

# Advies

## Onderzoek erosie van kleibekleding met gras op het boventalud van de Waddenzeedijken

Advies nummer 21-07 van 7 september 2021

Aan het dagelijks bestuur van Waterschap Noorderzijlvest  
Postbus 18  
9700 AA Groningen

Geacht bestuur,

Momenteel loopt in opdracht van Waterschap Noorderzijlvest, in samenwerking met Wetterskip Fryslân, een onderzoeksprogramma dat gericht is op het bepalen van de sterkte van een kleibekleding met gras op het boventalud van de Waddenzeedijken. Het onderzoek is erop gericht om te bepalen of een versterking met harde bekleding kan worden voorkomen of verkleind. Het onderzoek is primair bedoeld om de lopende HWBP-versterkingsprojecten Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat en Koehool-Lauwersmeer te bedienen, maar kan mogelijk ook toegepast worden voor vergelijkbare dijken in de rest van Nederland. Het onderzoek heeft als doel de erosiesnelheid van het gras en de klei te kwantificeren.

In uw brief met kenmerk Z/20/04368 vraagt u het ENW of de ontwikkelde ontwerpmethode in de praktijk toepasbaar is bij de lopende HWBP-projecten van Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân en in hoeverre de ontwikkelde ontwerpmethode potentie heeft voor de dijken in de rest van Nederland.

### Advies

Het ENW is van mening dat het waterschap goed leesbare en navolgbare rapportages heeft opgesteld. Er zijn veel (Deltagoot)proeven uitgevoerd met verschillende taludhellingen en gras- en kleisoorten. Het eerdere beschikbare onderzoek is benut en de aanpak is passend binnen de overstromingskansbenadering. Voor de opzet en uitvoering van het onderzoek heeft het ENW veel waardering.

Voor een bredere toepassing van de methode vraagt het ENW aandacht voor een drietal aspecten:

1. Meer onderzoek naar de aanwezigheid van initiële schade op het boventalud en de verwerking in de probabilistische rekenprocedure in combinatie met belastingcomponenten.

Uit ervaring met eerdere proeven is gebleken dat de eerste fase, het proces van het ontstaan van voldoende initiële schade, vaak lang duurt. De werkelijke sterkte zit hem in de grasmat. Deze schade is nodig om het vervolgproces van voortgaande erosie, waar in dit onderzoek naar gekeken wordt, in gang te zetten. In het rapport wordt aangenomen dat de initiële schade (40x40x15 cm) altijd aanwezig is op de overgang van de bekleding naar het boventalud. Dergelijke schades, die veel ernstiger zijn dan 'open grasmat', worden in de praktijk niet veel aangetroffen op dijken en zijn eerder niet aangebracht in dergelijke proevenseries.



Het faalmechanisme van golfklappen op het boventalud van gras kwam in vroegere methoden niet voor. De overgang werd altijd ontworpen boven de maatgevende waterstand, waar alleen golfloop speelde. Met de invoering van de overstromingskans moet ook rekening gehouden worden met het optreden van zeer extreme waterstanden, waarbij er nog wel golfklappen op het boventalud kunnen voorkomen. De aanwezigheid van een behoorlijke schade op precies de ongewenste plek is een trendbreuk met eerder onderzoek en modellering.

In de probabilistische rekenprocedure is het ontstaan van initiële schade niet verwerkt. Dat zou wel moeten, bijvoorbeeld door schade door golfloop te beschouwen of door golfklappen wanneer de waterstand hoger dan de overgang komt. Bij het onderzoek in de Hedwige- en Prosperpolder worden hier ook stappen in gezet naar aanleiding van de daar uitgevoerde proeven, evenals in het Kennis voor Keringenprogramma van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. De combinatie van stormduur en golfbelasting wordt daarmee ook relevant, zeker als deze in de toekomst kan variëren.

Overwogen kan worden om de conditie van de overgang door de gebruiker te laten inschatten als de kans van aanwezigheid van een gat in de grasmat bij de overgang. Daarbij kan eventueel gebruik worden gemaakt van de schouwrappporten van de situatie ter plekke. Hierbij vertegenwoordigt het nu voorgestelde model een situatie met veel schade aan de overgang naar gras (kans op gat = 1).

2. Aandacht voor de verwerking van onzekerheden.

Het is mooi dat de onzekerheden expliciet in beeld gebracht zijn. Mogelijk kan dit nog beter benut worden door minder veiligheid in de formules aan te brengen, door te werken met gemiddelden en de onzekerheid in de probabilistische som terug te laten komen.

3. Geadviseerd wordt om voor de vertaling naar andere gebieden en dijken in Nederland nadrukkelijker de geotechniek inclusief de uitvoering van de oorspronkelijke dijkversterking mee te nemen.

Er dient volgens het ENW in het onderzoek meer aandacht voor de geotechniek te zijn. Er zijn verschillende soorten klei getest, waarbij de invloed van klapdruk op de erosiesnelheid op twee soorten klei moest worden ingeschat. Dit maakt een vertaling naar andere situaties moeilijk. Om die vertaalslag naar de rest van Nederland wel te kunnen maken zijn geotechnische parameters en inschattingen nodig. In het meetrapport worden resultaten van geotechnische proeven gerapporteerd, maar ook zaken als mate van verdichting en watergehalte tijdens de uitvoering van de dijkversterking zullen naar verwachting van belang zijn voor de erosiesterkte. Daarnaast hebben ook biologische en klimatologische aspecten invloed op de structuur van de klei.

## Conclusie

Het ENW is positief over het uitgevoerde onderzoek. Het is mooi dat verschillende modellen gecombineerd zijn in één aanpak en er aangesloten wordt bij de huidige software. Een toepassing in de praktijk voor de lopende HBWP-projecten van Waterschap Noorderzijlvest (Lauwersmeer-Vierhuizergat) en Wetterskip Fryslân (Koelhool-Lauwersmeer) is volgens het ENW dan ook verantwoord, met in achtname van onderstaande constatering.

Het model beschrijft maar een deel van het faalproces, namelijk voortgaande erosie. Door niet de initiële schade te modelleren, wordt mogelijk een te grote faalkans berekend voor de dijk in zijn geheel. In het voorgaande doet het ENW een aantal suggesties om hier in het kader van een bredere toepassing een beter



beeld van te krijgen. Daarnaast vraagt het ENW in de verdere uitwerking van de rapportages en verbreding van de toepassing meer aandacht voor de geotechnische aspecten van de materialen en de omgang met onzekerheden.

In de bijlage wordt nader ingegaan op de door u gestelde deelvragen.  
Wij hopen u naar tevredenheid van advies te hebben voorzien.

Hoogachtend,

Dr. ir. G.M. van den Top  
Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid



## Bijlage 1 Beantwoording van de gestelde vragen

Aan het ENW zijn in de adviesaanvraag met kenmerk Z/20/04368 (ondertekend door een lid van het dagelijks bestuur van Waterschap Noorderzijlvest, mede namens Wetterskip Fryslân) de volgende (deel)vragen gesteld:

1. Wat vindt u van de algehele aanpak van het onderzoek?
2. Zijn de proeven in de Deltagoot voldoende realistisch uitgevoerd en representatief voor de extreme omstandigheden tijdens een superstorm op de Waddenzeedijken?
3. Zijn de numerieke berekeningen met OpenFOAM geschikt om samen met de proefresultaten te gebruiken als basis voor de afgeleide formules voor de erosiesnelheid?
4. Zijn de als voorbeeld gegeven probabilistische berekeningen voor het bepalen van de benodigde dikte van de kleilaag correct uitgevoerd?

Het onderzoek is in de werkgroepvergadering van ENW-Techniek van 4 december 2020 voor de eerste maal geïntroduceerd. De voorliggende adviesvraag is aan de orde geweest in de vergadering van 18 juni 2021. Ten tijde van de vergadering waren de volgende stukken beschikbaar:

- Brief adviesvraag onderzoek erosie kleibekleding met gras op boventalud-versie 2, 11-6-2021 (in concept)
- Erosie van kleibekleding met gras op boventalud van Waddenzeedijken; meetverslag Deltagootproeven; Deltares, conceptrapport 11204841-006, 12 maart 2021
- Erosie van kleibekleding met gras op boventalud van Waddenzeedijken; Analyse van de Deltagootproeven en berekeningen met OpenFoam; Deltares

### Beantwoording van de deelvragen

#### 1. Algehele aanpak

Het ENW is erg positief over de aanpak waarbij gekeken wordt naar het erosieproces na initiële schade. Dit past goed bij de stap die is gemaakt naar de overstromingskansbenadering. De kennishiaten voor het inschatten van een volledige overstromingskans zijn groot. Met dit onderzoek wordt er weer een stap in gezet.

De projectaanpak ziet er gedegen en volledig uit met zes grote proeven. Het is een mooie combinatie van hoogstaande numerieke en fysieke modellen. Het uiteindelijke resultaat betreft wel een gecompliceerd geheel.

Inhoudelijk worden uit het onderzoek de volgende zaken niet helemaal duidelijk en het ENW vraagt hier aandacht voor bij de definitieve uitwerking:

- De hypothese van Kruse over impactzone en het onderscheid in twee fasen, met 1) de wortelzone met ondiepe kuilen naar 2) een erosieproces met daarbij een verticale klif, is maatgevend verondersteld. Het is onduidelijk hoe zeker deze hypothese is of dat daar nog een onzekerheid omheen zit die bijvoorbeeld met een scenario meegewogen zou moeten worden in de probabilistische aanpak.
- Hoe het effect van vertalen van 3D-processen naar 2D en weer terug uitpakt in een overschatting of een onderschatting van de sterkte van de kleilaag. Voor referentie en validatie zou gekeken kunnen worden naar de schade aan de Emmapolderdijk in 1962.



- Doordat het gaat om natuurlijke materialen is er sprake van veel spreiding in eigenschappen. Mogelijk is een betere schatting van de sterkte van de klei en de sterkte van de grasmat mogelijk. Voor de toepasbaarheid in de rest van Nederland zou het prettig zijn om een relatie te geven tussen de klei en de  $c_d = 0,6$ , anders dan zandgehalte  $< 70\%$ . Te denken valt aan soortelijk gewicht en of plasticiteitsindex, eventueel in relatie tot de vloeigrens.
- In bijlage D in het meetrapport zijn de klei-eigenschappen opgenomen. Het wordt in het rapport niet duidelijk of het kleimateriaal van de proeven representatief is voor de hele Waddenzeedijk of alleen voor deze locatie.
- De doorvertaling naar een erosiesnelheid als functie van klapdruk is gebaseerd op twee meetpunten met verschillende typen klei en geeft een beperkt beeld van de invloed van de verschillende materiaal-eigenschappen. In het rapport wordt hier weinig duiding aan gegeven.
- Bij de uiteindelijke formules wordt als toepassingsgebied gegeven dat de formules geldig zijn voor  $h_{\text{overgang}}/H_{m0} > -0,7$ . De onderbouwing hiervoor is nog niet duidelijk in de rapportage. De erosie begint dus al als de waterstand nog  $0.7 H_{m0}$  beneden de overgang staat en er helemaal geen golfklappen op het talud komen. De meeste testen zijn echter uitgevoerd voor negatieve  $h_{\text{overgang}}$ , dus met de waterstand boven de overgang. Zijn er ook testen voor een overgangshoogte van  $h/H_{m0} > 0.1$  en, zeg,  $< 0.5$  uitgevoerd? Hoe geldig is de formule voor de aangehouden range? En hoezeer is dat van toepassing op het gebied waar nu naar gekeken wordt?
- De conclusie of deze studie tot nieuwe inzichten of onderzoeksvragen leidt voor het verdere erosieproces vanaf een grote kuil tot aan bres ontbreekt.
- Of kennis is gebruikt uit de internationale samenwerkingen die Nederland heeft op dit onderwerp (EA, USACE, EDF) is niet beschreven.

## 2. Proeven voldoende realistisch

De uitgevoerde proeven zijn de meest realistische proeven, maar wel altijd met een waterstand op of net boven de overgang. Het toevoegen van de onzekerheden en bandbreedtes geeft vertrouwen. Er zijn natuurlijk modeffecten, maar de meeste zijn conservatief: effectief zijn langkammige golven gebruikt, er zitten sneden in de klei/grasblokken en aan de wand, er is met relatief diep water getest, waardoor de extreme golven hoog zijn. De later in rekening gebrachte invloed van schuin invallende golven is niet getest.

## 3. OpenFOAM als basis

De kwaliteit van de uitvoering van de OpenFOAM-berekeningen is afdoende in de huidige studie. Het ENW geeft de volgende aandachtspunten mee bij de beschrijving van de analyses:

- Uitgebreidere OpenFOAM-verslaglegging voor toekomstige doorontwikkelingen is nodig, zeker voor een dergelijke nieuwe techniek.
- Wanneer OpenFOAM de mogelijkheid biedt, kunnen ook de geotechnische aspecten die in deze zone van de dijk spelen meegenomen worden naast de erosieanalyses. Te denken valt aan invloed van waterdrukken en de freatische lijn, poriegehalte als het materiaal lemiger zou worden en erosiestertes.
- Ook kan er nog stilgestaan worden bij de extrapolatie van de resultaten.
- Meer aandacht schenken aan de betrouwbaarheid van de resultaten, door bijvoorbeeld een vergelijking van de resultaten met resultaten bij een fijner grid. De verfijning van het grid ( $H_s/dz = 25$ ) kan de golfbeweging goed modelleren. De verfijning in de oploopzone lijkt nog wel wat grof, maar geeft redelijke resultaten. De opmerking dat de drukken vooral kwalitatief vergeleken moeten worden, moet wel onderbouwd worden.
- Drukken uit OpenFOAM worden vergeleken met metingen in Smale en Jacobsen (2016). Het is niet duidelijk of dit voor eenzelfde soort impact geldt: dus klappen door oploop. Of voor klappen door directe



impacts van brekende golven. Het eerste lijkt wenselijk. Het rapport is dus nog wat summier over de verificatie van het numerieke model.

#### **4. Probabilistische berekeningen**

Ten aanzien van de probabilistische berekeningen wordt met een aantal aannames gewerkt. Het ENW vraagt aandacht voor de volgende zaken.

- Uit de sommen komen soms wel erg dunne kleidiktes. Is er een grote of kleine onzekerheid betreffende de laagdikte voor het ontwerp?
- Er wordt gezegd dat de spreiding van de realisaties met verschillende sterkteparameters in de uitkomsten van de Monte-Carlosimulatie niet meegenomen hoeft te worden, omdat het een probabilistische som betreft. Hierbij moet wel een voldoende aantal 'seeds' met verschillende sterkteparameters gebruikt worden, zodat de betrouwbaarheidsinterval van de set klein genoeg is.
- Het lengte-effect is vanuit een ander proces met directe golfklappen bepaald. Dat geeft wellicht wat extra onzekerheid in de aanpak, maar de huidige inschatting voor andere mechanismes is misschien net zo onzeker.
- Voor de bepaling van de kleilaagdikte zijn drie ontwerpparameters: de dikte kleilaag ( $D_e$ ), de hoogte gras-steen overgang ( $h_{\text{overgang}}$ ), de overgangsconstructie (i.r.t.  $D_0$ ). De hoogte gras-steenovergang is gegeven en daarmee volgt daar dan de kleilaagdikte uit. De  $D_0$  bij de overgangsconstructie dient dan ook gecontroleerd te worden.
- De duur van de storm is een belangrijke parameter. Het Ontwikkeltraject Basisstochasten en Belastingmodellen op basis van lange KNMI-modeldatareeksen komt tot het voorlopige inzicht dat de maatgevende stormduur mogelijk twee keer zo lang kan zijn. Wellicht kan de gevoeligheid van een langere stormduur op de ontwerpuitkomsten voor de versterkingsprojecten Lauwersmeerdijk-Vierhuizergat en Koehool-Lauwersmeer onderzocht worden.