andere een damwandkuip over een lengte van vijftig meter aan de rivierzijde van de dijk en een afgraving van het achterland met bijna twee meter over een oppervlakte van ruim 2000 m², waardoor het terrein tussen de oude en de nieuwe rivierdijk tijdens de proef niet snel volliep. In figuur 2.1 is het proefterrein weergegeven op donderdagochtend 6 december. Links is de damwandkuip met daarachter de Lek, vervolgens van links naar rechts het niet-verzakte deel van de dijk (de buitenberm, met een bovenbreedte van krap een meter). Hierop stonden ongeveer 30 piketten, om tijdens de proef eenduidig vast te kunnen leggen waar iets gebeurde. Daarna het met ruim een meter verzakte deel van de dijk en vervolgens het binnentalud met daarop nog enkele borden die verband houden met de monitoring van de vervormingsproef.



Figuur 2.1: Proefterrein donderdagochtend, kort voor de laatste voorbereidingen.

In bijlage 1 staan de belangrijkste voorbereidingen voor de proef op woensdag 5 december beschreven. In deze bijlage is verder ook het verloop van de proef zelf op donderdag 6 december beschreven. In bijlage 2 is het verloop van de waterstand in de damwandkuip tijdens de proef weergegeven. Bijlage 3 is een technische notitie ten behoeve van Delft Cluster thema 3. Deze bijlage beschrijft de proef in detail, zowel het gedeelte dat betrekking heeft op het ontstaan en de groei van een bres in de buitenberm (de 'tuimelkade') als het gedeelte dat betrekking heeft op het binnentalud. In bijlage 4 is een aantal foto's die op de proef betrekking hebben opgenomen.

Zoals in bijlage 1 beschreven, is op woensdag 5 december de damwandkuip tot aan de rand van de tuimelkade volgezet. Hierdoor werd de tuimelkade betrekkelijk papperig en ontstonden kleine stroompjes over de verzakte kruin van de dijk. Donderdagochtend 6 december gebeurde dit weer, toen met behulp van de beperkte pompcapaciteit van de bemaling van het achterland (maximale capaciteit circa 100 m³/uur) de damwandkuip opnieuw tot aan de rand van de tuimelkade was volgezet. Om twaalf uur begon de kade over te lopen, waarna in tien minuten tijd een bres ontstond in de kade.

Na een pauze van ongeveer drie kwartier konden ook twee van de drie grote centrifugaalpompen (capaciteit circa 800 m³/uur per stuk) worden ingezet, waarna de proef werd voortgezet. Ruim een uur

later is opnieuw een pauze ingelast, ditmaal van ongeveer een half uur, waarna er met drie centrifugaalpompen is verder gegaan.

Tegen het einde van de proef, ruim vier uur na het ontstaan van de bres, zag deze er uit zoals weergegeven in figuur 2.2. Het overlopen van het binnentalud is weergegeven in figuur 2.3. De breedte van het overstroomde deel van het binnentalud bedroeg ongeveer 12 meter, bij een debiet van 1700 tot 2500 m³/uur betekent dat dat het overloopdebiet 40 tot 60 l/s/m bedroeg. In relatie tot de in de leidraden boven- en benedenrivierengebied en de leidraad toetsing op veiligheid vermelde maximaal toelaatbare waarde (10 l/s/m) veroorzaakte dit hoge debiet opvallend weinig schade. Na circa vier uur bedroeg de erosiediepte niet meer dan ongeveer een halve decimeter. De proef is kort voor zonsondergang gestopt, omdat er betrekkelijk weinig veranderingen optraden en omdat de omstandigheden zodanig waren dat de proef alleen bij daglicht kon worden uitgevoerd.



Figuur 2.2: Bres in tuimelkade, met stroming grotendeels onder de asfaltstrook door.



Figuur 2.3: Overlopen van het binnentalud kort voor het einde van de proef.

3 Conclusies en aanbevelingen

Aansluitend op de geslaagde vervormingsproef is een overloop- en bresgroeioproef uitgevoerd in het Proefvak Actuele Sterkte nabij Bergambacht. Bij deze proef kunnen twee onderdelen worden onderscheiden:

1. ontstaan en groei van een bres in de tuimelkade;
2. overloop van het binnentalud.

Ten aanzien van het eerste onderdeel kan worden geconcludeerd dat in korte tijd een bres ontstond in de kleiige tuimelkade, waarvan de groei vervolgens in hoge mate beperkt bleef door zowel de grasmat op het buitentalud als door de zeer harde klei/grind/asfaltlaag die ter plekke aanwezig bleek te zijn en zeer erosiebestendig was. Meer in het algemeen zal voor dit type dijken gelden dat een dergelijke laag, waardoor bresgroei in belangrijke mate geremd wordt, ook elders aanwezig kan zijn.

Zekerheid dat er ook daadwerkelijk sprake zal zijn van een sterk geremde bresgroei zoals in de hier beschreven proef is waargenomen is in de praktijk evenwel moeilijk te verkrijgen. Hierbij moet worden bedacht dat die zekerheid in het algemeen voor een lange dijkstrekking (ten opzichte van de vijf meter breedte van de bres in deze proef) moet kunnen worden gegarandeerd. De snelheid waarmee een bres in een kleidijk kan groeien zal daarom mede uit aanvullende praktijkproeven moeten worden bepaald. Voor de Nederlandse praktijk zal hiervoor aansluiting kunnen worden gezocht bij proeven die in 2002 in Duitsland zullen worden uitgevoerd en waar Delft Cluster via het al eerder genoemde project 'dijkdoorbraakprocessen' (projectnummer 03.02.02) bij betrokken is.

Ten aanzien van de overloop van het binnentalud kan worden geconcludeerd dat slechts weinig schade is opgetreden, ondanks het betrekkelijk hoge overloopdebiet. Afgaande op de resultaten van één van de classificatieproeven en de richtlijnen in de Leidraad Toetsen op Veiligheid (katern 8, hoofdstuk 4) zou ook geen schade verwacht hoeven te worden. Hierbij dient wel te worden aangetekend dat in de Leidraad alleen onderscheid wordt gemaakt tussen overloopdebieten groter of kleiner dan 0,1 l/m/s. Het tijdens deze proef gerealiseerde debiet was enkele orden groter, zodat de vraag opdoemt of hier wel rekening mee gehouden is. Wel geldt in dit geval dat op basis van de Leidraad terecht de score 'goed' is toegekend.

BIJLAGEN

Bijlage 1:

Waarnemingen voorafgaand en tijdens de proef

Verslag voorbereidingen overloop- en bresgroeiproef op 5 december 2001

Van: Meindert Van

dd. 2 jan 2002

10.00 uur: begin proef. Scheuren in de dijk en met name die aan de buitenkruinlijn lijken groter, dat wil zeggen breder, dan een week geleden.

10.30 uur: pompen gaan aan, terwijl waterniveau in de kuip circa 1.5 meter onder de kruin ligt.

11.00 uur: zandzakken plaatsen in de rechterhoek (Rotterdamkant) van de damwandkuip, omdat hier de restantkruin het laagst is, terwijl we daar niet de bresgroeiproef willen doen vanwege het storend effect van de damwand. Uit een meting van de kruinhoogte van Arcadis blijkt dat als de eerste 10 meter naast de damwand wordt opgehoogd met zandzakken dan ligt het laagste punt circa 15 meter van de (Rotterdamse kant van de) damwand af. Dit ligt ook mooi tussen twee pompputten.

12.00 uur: pompen uit terwijl water circa 0,5 meter onder de kruin ligt. Zandzakken in de hoek van de damwandkuip lijken nog net geen water te hoeven keren. Er wordt zand achter (polderzijde) de zakken gelegd om deze beter bestand te maken tegen een hogere te keren waterstand.

12.30 uur: besloten wordt vandaag waterniveau precies tegen de kruin te zetten en dan te kijken wat er gebeurt.

13.30 uur: pompen worden weer aangezet en de kuip vult zich tot enkele centimeters onder het laagste deel van de kruin. Dit duurt echter tot 15.30 uur, omdat om 14.00 uur het achterland droog viel en alleen nog met de relatief kleine pomp uit de rivier de kuip kon worden gevuld. Om 14.00 uur stond het water circa 0,3 meter onder de kruin.

15.30 uur: de scheuren in de dijk groeien zichtbaar groter en brokstukken vallen naar beneden. Ook beginnen op eerst één en later (dat wil zeggen binnen een half uur) meerdere plaatsen stroompjes water met zand- of kleideeltjes te ontstaan. Deze stroompjes hebben elk een zeer globaal geschat debiet van 0,1 liter per seconde.

16.30 uur: diverse stroompjes water komen uit de dijk en geregeld valt er een brokje van de restant kruin naar beneden. De bestaande scheuren verbreden zich en nieuwe scheuren (parallel aan de dijk) ontstaan. Overal is de kruin 'papperig' en nat door de verzadiging, terwijl het water minder dan één uur op het hoge niveau staat. De doorlatendheid van het dijksmateriaal is dus groot.

17.00 uur: besloten wordt de proef voor vandaag te stoppen en sinterklaas te gaan vieren. Het waterniveau in de kuip wordt relatief snel verlaagd door te hevelen.

Transcriptie dictafoon-opnamen overloop- en bresgroeiproef Bergambacht, donderdag 6 december 2001

(één alinea per opname, verduidelijkingen tussen haakjes)

10:15 Rond half negen is de damwand gevuld tot circa 20 cm onder de kruin (dit kan ook 30 à 40 cm zijn), het afgeschoven deel van de dijk was op dat moment droog. Er is nu (10:15) wat water op gekomen, je kunt een heel klein stroompje zien achter de tuimelkade ter plaatse van piket 10.

10:30 Van piket 1 (damwand westzijde) tot en met piket 5 is er wat klei tegenaan gelegd om het te verstevigen in verband met scheurvorming. Dit is het gedeelte waar de zandzakken op liggen (en waar overlopen of anderszins bezwijken minder gewenst is, vanwege de mogelijk storende invloed van de dwars door de dijk heen lopende damwand).

10:33 De grote pomp in het achterland is aangezet en de damwand raakt weer gevuld. Sinds half negen is het peil wel een decimeter of zo gedaald.

10:47 Waterstand damwand is +4.75m op de peilschaal iets westelijk van de brug over de damwandkuip. De kwel begint langzaam toe te nemen.

10:51 De waterstand is nu +4.79m.

10:54 De 'berm van Jaap' begint aardig met water gevuld te raken (d.w.z. er staan grote plassen water op de berm die begin augustus na ontgraven weer opnieuw is aangebracht tussen de hoofdmeetraai en de nevenmeetraai of oostraai).

10:55 Waterstand +4.80m. De kwel is niet significant toegenomen, er is duidelijk een klein stroompje zichtbaar.

10:58 Waterstand +4.83m in de damwandkuip en bij piket 8 neemt het stroompje duidelijk een beetje toe.

11:01 Waterstand +4.84m en de stroompjes bij piket 8 beginnen toch wel duidelijk toe te nemen in vrij korte tijd. Ze zijn nog steeds erg klein, overigens.

ca. 11:02 Bij piket 10 lijkt het tussen de vijf en de tien centimeter onder de bovenkant te staan.

11:03 Waterstand +4.85m en bij piket 8 neemt de kwel nog steeds langzaam toe.

11:04 Bij piket 6 en 7 zijn de scheuren in de tuimelkade duidelijk toegenomen ten opzichte van twee uur geleden.

11:07 Waterstand +4.87m, geen significante veranderingen.

11:09 Bij put 207 begint het water nu in te stromen, dit is bij piket 30.

11:09 Waterstand +4.88m en het lijkt nog geen vijf centimeter onder het laagste punt te zijn – dit punt lijkt bij piket 10 te zijn, daarnaast lijkt het bij put 207 (piket 30) en bij de brug (westzijde - piket 24) ook niet zo hoog.

11:12 Het water stroomt er over heen tussen piket 4 en 5 – het loopt er niet overheen, het loopt tussen de zandzakken door.

ca. 11:12 De waterstand was daarnet ongeveer +4.89m

11:13 Gijs (Hoffmans) en ik (André Koelewijn) proberen er met verdichten wat aan te doen; het water stroomt onder een zak door.

11:14 Bij piket 10 staat het water nog ongeveer een centimeter onder de bovenkant van de kade. De waterstand is +4.90m precies.

11:15 Precies bij piket 10 stroomt het water er nu overheen.

11:15-nog steeds, waterstand +4.91m

11:17 Bij de tweede poging (eerste was na 11:15) lukt het weer niet om de slang vanaf de pomp in het achterland naast de damwandkuip te leggen (dit wordt geprobeerd omdat pas rond twaalf uur grotere pompcapaciteit beschikbaar zou zijn, het begin van bresvorming – volgend op overlopen – werd daarom uitgesteld). Er is bij put 207 wat over heen gestroomd (vanuit de slang), maar dit levert geen duidelijke schade op. Het stroomt gedeeltelijk wel in de scheuren weg.

11:18 Bij piket 24 stroomt het er ook overheen, en daar slijt het best wel hard. Waterstand is +4.92m.

11:19 Bij piket 10 stroomt het ook aardig door. Tussen piket 11 en 12 zit er een gang door de dijk heen, dit wordt (bij nader inzien) waarschijnlijk bij piket 10 gevuld (aan de achterzijde), via een spleet.

11:20 De stroming tussen piket 11 en 12 wordt inderdaad veroorzaakt door het instromen in een scheur bij piket 10. De waterleiding (slang vanuit grote pomp in achterland) ligt inmiddels al twee, drie minuten buiten de damwandkuip.

11:23 Het dichten van de stroom bij de zandzakken, bij piket 4 en 5, is succesvol gebeurd. Bij piket 10 stroomt er nog een heel klein beetje overheen. Bij piket 24 stroomt er nog steeds een beetje overheen en daar begint nu een rij stoeptegels (trottoirbanden die net zuidelijk (=rivierzijde) van de laatste grote scheur ontstaan door het oprijfmechanisme, een week eerder, aan de rand van de oude dijkweg aanwezig zijn) om te kachelen. De waterstand is +4.93m.

11:23 Bij piket 24 is een centimeter of 5 à 7 van de bovenrand weggeërodeerd (dit betreft 5 à 7 cm horizontaal op de min of meer vlakke bovenkant van de dijk, deze erosie is niet dieper dan ongeveer een centimeter).

11:27 Bij piket 10 (overstemd door iemand anders, beide onverstaanbaar).

11:31 Waterstand +4.91m. Bij piket 24 stroomt het er nog langzaam overheen en bij piket 10 stroomt het er nog langzaam overheen, maar erg veel stelt het niet meer voor.

11:38 Waterstand +4.90m. Het overlopen is overal gestopt.

11:50 Opeens begint het bij piket 10 weer hard te stromen. De pomp is ook weer aangezet en de waterstand is ook weer +4.93m. Het gaat hier nu wat harder dan de vorige keer.

... bij piket 24 ... (rest opname mislukt)

11:53 Bij piket 10 stroomt er inmiddels zoveel over dat de mensen kanten gaan kiezen (dus aan één van beide zijden van de stroom gaan staan) en het stroomt ook in de scheuren op de weg. Het overgestroomde water begint onderhand de binnenkruinlijn te bereiken.

11:54 Waterstand +4.94m en bij piket 24 stroomt het er ook weer overheen, dat gaat ook vrij fors.

11:54 Bij piket 25 stroomt het ook onder het brugdek door, langs put 203 (moet 206 zijn).

(Enkele mislukte opnamen, hierna wordt overgegaan van een cassette-dictafoon op een digitale dictafoon.)

11:55 Waterstand +4.95m, bij piket 24 en 25 stroomt het er vrij hard overheen en daar worden nu tegenmaatregelen getroffen, omdat dat (d.w.z. een (begin van een) doorbraak daar) een te verstoord beeld geeft ten gevolge van put 206 en de brug.

11:56 Bij piket 8, bij piket 7 t/m 11 stroomt het er nu aardig overheen en gaat dan in een scheur, vervolgens stroomt het door gaten heen naar buiten. Inmiddels begint een aardige stroom over de dijk heen te ontstaan.

11:57 Bij piket 24 en 25 slagen de pogingen om het water tegen te houden nog niet echt, het lijkt dweilen met de kraan open. Waterstand +4.95 à 4.96m.

11:57 Piket 25 staat op omvallen, er wordt nog steeds geprobeerd om het dicht te krijgen, maar dat lukt eigenlijk niet. Bij piket 7 t/m 11 stroomt het er ook aardig overheen, met een wat groter debiet dan bij piket 24 en 25 – en daar lijkt het dichten nu toch te gaan lukken.

11:58 Bij piket 9 gaat het erg hard, vooral bij piket 10, over een vrij breed stuk, van iets voor piket 7 tot iets voorbij piket 11 loopt het vrij, piket 9 zakt inmiddels naar beneden, er vallen schollen naar beneden, piket 8 is ook bijna weg. Toon (cameraman) wordt geroepen. De tuimelkade is op zich nog overeind, maar het materiaal begint aan de achterzijde in rap tempo weg te stromen en dat houdt het niet lang meer.

11:59 Bij de binnenkruinlijn begint zich een geul zich enigszins te concentreren. Bij piket 8 en 9 houdt de tuimelkade het nog steeds.

12:00(:05, later afgeleid. Verdere tijdstippen in dit blok op 5 seconden nauwkeurig.) De tuimelkade begint nu ook wat in te storten, na een opmerking van Paul Teunissen dat het nog niet zo hard gaat is het (voortschrijden van het erosieproces) genoeg om weer een schol te laten gaan. Over een breedte van 10 à 15 meter verspreidt het water zich (over de kruin) om dan over de binnenkruinlijn naar beneden te stromen. Beneden bij de teen is het nog niet helemaal zichtbaar. Nu gaat piket 9 verdwijnen, piket 10 staat op het punt ook te bezwijken. Inmiddels is het 12:01:00, net geworden. Bij piket 23 t/m 25 is de boel dicht, het zal zich dus concentreren bij piket 9 ongeveer. Waterstand +4.95m. ... Er beginnen zich wat geultjes te vormen op de binnenkruinlijn, waardoor het wat geconcentreerder naar achteren stroomt. (12:02:00) Piket 10 staat op het punt te bezwijken, piket 8 gaat ook bijna, en dan, als die gaat, gaat er gelijk een hele schol van de tuimelkade ook mee, en dan is het weg – daar gaat'ie! ... Er is nu echt een begin van een bres in de tuimelkade. Bij de binnenteen is het nu pas goed aangekomen. De bres begint geleidelijk aan te groeien en is nu zo'n 20 à 50 centimeter breed. Het concentreert zich nu, bij piket 10 stroomt bijna niks meer, waar ooit piket 9 stond wordt het nu breed. (12:03:00) Afschatting stroomsnelheid: er gaat nú een papiertje in, en dat is nu helemaal verdwenen, dus daar hebben we ook niet zoveel aan. Waterstand damwand +4.93m. Het debiet door de bres is vrij hoog. Toon Lankhorst filmt vanaf de andere kant (vanaf de westzijde). Het achterland ziet er inmiddels erg nat uit. De bres lijkt vrij stabiel, die groeit niet echt, af en toe vallen er wat happen (12:04:00) van het achterste deel van de tuimelkade, dus het gedeelte het dichtst bij de nieuwe dijk, in, maar het is ook duidelijk zichtbaar dat het deel daarvoor ondergraven raakt. Bij piket 7 verdwijnt er weer een 30 centimeter (grond) in. Het water valt vrij steil naar beneden, vanaf de rand zo'n 20 – 30 centimeter naar beneden en dat slijt geleidelijk aan uit, het graslichaam dat uit het buitentalud kwam blijft halverwege in het stroomgat zitten. Waterstand +4.92m. Het is nu 12:05:00. Het peil is nu dus alweer drie centimeter gedaald. Piket 7 lijkt nu ook te gaan, langzaam wordt de bres breder en er is ook steeds minder (stromings)weerstand van het gebied erachter. Bij de buitenkruinlijn is één grote stroom, recht achter de bres. Iets ernaast, drie meter ernaast, ook een aardige stroom, en achter piket 18 is er ook nog een geultje. Bij 'oorspronkelijk' piket 10 gaat het nu ook wat verder bezwijken. Het waterpeil in de damwand is nu +4.91m. (12:06:00). In het achterland, in de grote sloot net opzij (westelijk) van de hoofdraai, staat een brede stroom. Het

binnentalud lijkt het aardig te houden op dit moment. Langzaamaan wordt de geul iets breder, dat gaat niet zo hard. En nú (12:06:45) schuift er een schol in, net naast piket 7, die wordt langzaam weggegeten door de stroom en dan begint de volgende schol weer te gaan. (12:07:00) De stroom gaat nu toch weer richting de andere kant. Die kant lijkt de aanval te hebben overleefd (geen uitschuring meer, de stroomt concentreert zich in het midden). Op de oude dijk is een vrij brede stroom nu ontstaan die zich naar achteren toe weer concentreert in twee stukken, het kleine geultje achter piket 18 wordt steeds kleiner en krijgt onvoldoende aanvoer, inmiddels. Er wordt overwogen een pomp erbij te zetten, dat wordt dan één pomp van 900 kubieke meter (per uur). Waterstand +4.91m of iets minder, +4.90m (12:08:00). ... (12:08:20) Het lijkt op dit moment een vrij stabiele geul, langzaam stort het wat in aan de kant van piket 7. Het binnentalud is ook vrij stabiel, er is op dit moment één hoofdgeul en één bijgeul. Het gras lijkt verder nog intact. (12:08:55) Nu gaat weer een vrij groot stuk bij piket 7 kapot. Piket 7 staat overigens nog wel nog steeds, al is het op het randje. De oranje papertjes voor stroomsnelheidsmetingen zijn niet te volgen. De grote pomp is overigens nog steeds niet aan, de waterstand is +4.89m (12:09:25). Bij piket 11 is er weer een stukje ingezakt. (12:10:00). Piket 7 staat er nog steeds, de pomp staat nog niet aan. ... (12:10:30) Waterstand +4.88m à +4.87m. ... (12:10:50) De stroom begint duidelijk wat af te nemen. Het binnentalud houdt zich aardig. (12:11:15) Waterstand +4.85m, dat verklaart ook dat de stroming afneemt. De zijkanten worden niet duidelijk meer geërodeerd. ... (12:11:35) Het water is over een breedte van een meter of vijf op de oude dijk een centimeter of vijf diep, de stroming is vrij sterk. Toch is de hoeveelheid water minder dan het eerst was. Het is inmiddels 12:12:(00), waterstand +4.84m à 4.83m.

12:15 Waterstand +4.70m, de stroming stelt weinig meer voor en heeft zich over het talud geconcentreerd vlak achter de bordjes van Allersma, rij nummer 2 vanaf het westen gerekend. Dat is één geul die verder stabiel is. De bres is ook stabiel. Er zijn wat problemen om de pomp aan te krijgen.

12:21 Waterstand +4.70m en de pompen zijn nog steeds niet aan.

12:40 Waterstand +4.69m, inmiddels is ontdekt dat er op ongeveer een meter onder de bovenkant van de kade een brede harde rand zit, van klei of iets dergelijks, het lijkt wel haast beton, het is erg sterk, maar het is niet duidelijk waar dat door komt. Op het binnentalud ligt het gras om, maar dat houdt het verder wel. De bres blijft van een constante grootte.

12:44 De centrifugaalpompen staan net aan (2 stuks, gezamenlijk debiet circa 1600 m³/uur). Waterstand +4.69m. De bres is redelijk constant van grootte, dankzij het gras (en de harde rand) schiet de bresgroei niet erg op. ... Naast de centrifugaalpompen is ook de pomp in het achterland aan, die levert maximaal zo'n 100 kuub (per uur). In de 40 seconden dat deze opname nu duurt is de waterstand al +4.72m, dus dat heeft best wel snel effect, aangezien de peilstok ook nog eens aan de andere kant (van de bres als de pompen) zit. De stroom is ook duidelijk weer sterker, maar op de dijk staan nog steeds mensen in de stroom met elkaar te praten. De stroom uit de centrifugaalpomp is nog aan het toenemen. Waterstand na 1:20 opnametijd is nu +4.76m. Het begint nu echt hard te stromen, de mensen zijn nu ook weg uit de stroom. Waterstand (na 1:40 opname) is +4.79m en het begint wat te golven. Piket 7 staat nog net overeind. Het is nu nog onduidelijk of er één of twee pompen aan staan (achteraf bleken er twee aan te staan). Waterstand +4.83m en snel stijgend, opnametijd 2:20. Er waagt iemand z'n leven voor een mooie foto. Waterstand is nu +4.85m (3:00 opnametijd). Piket 7 staat nog steeds overeind, de bres is niet echt groter geworden. In het achterland begint nu, bij de binnenkruin, ook iets te gebeuren. Het is niet zo goed zichtbaar. De bres is nog steeds niet gegroeid. Waterstand +4.86/+4.87m (3:45 opnametijd). ... Het water stroomt vrij hard het achterland in. Waterstand is inmiddels +4.87m (4:20 opnametijd). Het gaat dus niet zo erg snel meer omhoog. ... Over het talud stroomt nu een brede stroom, ook door het kleine geultje bij piket 18 stroomt het weer. De bres is nog steeds niet aan het groeien. De waterstand is inmiddels +4.88m (5:10 opnametijd). Er schijnen nu toch twee pompen al die tijd al aan te staan. ... Vlak achter de leemrand lijkt de stroming vrij diep te gaan en lijkt er grond uit te worden opgewoeld. Omstanders zeggen ook dat het niet snel gaat. Waterstand +4.88m, nog steeds (6:00 opnametijd). De erosie aan de randen van de bres lijkt niet toe te nemen. Het is inmiddels 12:50. De situatie lijkt vrij stationair. De waterstand is +4.88m en daar komt dus niet veel bij op dit moment (opnametijd 6:55).

12:53 Ongeveer dezelfde omstandigheden als daarnet. Gerard Kruse schat de stroomsnelheid op 1 à 2 meter per seconde. De papiertjes zijn nu op. De bres is constant, de waterstand ook: +4.88m. Op het binnentalud lijkt niet zo heel veel te gebeuren. Kruse meldt dat het langzaam slijt.

Het gras aan de buitentaludzijde is weg, het stromingspatroon is nu ook anders, en vlak achter de leemrand welt het omhoog. ... Waterstand +4.87m. Het binnentalud slijt, het water stroomt over een breedte van 15 à 20 meter eroverheen. (opnameduur 45 seconden)

(12:59) Bovenkant peilstok is NAP +6.25m. De bres houdt zijn breedte, er is verder nog steeds onduidelijkheid over het aantal pompen dat aan staat: één of twee. De breedte van de stroming over het binnentalud wordt door anderen geschat op 10 meter. Het is nu 12:59. De stroom over het binnentalud, bij een breedte van 10 meter, wordt geschat op 50 l/s/m. (1700 m³/uur = 470 l/s, bij 10 m breedte 47 l/s/m, bij 15 m 31 l/s/m). Misschien is het ook wel 12 meter breed, maar in elk geval niet meer dan 15 meter. (De stroom is wat smaller dan eerst). Waterstand 5.10m + NAP, de peilstok in de damwand staat nu op +4.85m, dus daar zijn de vorige metingen op te corrigeren; de vorige metingen moeten dus met 25 centimeter omhoog worden bijgesteld. De bres is vrij constant. Het stromingspatroon begint wel wat te wijzigen. Het asfalt houdt het heel aardig; aan de rand van de eerste scheur verandert niet veel.

13:01 Waterstand +4.84/+4.85m (ongecorrigeerd), het stroomgat lijkt op het oog ook wat dieper te zijn. Het stromingspatroon verandert ook iets. Aan het buitentalud lijkt niet zoveel te gebeuren, Gerard Kruse neemt er wat detailfoto's van.

13:17 Er lijkt niet echt wat verandert. Michiel Bontenbal haalt een volkomen ontgrond stuk gras weg uit de bres, maar veel meer gebeurt er niet.

(ca. 13:25) Peil damwand +4.84/+4.85m. Bij piket 27 en piket 28 begint het nu ook een beetje door te lopen.

13:28 ... De vorige opname was een paar minuten geleden.

13:34 Er lijkt een betonnen rand te zitten waardoor de bres niet verder groeit. De grasrand lijkt het probleem voor verdere bresgroei niet zozeer te zijn. Geprobeerd wordt om die harde rand wat weg te halen, omdat we op deze manier anders wel dagen door kunnen gaan, zo is de gedachte bij de omstanders. Waterstand +4.80m. Die balk lijkt ons dus echt parten te spelen, die lijkt niet verwijderbaar te zijn. Het binnentalud lijkt het ook goed te houden. Uiterst rechts (oostzijde) lijkt een wat diepere geul te ontstaan, maar ook daar houdt de grasbekleding het wel aardig tegen.

13:49 De pomp is om 13:40 uitgezet. De waterstand is toen gedaald tot 1.32m onder bovenkant peilschaal. Om 13:45 is de pomp weer aangezet. Nu is de waterstand weer +4.75m volgens de oude telling. Er lijkt verder niet zoveel gebeurd te zijn. De pompen zijn even uitgezet en daarna weer aangezet, om nog onbekende redenen. Aan de harde rand is in de tussentijd niet veel gebeurd, geprobeerd is om te kijken wat voor materiaal het is.

13:54 Het water dat over de dijk stroomt is nu vrijwel schoon (hiervoor werd er veel materiaal (zand, klei, ...) meegevoerd). De rand van het asfalt, bij de binnenkruin, lijkt zo langzamerhand ook wat hoger – ofwel, het binnentalud begint zo langzamerhand toch wat weggesleten te raken. Dat is ook op een andere plek te zien; aan de rand van de geul lijkt het ook een centimeter of vijf lager te zijn dan het eerst was. Waterstand +4.75/+4.74m.

14:00 Waterstand +4.74m. Er is net een tweede kraan gearriveerd (de eerste kraan kon maximaal 2 van de 3 pompen tillen, een tweede kraan was nodig om ook de derde centrifugaalpomp te kunnen inzetten.). De mogelijkheid wordt geopperd dat de klei op het buitentalud wat steviger is omdat het op de zuidkant lag (uitharding in de zomer). Het water is nu vrijwel schoon.

14:03 Bovenaan de dijk is het water vrijwel schoon, benedenaan, bij de berm lijkt het wat vuil te zijn, dus materiaalmeevoerend (vanaf het talud). De grasmat lijkt nog gewoon dicht.

14:11 Gerard Kruse zit vrijwel bovenaan op het binnentalud met een onverklaarbaar probleem. Hij ziet grijs met bruine vlekken op een kleimonster vanaf het talud, normaal zou je dat op 1 à 1,5 meter onder maaiveld aantreffen, maar dat zit hier veel ondieper, dit is afkomstig van hooguit 30 centimeter onder oorspronkelijk maaiveld. (Achteraf lijkt de verklaring te zijn dat het om een stuk klei gaat dat eerst onder het buitentalud zat en door de stroming is meegevoerd, tot het bleef steken op het binnentalud.) De tweede kraan is waarschijnlijk om half drie klaar. Bovenaan is het water nu helemaal schoon, benedenaan lijkt het toch wel een beetje vuil te zijn.

14:17 De pompen zijn nu hooguit een minuut uit. Waterstand +4.63m. De damwandkuip loopt langzaam leeg. Er stroomt nu nog wel teveel om het gat precies te kunnen bekijken. Binnentalud voert betrekkelijk weinig mee, het is benedenaan wel wat vuiler dan bovenaan, maar erg veel maakt het niet uit.

Vlak achter de bres blijkt een ontgrondingskuil te zijn van lokaal wel meer dan een meter. Maar dat is vrij lokaal, op andere plaatsen lijkt het weer minder diep. De tuimelkade blijkt zeer verzadigd te zijn, daar is haast niet op te lopen. Het lijkt toch de grasmat te zijn die het gehouden, hoewel er direct onder die grasmat ook iets hards lijkt te zitten, dat zou oud dijksbekledingmateriaal kunnen zijn.

14:21 Waterstand +4.55m. Alleen de pomp vanuit het achterland, met een capaciteit van hooguit 100 kuub, staat momenteel nog aan. Het afgegraven achterland is op pakweg 30 à 50 centimeter na geheel volgestroomd. Door de bres stroomt nu niet zoveel meer, de stroom lijkt nu wel min of meer constant te blijven.

14:23 Daarnet, om 14:20, blijkt ook de leiding vanuit het achterland uit de kuip gegooid te zijn. De damwandkuip is nu aan het leegstromen, de waterstand is nu +4.53m. Er stroomt weinig meer. De ontgrondingskuil bestaat uit, eerst doorweekt gras, dan iets hards, dat lijkt wel een balk, daarachter een ontgrondingskuil, en dan gaat de bodem weer omhoog, dan komt namelijk het ruim één meter verzakte asfalt.

De binnenberm lijkt, afgaande op de graswortels, een paar centimeter te zijn weggesleten, maar het gras lijkt vrij diep geworteld. ... Een uitgetrokken graspol blijkt (voor uittrekken) 7 tot 12 centimeter dieper vast te hebben gezeten.

14:28 Waterstand +4.50m. Het gras blijkt, volgens Gerard Kruse, over de eerste meter (vanaf de binnenkruinlijn, dus bovenaan het talud) ontgroend te zijn, daaronder niet. Te verwachten valt dat bij gelijkblijvende stromings- en turbulentiecondities – afhankelijk van de waterdiepte – niet iets significant zal veranderen. Verdere ontgroning zou niet te verwachten zijn gedurende de komende paar dagen, bij gelijke condities, dat zou gebaseerd zijn op proeven in de Deltagoot.

14:33 Waterstand +4.50m. Het is bijna opgehouden met stromen. Er blijkt inderdaad een soort balkachtig iets te zitten (bij de bres). Je krijgt eerst een grasmat, dan valt het een eind naar beneden, ongeveer 30 centimeter, en dan heb je een stuk, dat lijkt wel asfalt of zo. De ontgrondingskuil blijkt 75 centimeter diep te zijn, onder het asfaltniveau van de dijk, dan komt de (scherpe) stok (waarmee dit bepaald wordt) op een harde ondergrond terecht.

De harde rand blijkt toch los te zijn. Het is sterk kleiïg. Volgens Gerard Kruse verkit kleiïg grind, keileem.

14:35 'Grind, sterk zandig, matig kleiïg, organisch –sterk humeus heet dat' (Gerard Kruse). De pompen gaan nu aan, op 2700 kuub in principe, waterstand damwand +4.50m. Dat loopt in korte tijd hard op. Ronald (Folders van) Haitjema verwacht dat het debiet iets minder is dan 2700. (later wordt dit bijgesteld tot $3 \times 800 = 2400$, + achterlandpomp = 2500 m³/uur, eerst iets minder, later wat meer (wegvallend in de afronding op honderden) ten gevolge van afnemende opvoerhoogte als gevolg van het vullen van het achterland en opkomend getij.)

14:37 Debiet wordt geschat op 2400 kuub, waterstand in de damwand +4.69m, de pomp vanuit het achterland wordt er nu ook weer ingehangen, zodat het weer lekker begint te stromen.

14:39 Door gebrek aan mankracht is de pomp vanuit het achterland er nog steeds niet in. Waterstand 4.74 à 4.75m, dat golft een beetje.

14:41 De achterlandpomp gaat nu bijna aan. Waterstand is nu +4.76m. Het debiet wordt nu geschat op 2400 kuub vanuit Haitjema, 100 kuub per stuk verlies door lange leidingen en door de opvoerhoogte.

14:44 Waterstand +4.76 à +4.77m, weer een beetje golvend. Totaal debiet circa 2500 kuub. Veel lijkt er niet te gebeuren; de randen zijn sterk erosiebestendig.

14:39 Waterstand +4.76m. Er komen af en toe aardig grote brokken grond met de stroom mee over het asfalt, dat komt waarschijnlijk uit de ontgrondingskuil.

Beneden aan het binnentalud zijn hier en daar ontgrondingskuiltjes van ongeveer een decimeter (bron: Gerard Kruse).

14:56 Nabij die ontgrondingskuiltjes is in de geulen een stroomsnelheid van ongeveer 5 meter per seconde, dat is duidelijk meer dan daarnet. Waarneming door Gerard Kruse.

14:58 Nu begint het bij piket 7 door te slijten, het stort wat in, langzamer dan rond twaalf uur, maar een stuk sneller dan in de afgelopen tijd.

15:03 Piket 7 is zojuist omvergetrokken door Michiel Bontenbal, terwijl die de ontgrondingskuil aan het peilen was. Die is ongeveer een meter diep. Daarnet was het 75 centimeter, maar de waterstand is nu ook zo'n 25 centimeter hoger (dus diepte t.o.v. bovenkant asfalt ongewijzigd zo'n 0,75m). De erosie aan de kant van piket 7 is vrijwel tot staan gekomen. Waterstand +4.72m. In de oorspronkelijke scheur zijn wat welletjes zichtbaar, dit is de scheur die in augustus ontstaan is en die nu ongeveer 1,50 à 1,60 onder de rand van de buitenberm (tuimelkade) zit.

15:11 Gerard Kruse heeft net het binnentalud geïnspecteerd. Benedenaan beginnen er wat kale plekken te ontstaan en daar gaat het (erosieproces) binnenkort mogelijk wat harder. Het waterniveau in het afgegraven achterland is nu ongeveer NAP +0.00m; het is nu helemaal gevuld.

Correctie door Gerard Kruse: onderaan is het waarschijnlijk minder erg dan bovenaan.

15:21 Er blijkt aan de buitenkant (op het buitentalud) toch een laagje asfalt te zitten van zo'n 2 centimeter dik, en daar zit weer een harde band van klei en grind en dergelijke onder. Verder ziet de situatie er redelijk stationair uit. De berm (onderaan het binnentalud) is inmiddels zo goed als onder water verdwenen. Waterstand damwandkuip +4.73m.

15:42 Recht achter de bres stroomt er ook wat water onder het asfalt door, dit is het asfalt tussen de oude scheur (van augustus) en de nieuwe scheur (van november; de breedte van deze asfaltstrook is ongeveer een meter). Waterstand damwandkuip +4.73m.

15:46 Er zit nu een heel diepe wel, van meer dan een meter diep, achter die asfaltstrook, daar bulkt het water aardig omhoog. Dat staat in verbinding met de ondergrondingskuil achter de bres. De stroming over het binnentalud is nu meer geconcentreerd (tot een breedte van 5 à 7 meter). Het onderste bordje van Allersma staat inmiddels half onder water.

15:54 Het water stroomt bijna helemaal onder die eerste strook asfalt door. De stroming is daardoor ook wat meer geconcentreerd, tot net westelijk van de tweede raai van de bordjes van Allersma.

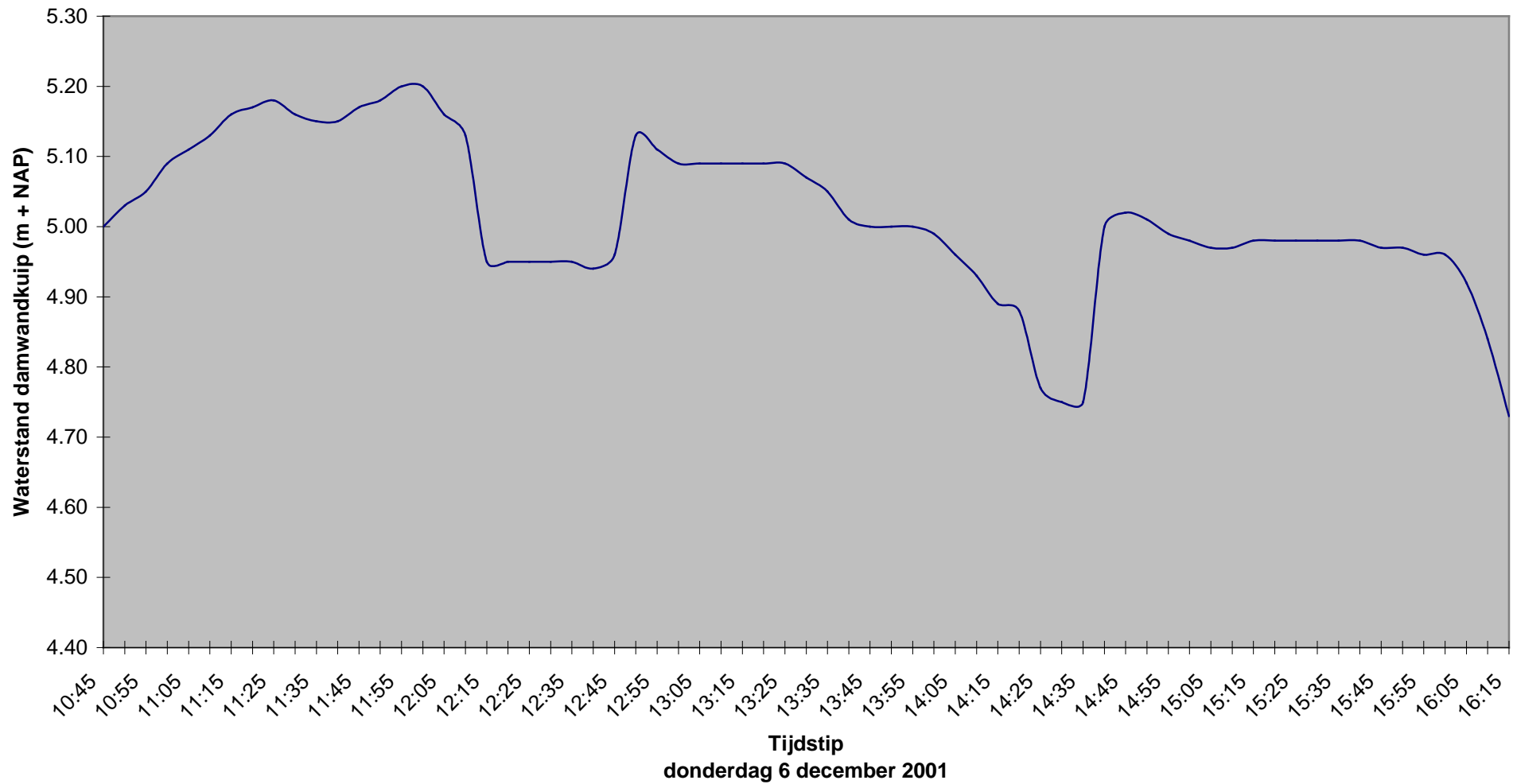
15:59 Ter plaatse van piket 6 komen er bellen uit de grond, net aan de rivierzijde van het asfalt. Over de strook asfalt stroomt inmiddels bijna geen water meer. Inmiddels stroomt het water weer ongeveer over de oorspronkelijke breedte en met de oorspronkelijke intensiteit over het binnentalud. Het onderste bordje van Allersma is voor tweederde onder water en het één-na-onderste bordje van Allersma, op de tweede raai, raakt nu aan de onderkant met het water. Waterstand damwandkuip +4.71m.

16:07 Waterstand +4.66m, de pompen zijn uitgezet. De asfaltbrug (= onderstroomde asfaltstrook van een meter breedte) is overloopbaar, deze staat inmiddels min of meer droog. Het debiet neemt ook af en de proef is eigenlijk ook ten einde. Hooguit 2 à 3 minuten geleden zijn de pompen uitgezet.

16:09 Waterstand +4.59m. Het laagste bordje van Allersma staat nu bijna onder water en het stroomt nog maar langzaam.

16:15 Waterstand +4.48m. Alles stroomt nu onder de asfaltbrug door, dat is niet zo veel meer. Op de berm zijn twee, nee drie geulen duidelijk geconcentreerd zichtbaar, eentje vlak achter de tweede raai van Allersma (oostelijk dus) en de andere op zo'n drie meter afstand van elkaar bij de damwandplank waar een bouwlamp op bevestigd is.

Bijlage 2:
Waterstand damwandkuip tijdens overloop- en bresgroeiproef Proefvak Bergambacht



Bijlage 3:

Rapportage waarnemingen Gerard Kruse t.b.v Delft Cluster thema 3, Kust en rivieren

TECHNISCHE NOTITIE

Aan : Koelewijn, GeoDelft
Van : Kruse, GeoDelft
Onderwerp : Bergambacht proefvak: Waarnemingen overloop- en bresgroeiproef 2001-12-06
Datum : 2001-12-20
Kopie aan : de Groot, 730202/600

ALGEMEEN

Op donderdag 6 december 2001 is er op een dijk een in situ 1: 1 overloopproof gehouden en wel in het proefvak Bergambacht. De proef is gehouden nadat in september en op 26 - 28 november een bezwijkproef is uitgevoerd, waardoor de kruin in het proefvak over het grootste deel van de breedte meer dan 1.4 m is gedaald (zie rapportage Bergambacht proefvak).

De proef is gehouden in het deel van het proefvak waar over een lengte van 50 m buitendijks een damwand tot kruinhoogte is aangebracht. Deze damwand maakte het mogelijk buitendijks water tot boven de lokale kruinhoogte tegen de dijk te zetten, waardoor er overloop van de kruin kon optreden.

De overloopbelasting heeft ongeveer 5 uur geduurd, gedurende welke er hoofdzakelijk visuele waarnemingen zijn verricht betreffende stroming, stromingspatronen, de ontwikkeling daarvan en de ontwikkeling van zichtbare ontgroning tijdens de proef.

Op maandag 10 december zijn er waarnemingen verricht aan de grond, de vegetatie en de ontgroning, tevens is er een 3-tal monsters van grond van de dijk genomen waarvan classificatie-eigenschappen zijn vastgesteld.

De in de paragraaf “grondopbouw” beschreven grondsoorten en opbouw ervan zijn vastgesteld na de proef bij de inspectie op 10 december. Ook zijn sommige waarnemingen over de geometrie van de dijk en de ontgroning, zoals vermeld in de paragrafen “waarnemingen tijdens overloop” op 10 december verricht.

Figuur 1 is een schets van de grondopbouw en de ontgroning na afloop van de proef.

AANVANKELIJKE GEOMETRIE

De bezwijkproef en de overlooppoef hebben plaatsgevonden in een proefvak met een dijk van ongeveer 5 m hoogte ten opzichte van het maaiveld, een kruinbreedte van 9 m en een binnentalud van gemiddeld 1:2.33 en over het grootste deel 1:2.14. De helling van het buitentalud bedroeg ongeveer 1:1.9. (zie schets Figuur 2). Op de kruin lag een geasfalteerde weg met aan weerszijden een met gras begroeide berm van ongeveer 1.2 m breed en met een zeer geringe helling.

Op het binnentalud is na het begin van de proef in september 2001 aan de bovenzijde over een breedte van enige meters een nogal losgepakte ongeveer 0.3 m dikke laag grond aangebracht. Op het talud zijn vele sporen van de werkzaamheden voor de bezwijkproef aanwezig, onder andere obstakels, kables, rijsporen en dergelijke.

Bij de bezwijkproef van 3 en 4 december is het grootste deel van de kruin ter plaatse meer dan 1.4 m weggezakt. De hoogte van de kruin van de dijk is over een breedte van ongeveer 1.2 m slechts heel beperkt aangetast (zie rapportage Bergambacht proefvak).

Het weggezakte deel van de kruin met daarop het asfalt bleef grotendeels onder een zeer flauwe helling op een 1.4 m lager niveau liggen. In de weggezakte kruin is een 0.2 m wijde dijkparallele scheur in het asfalt en de onderlagen aanwezig.

De gemiddelde helling van het binnentalud bedroeg na de bezwijkproef ongeveer 1:3.5 en is over een breedte van ongeveer 1m naast de kruin ongeveer 1:12.

Het door de damwand afgesloten volume, begrensd door de hoogte van de kruin, de dijk en de damwand, bedroeg ongeveer 1300 m³.

GRONDOPBOUW

De Figuur 2 is een schets van de grondopbouw van de kruin van de dijk. De dijk bestaat, naar het zich laat aanzien, voor een groot deel uit stevige matig siltige klei. Ter plaatse van het ontstaan van de bres zijn fasen in het aanleggen te herkennen, waaronder 2 verhardings- ophoogfasen.

De ontsloten aanvankelijke kruin van de dijk bestaat uit matig siltige klei (monster 126 intabel 1). In deze klei is een bodemstructuur als van een grasdijk aanwezig onder de huidige kruin en buitentalud. De grond is bruin en heeft een grof prismatische structuur met daarin 2-4 wormgangen per dm^2 over gehele hoogte van de onstluiting. Plaatselijk zijn clusters kleine graafgangen aanwezig (mierennest o.i.d.). Op ongeveer 1.9 m diepte is langs enige grote scheuren reductie opgetreden (grijze zone rond scheur), waarschijnlijk als gevolg van het wegzakken van de dijk na het ontstaan van de scheuren. Verwacht wordt dat hiervoor een periode van tenminste enige jaren nodig is. Deze benodigde duur, samen met aanwijzingen uit bijvoorbeeld de ligging van wormgangen ten opzichte van de breuken, wijzen erop dat de grote breuken in de bres lang voor de bezwijkproef van 2001 zijn ontstaan.

Op de aanvankelijke kruin is, na tenminste enige decennia, een wegfundering aangebracht bestaand uit een laag klei met grind met daarop een 0.1 m dikke laag met ongebluste kalk behandeld zand. Deze zandlaag is hard en verbrokken tot 0.1 m grote brokken. In de klei met grindlaag, komt een bodemstructuur voor als onder een oppervlakkige harde bekleding. Op de harde zandlaag is op een plek wat asfalt aangetroffen naast de wegverharding (mors naar het zich laat aanzien).

Op deze harde zandlaag is in een tweede ophoog- wegverbeteringsslag, een zandlaag van 0.6 m dikte aangebracht. Deze zandlaag vormt de huidige kruin van de dijk in het proefvak. Op deze zandlaag is, in 2 fasen, een asfaltverharding aangebracht, met een breuksteenlaag onder de laatste verharding.

Tabel 1: Overzicht van de classificatieproef waarden. Monster 125 is afkomstig van klei met grindlaag (zie tekstten Figuur 2), monster 126 is afkomstig van de klei van de aanvankelijke kruin, monster 127 is afkomstig van het binnentalud.

monster	locatie	diepte	γ_{nat}	γ_{droog}	W_n	W_l	W_p	P_l	>2.8 mm (van bulk)	>63 μ (zandgehalte)	2-63 μ	<16 μ	lutum	HCL gew.verl.	org. materiaal
no.	id.	m t	/m ³	t/m ³	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)	% (M/M)
125	1	1.00	2.13	1.78	19.8	39.6	20.3	19.2	16.9	33.8	48.1	45.9	18.2	10.8	2.0
126	1	1.40	2.02	1.63	23.8	39.6	19.1	20.5	0.0	27.1	50.0	48.1	22.9	11.5	1.6
127	2	0.15	1.92	1.45	32.7	53.3	23.1	30.1	0.0	27.0	42.9	56.3	30.1	8.8	2.1

AANGEBRACHTE BELASTING

In het door de damwand afgesloten gebied werd rivierwater gepompt. Het pompdebiet bedroeg:

12:00	~ 300 m ³ /hr, begin bresvorming, stroming door bres 100m ³ /hr
12:00 - 12:45	~ 300 m ³ /hr, daling drempel
13:00 - 14:15	1700 m ³ /hr
14:30 - 16:00	2500 m ³ /hr

Aanvankelijk leidde dit tot een 10 tot 20 m brede zone waarin water over de kruin stroomde. In een periode van 10 minuten na het begin van overloop ontstond er op het laagste punt een bres met breedte die reeds zeer kort na initiatie ongeveer 1.5 m bedroeg.

Na het ontstaan van de eerste bres is de pompcapaciteit aanmerkelijk uitgebreid. Het water verspreidde zich toen over de weggezakte kruin, met asfalt en aanliggende berm, tot een breedte van meer dan 10 m. Het water stroomde in een ongeveer 12 m brede zone het binnentalud af. Aan de bovenzijde was deze breedte enigszins begrensd door de op het oorspronkelijke grastalud aangebrachte losse grond. Deze losse grond was binnen ongeveer 10 minuten verdwenen in de afstroomzone, waarna het water over het oorspronkelijke grastalud stroomde.

Aan de teen van de dijk stroomde het water over grote afstand over een vlak gelegen berm die tegen het oorspronkelijke grastalud was aangebracht.

Het debiet over de grasmat van het binnentalud bedroeg respectievelijk ongeveer:

13:00 – 14:15	ca. 40 ltr/s/m
14:30 – 16:00	ca. 57 ltr/s/m

Gedurende het laatste ~0.5 uur wordt de stroming over het talud steeds meer aan de westzijde van de zone geconcentreerd.

ONTWIKKELINGEN TIJDENS OVERLOOP

Bres in de kruin

In korte tijd, < 0.5 hr, nadat het water het kruinniveau had bereikt, ontstond er een bres (zie Figuur 3). De bres ontstond door ontgroning van de zwaar beschadigde zodelaag en daaronder gelegen zandpakket ter dikte van maximaal 0.6 m.

In de bres ontstonden door het terugschrijden vanaf het verticale litteken van de bezweken kruin, kliffen op twee niveau's. De bovenste klif betrof een wand in een zandpakket dat door een stevige zodelaag van het buitentalud met hoog gras enigszins werd beschermd. Over een breedte van ongeveer 0.1 m is een stuk overhangende zode verwijderd, waarna de klif ter plaatse zich binnen een minuut 0.2 m in het zand ingroef. De onderste klif betrof een wand in stijve klei die aan de bovenzijde door een harde, maar verbrokkelde, laag van met kalk behandeld zand en door een plakje asfalt werd afgedekt.

De bovenste klif schreed geleidelijk terug zonder dat de diepteligging van het terras daarvoor, de harde laag, veel veranderde. Met het terugschrijden van deze klif werd de drempel naar het basin verlaagd, vanwege het relatief steile buitentalud. Ook nam de breedte van de instroomopening geleidelijk toe, deels door het verlagen van de drempel. Het absolute waterpeil bij de instroomopening werd door de toenemende afvoercapaciteit door de bres steeds lager, zelfs toen de pompcapaciteit na 2.5 hr werd vergroot. Het waterniveau boven de instroomdrempel, tussen 50 en maximaal 200 mm, veranderde gemiddeld echter slechts weinig tijdens de proef. De breedte van de bres in dit bovenste deel nam eveneens slechts weinig toe tijdens de proef. Er bestond een verwijding van de bres direct voorbij de door zode beschermde instroomopening, doordat stroomafwaarts onbeschermd zand werd meegenomen. Verbreden van de bres gebeurde doordat zand aan de basis van de bres wegspoelde, waarna de met wortels en zode versterkte toplaag nazakte. Door de verwijding was de hydraulische belasting op de zijwanden direct voorbij de door overhangende zode beschermde instroomopening gering nadat zich een bijna-evenwicht tussen afstroming en breedte had ingesteld. Geschat wordt dat na ongeveer 2 uur na het begin van de proef de bovenste klif nagenoeg niet verder terugschreed; het zand van de de kruin ter plaatse was toen verdwenen en er reste een instroomdrempel die uit zode op een relatief stevige kleibodem bestond.

De onderste klif ontwikkelde zich aanvankelijk over het hoogte-interval van 0.5 m tussen de harde laag in de kruin en het asfalt van het weggezakte deel van de kruin. De breedte van deze klif bedroeg na afloop van de proef ongeveer 1.5 m. De bovenlaag van 0.6 m zand op het weggezakte deel van het talud naast de asfaltbestrating spoelde in korte tijd weg, waardoor een smalle ondiepe ontgrondingskuil ontstond. Al het water stroomde over het asfalt af. De klif schreed terug, waarbij de verbrokkelde harde laag, brokken van 50 – 200 mm, werd verwijderd evenals de daaronder gelegen klei die in een wat langzamer tempo in grote en kleine brokken verdween. Na verloop van ongeveer 2 uur was de onderste klif in twee delen gesplitst: Het hogere deel gevormd door de met kalk verharde zandlaag en daaronder een iets minder teruggeschreden klif in stevige klei. De bodem van de ontgrondingskuil werd uiteindelijk slechts 0.1 – 0.2 m dieper dan de onderkant van het zand naast het asfalt.

Ongeveer 3.5 uur na het begin van de proef was al het zand onder een 1.5 m breed los gelegen deel van het asfalt vandaan gespoeld en stroomde het water onder dit deel van het asfalt, waarna het uittrad door een wijde spleet. De bodem van de ontgrondingskuil bereikte in dit stadium de eerder genoemde

diepte van 0.1 – 0.2 m beneden de onderkant van het zand. De klif in de stevige klei is uiteindelijk over een hoogte van ongeveer 1.5 m over een afstand van ongeveer 1.3 m teruggeschreden tijdens de proef van ongeveer 3 uur.

De klif is aan het eind van de proef tot een aantal grote dijkparallele spleten teruggeschreden. Deze spleten behoren tot een set die bij bezwijken van het dijklichaam hoort, echter er heeft geen grote herkenbare verplaatsing langs plaatsgevonden.

Binnentalud

Direct na het begin van de proef stroomde het water over een breedte van zo'n 20 m over de kruin. Het debiet per strekkende meter dijk was daarbij gering. Bij het vormen van de bres is een laag losse grond, die op de zode aan de bovenzijde van het binnentalud was aangebracht, over een breedte van meer dan 10 m in minder dan 0.5 hr geheel weggespoeld. De breedte van de stroming over het grastalud werd tijdens de proef enigszins beperkt door de aan de bovenkant aangebrachte grond; de aangebrachte losse grond werd begrensd door klifjes.

Hoewel over de gehele breedte van de afstroomzone water over het grastalud stroomde, concentreerde de stroming zich steeds meer in banen gedurende de proef.

In de eerste 2.5 uur van de proef, debiet 40 ltr/s/m, werd de zeer rulle, zeer losgepakte en weinig doorwortelde top laag van de zode verwijderd over grotere delen van het talud. Steile stukjes van minder dan 0.2 m breed en minder dan 0.1 m hoog die toen in het talud zichtbaar waren lijken reeds bij het begin van de proef aanwezig te zijn geweest.

Direct naast het overstroomde deel van het talud, bestond ongeveer 0.5 m boven het bermniveau een kleine wel met een ongeveer ronde doorstroomopening van 70 mm (graafgang van mol) waaruit water tot een hoogte van 50 – 100 mm omhoog kwam.

Na het verhogen van het pompdebiet en bij een debiet over het talud van bijna 57 ltr/m/s trad over grotere delen van het talud verdere erosie van de zodelaag op, waarbij de wortellaag en bovengrondse delen grotendeels intact bleven. De graspollen, op ongelijke afstand van 50 - 100 mm, bleven als bundels stevig in het talud verankerd. Boven de berm en plaatselijk elders op het talud was grasmat met fijner blad en meer homogene verdeling aanwezig, welke ook grotendeels intact bleef tijdens de proef. In een zone van ongeveer 1.0 – 1.5 m breed was naast het asfalt het grasblad na de proef verdwenen.

Na het verhogen van het debiet tot 57 ltr/s/m trad ter plaatse van aanvankelijke beschadigingen, zoals graafgangen en dergelijke, ontgronding tot 0.1 – 0.2 m diepte op. Deze kleine ontgrondingen hadden een steile stroomopwaartse helling, klif, die soms minder dan 0.2 m breed was. Op een tweetal plaatsen werden aan de bovenzijde van het talud kliffen van 0.2 m hoog gevormd met een breedte van 0.7 – 1.2 m. Deze klifjes zijn in een periode van ongeveer 2 uur enige decimeters teruggeschreden in de losgepakte structuur van de bovengrond van een grastalud. Opgemerkt wordt dat deze kliffen met name in het laatste uur van de proef teerugschreden.

In de bodem van de wat diepere ontgroningen was de grove blokkenstructuur, afmetingen 50 – 150 mm, van de klei uitgeprepareerd. Het oppervlak van de van rulle zodegrond grond ontdane zode toonde een zeer hoekige platige tot blokkige structuur.

SAMENVATTING VAN EFFECTEN

Tijdens de proef zijn de volgende effecten opgetreden, te weten:

Initiatie fase:

- Pompdebit $\sim 300 \text{ m}^3/\text{hr}$, duur $\sim 0.5 \text{ hr}$;
- Overloop over een breedte van 20 m over de kruin van de dijk;
- Initiëren van een bres op een laag deel in met beschadigde zode bedekt zand van de kruin, die terplaatse $\sim 1.2 \text{ m}$ breed is;
- Breedte van de instroomopening van de bres binnen 10 minuten $\sim 1.5 \text{ m}$;
- Diepte van de bres beperkt tot de zandlaag van 0.6 m dik en met gras begroeid
- Waterstroming over binnentalud geconcentreerd in een 5 m brede zone.
-

Bresgroei:

- 1.25 hr $\sim 1700 \text{ m}^3$, vervolgens 1.5 hr 2500 m^3 ;
- Instroomopening van de bres en schrijdt terug tot een niveau $\sim 0.6 \text{ m}$ beneden de oorspronkelijke kruin en groeit zijwaarts tot een breedte van 2 m, de waterlaagdikte over de instroomopening is steeds $\sim 50 - 200 \text{ mm}$;
- Bres groeit zijwaarts in het zand van de kruin tot een breedte van 3 m, in de daarondergelegen klei is er geen zijwaartse groei;
- Kliffen ontstaan in een harde, maar verbrokkelde, met kalk behandelde zandlaag en op een lager niveau in stevige klei, welke in de 3 uur durende proef ongeveer 1.3 m is teruggeschreden;
- In de ontgrondingskuil onder de klif is binnen 1.25 uren het zand naast en onder de asfaltverharding verdwenen. Na de proef is de ontgrondingskuil $\sim 0.2 - 0.3 \text{ m}$ in de klei gegraven;

Binnentalud:

- Tijdens pompdebit van 1700 m^3 zeer beperkte ontgroning, met name het verwijderen van de rulle grond boven de wortellaag van de zode, en zeer lokaal kleine openingen rond bestaande beschadigingen;
- Tijdens pompdebit van 2500 m^3 aantasting van de zodelaag bij beschadigingen en terugschrijden van 2 0.1 – 0.2 m hoge kliffen van maximaal 0.7 en 1.2 m breed, over grotere delen wordt de kruimelige top van de wortellaag in de zode verwijderd, plaatselijk ontstaan kleine klifjes bij bestaande beschadigingen.

Bergambachtproefveld: Erasmekuil reafatarikproef 2001-12-6

A=Zand, middel - fijn

B=Asfalt, zeer looel

C= Grond-asfalt, looel

D= grintig Zand behandeld met ongebluste kalk (grit), in brokken uiteengevallen

E= Kief met veel grint, meest in laagjes, grof prismatische structuur, weinig wormgangen

F= Kief, matig siltig, bruin, grof prismatische structuur, veel wormgangen, piepsaaijk veel fline gangen

F'= Kief, matig siltig, grijs (gereduceed), weinig structuur

G= Asfalt met onderlagen

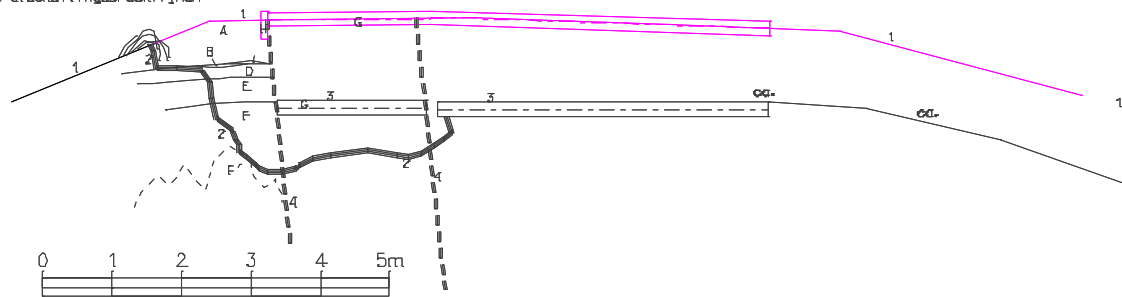
H= Betonband, veelal weggevalen

1= oorspronkelijke dijkvaam

2= gashefste bodem ontgrondingskuil

3= Verplaatst wegdek

4= grotere afachuvingabruuklijnen



Figuur 1: Schets van de oorspronkelijke dijk (sectie gelegen in de directe omgeving van het beproefde gebied), de grondopbouw bij de bres en de bodem van de bres na de overloopproof. Tevens zijn enige bij de bezwijkproof ontstane grote scheuren ingetekend.

Foto's

Van de proof en de schade zijn een groot aantal foto's gemaakt die op CD worden gezet. Tevens is er videomateriaal van 1 vaste permanente opstelling en van 1 mobiele camera.

Bijlage 4:
Foto-impressie proef



Begin van overlopen. Door de scheuren stroomt reeds water.



Pauze rond half een, de bres is hoofdzakelijk in de eerste 10 minuten na overlopen ontstaan.



Overlopen van het binnentalud rond 13:45.



Overlopen van het binnentalud kort voor het einde van de proef, bij maximaal debiet.



Situatie kort na het einde van de proef, even na vier uur.



Situatie op zondag 9 december: de asfaltbrug is ingestort.



Overzicht ontgrondingskuil (9 december)



Bres met oude, diepgaande, verticale scheuren zichtbaar.



Geulen in het binnentalud.



Gat ontstaan in grasbekleding.



Impressie van een geslaagde proef.