

Graverij door dieren

Invloed op de veiligheid van waterkeringen



Graverij door dieren

Invloed op de veiligheid van waterkeringen

Auteur(s)

André Koelewijn

Annette Kieftenburg

Lieke Hüsken

Graverij door dieren

Invloed op de veiligheid van waterkeringen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Myron van Damme
Referenties	KPP 2020 – 1.3 Graverij door dieren
Trefwoorden	Waterkeringen, dijken, graverijen, faalpaden, overstromingsveiligheid

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	14-12-2020
Projectnummer	11205235-003
Document ID	11205235-003-ZWS-0001
Pagina's	25
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	André Koelewijn	
	Annette Kieftenburg	
	Lieke Hüsken	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	André Koelewijn	Huib de Bruijn	Goaitske de Vries	
	Annette Kieftenburg			
	Lieke Hüsken			

Samenvatting

Graverijen door dieren in waterkeringen zijn een factor waar bij ontwerp, aanleg en groot onderhoud rekening mee dient te worden gehouden.

Wat de invloed van dierlijke graverijen zou kunnen zijn, is in dit project in kaart gebracht in een expert-workshop voor een casus van een dijk met een zandkern en een kleibekleding, met onderliggend een potentieel pipingprobleem. Uit de uitkomsten van deze workshop is een vijftal faalpaden afgeleid waarlangs schade door dierlijke graverijen tot het falen van een dijk kan leiden. Terugkoppeling van de resultaten met de experts moet overigens nog plaatsvinden.

Eén van de faalpaden, namelijk het pad beschreven als 'versterkte erosie bij overloop of golfoverslag, door beschadiging van de bekleding als gevolg van graverijen van alle soorten gravende dieren', is intussen beproefd in het Living Lab Hedwige-Prosperpolders (LLHPP). Hiermee is, op een iets andere wijze dan oorspronkelijk voor ogen stond, alsnog invulling gegeven aan de meeste vooraf voor dit project beschreven taken.

Uit de proeven in het LLHPP blijkt duidelijk een grote invloed van graverijen in het binnentalud. Zonder graverijen was het binnentalud na 20 uur of meer nog functioneel intact, met graverijen ontstond er zorgwekkende schade. In de situaties waarin de graverijen direct contact maakten met de zandkern was er na ruim 1 uur al sprake van een situatie die direct ingrijpen en noodreparaties vereiste.

Een belangrijke vraag die hieruit naar voren komt, is in hoeverre deze problematiek met dagelijks beheer is op te lossen. Daarbij zal detectie altijd pas achteraf plaatsvinden en reparatie betrekkelijk oppervlakkig zijn. De casus in de Hedwigidijk toont dat diepergelegen delen van hollen kunnen bijdragen tot een snelle degradatie bij belasting.

Aanbevolen wordt om komend jaar:

- de terugkoppeling met de experts te laten plaatsvinden,
- de aanbeveling uit het onderzoek van vorig jaar om graverijen met de EM-meettechniek relatief snel in kaart te brengen op te volgen,
- risicogestuurde strategieën voor beheer en onderhoud te onderzoeken, met name de invloed van een preventieve strategie en een repressieve strategie op de life cycle costs,
- en een doorkijk te maken naar een (eventueel) vervolg.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Context en doelstellingen van dit deelproject	6
1.2	Aanpak & leeswijzer	8
2	Workshop met experts	9
2.1	Opzet en samenstelling	9
2.2	Ruwe resultaten	9
2.3	Samengevoegde resultaten	9
3	Faalpaden voor graverijen	11
4	Voorlopige resultaten proeven Living Lab HedwigePropserpolders	13
4.1	Inleiding	13
4.2	Prosperdijk: schapenklijf	13
4.3	Prosperdijk: boom → mollengangen	15
4.4	Hedwagedijk: vossenhol	18
5	Conclusies en aanbevelingen (plan 2021)	21
5.1	Conclusies	21
5.2	Aanbevelingen	21
5.2.1	Plan van aanpak 2021	21
A	Ruwe resultaten workshop	23
B	Samengevoegde resultaten workshop	24

1 Inleiding

1.1 Context en doelstellingen van dit deelproject

Op 23 november 2010 heeft de Tweede Kamer ingestemd met een motie van Ouwehand c.s. over het zoveel mogelijk meenemen van preventieve maatregelen tegen muskusrattengraverij bij ontwerp, aanleg en groot onderhoud aan waterkeringen (<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32474-22.pdf>).

In reactie hierop heeft de staatsecretaris van Infrastructuur en Milieu het volgende aangegeven:

“In lijn met mijn antwoord d.d. 20 december 2010 (32 474, nr. 23) heb ik bij de Unie van Waterschappen, het programmabureau Hoogwaterbeschermingsprogramma en de LTO-Nederland onder de aandacht gebracht dat een meerderheid in de Tweede Kamer er voorstander van is om preventieve maatregelen tegen muskusrattengraverij zoveel mogelijk mee te nemen bij ontwerp, aanleg en groot onderhoud van waterkeringen. Ik ben hierbij van mening dat te nemen preventieve maatregelen uiteindelijk niet meer geld hoeven te kosten. Zo kan het al schelen als een kering niet aantrekkelijk wordt gemaakt voor de dieren. Dit zijn echter moeilijke afwegingen aangezien het ook beleid is om natuurvriendelijke oevers aan te leggen, waardoor deze aantrekkelijk zijn voor deze dieren. Ook is het de uitdaging om de kering zo goedkoop mogelijk te ontwerpen terwijl deze toch aan het vereiste veiligheidsniveau voldoet en in de omgeving past. Ik vind dat de extra kosten en de (te realiseren) besparingen onderdeel behoren uit te maken van de finale besluitvorming. Ik vertrouw erop dat waterschappen en het programmabureau hier rekening mee houden. Afsluitend merk ik op dat ook hiervoor geldt dat dit een verantwoordelijkheid is van de waterschappen.” (<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32474-24-n1.html>)

In deze context is nader onderzoek naar de invloed van graverijen op waterkeringen bevolen. De invloed van graverijen door niet alleen muskusratten, maar ook andere dieren op waterkeringen is tot nu toe slechts in beperkte mate onderzocht.

Vorig jaar is een onderzoek uitgevoerd naar de mate van detecteerbaarheid van graverijen, dat een focus kende op de detectie van beverholten (Annette Kieftenburg, ‘Plan van aanpak meettechnieken beverholten: naar handelingsperspectief voor waterkeringsbeheerders’, memo, Delft: Deltares, 12 december 2019, 6 pp.). Daar kwam uit naar voren dat snelle actie (meten van de aanwezigheid van graverijen, beslissen op basis van een protocol, herstel van de ontstane schade) vereist is om te voorkomen dat pas ingegrepen wordt als er al een groot, ontwikkeld gangenstelsel is gegraven.

Reeds toegepaste meettechnieken als sonar, Fishfinder en grondradar kennen duidelijke beperkingen, juist in omstandigheden waar gravende dieren goed in gedijen. Als veelbelovende technieken zijn Electro-Magnetische metingen (EM) vanonder drones en glasvezel geïdentificeerd. Hiervoor is destijds vervolgonderzoek als wenselijk benoemd.

Een vraag die duidelijk naar voren kwam in genoemd onderzoek betreft de impact van graverijen op de veiligheid. In dit kader lijkt de onlangs ontwikkelde faalpadenmethodiek geschikte mogelijkheden te bieden. Hierin wordt niet zozeer gefocust op de impact op het optreden van specifieke faalmechanismen zoals deze bijvoorbeeld zijn onderscheiden in het WBI2017, maar wordt gekeken naar de keten van gebeurtenissen die al dan niet tot inundatie van het gebied achter de waterkering kan leiden (Anouk te Nijenhuis, Lieke Hüsken, Ferdinand Diermanse, Anton van der Meer, Ruben Jongejan & Joost Pol, ‘Faalpaden,

Conceptuele analyse van het gebruik van de faalpaden-methodiek voor het bepalen van overstromingskansen in Nederland', rapportage 11203719-024-GEO-0016, Delft: Deltares, 9 april 2020, 67 pp.).

Binnen deze aanpak zijn er diverse routes denkbaar waarbij de invloed van graverijen ingepast kan worden – niet alleen in ongunstige zin (bijvoorbeeld: verkorting kwelweglengte via een graverij: sneller resulterend in piping), maar ook in gunstige zin (bijvoorbeeld: betere drainage van het dijklichaam via een graverij: minder snel macro-instabiliteit).

Vragen die spelen zijn:

- In hoeverre hebben graverijen van dieren een nadelige invloed op de sterkte van een waterkering?
- Is hierbij op zinvolle wijze een onderscheid te maken naar de grootte van de gravende diersoort?
- Zijn de eventuele problemen op te lossen binnen het reguliere beheer en onderhoud van de waterkering, of zijn aanpassingen bij aanleg en versterking vereist?

Dit deelproject is onderdeel van Kennis Primaire Processen-project Versterking Onderzoek Waterveiligheid van Rijkswaterstaat en valt binnen het cluster Aanleg, beheer en onderhoud. Hiervoor waren de volgende deeltaken geformuleerd:

- 1 Digitale sessie Deskundigen Oordeel Toetsen op maat (DOT) in afgeslankte vorm organiseren. In een eerste werksessie worden met een aantal deskundigen faalpaden gedefinieerd ten aanzien van graverijen. Deze systematiek sluit aan bij het huidige BOI. In deze sessie zal er aandacht zijn voor welke graverij-parameters (zoals dichtheid graverij, diersoort, diepte, omvang, ...) essentieel zijn voor het vaststellen van faalpaden van een kering leidend tot een vergroot overstromingsrisico. Dit moet leiden tot:
 - a Product 1: eerste inventarisatie van benodigde gegevens over factoren die invloed hebben/data benodigd voor beheerder met het oog op de toekomstige beoordeling van hun keringen.
 - b Product 2: Beschrijving van een aantal mogelijke faalpaden bij graverijen door dieren en hun invloed op de bekende faalmechanismen.In een tweede werksessie zullen deze producten worden getoetst.
- 2 Selectie van (één of enkele) faalpaden welke kunnen dienen als pilot voor het vaststellen van het risico, en welke gevalideerd/getest kunnen worden in de Hedwige-Prosperpolders.

Vragen bij deze pilot:

 - a Treedt het faalpad inderdaad op als beschreven in de DOT?
 - b Is de invloed van de graverij significant?
 - c Is er een mate van impact te definiëren?
- 3 Afstemming met testen in Living Lab Hedwige-Prosperpolder (LLHPP).
- 4 Beschrijving van gewenste en mogelijke proefnemingen voor het geselecteerde faalpad.
- 5 Indien het budget het toelaat (te bepalen na afronding digitale DOT-sessie): een eerste proefneming, bijvoorbeeld in Delft of in de Hedwigepolder, in samenwerking met een student van de TU Delft of een Hogeschool, welke door Deltares wordt begeleid hierin.
- 6 Doorkijk naar vervolg maken.

Door verschillende oorzaken heeft onder taak 1 pas één werksessie kunnen plaatsvinden. De vervolgsessie zou begin 2021 kunnen plaatsvinden, waarna ook de voorlopige aanzet voor taak 4 en de uitvoering van taak 5 in 2021 zouden kunnen plaatsvinden. Dit is meer in detail uitgewerkt in §5.2 van dit rapport, dat tevens de uitwerking van taak 6 omvat.

1.2 Aanpak & leeswijzer

In lijn met de geformuleerde deeltaken is, nadat toestemming was verleend om te starten met de uitvoering, de eerste werksessie belegd als onderdeel van taak 1 (zie ook hoofdstuk 2).

Vanuit de discussie in deze werksessie is vervolgens een aantal faalpaden afgeleid (zie hoofdstuk 3). De tweede werksessie in het kader van taak 1, ter terugkoppeling én vaststelling van het vervolg (taak 2), heeft nog niet kunnen plaatsvinden.

Ondertussen zijn, los van dit project, in november op de Hedwige- en Prosperdijken wel enkele proeven uitgevoerd waarbij graverijen door dieren een relevante rol speelden. Deze zijn kort beschreven in hoofdstuk 4 en bieden aanvullende informatie voor de verdere invulling van de taken 3, 4 en 5.

De voorlopige conclusies zijn vermeld in §5.1 en de aanbevelingen, tevens een doorkijk naar een vervolg in 2021 (taak 6), in §5.2.

2 Workshop met experts

2.1 Opzet en samenstelling

Voor een strekking van enkele kilometers dijk in het beheersgebied van Waterschap Brabantse Delta is vooraf een concrete casus gedocumenteerd.

In een online workshop is eerst deze casus gepresenteerd, waarna de deelnemers individueel de tijd kregen om met deze concrete casus in gedachten aan te geven welke problemen door graverijen zouden kunnen optreden. Daarbij kon onderscheid worden gemaakt tussen kleine gravende dieren (typisch voorbeeld: een muis), middelgrote dieren (konijn) en grote dieren (bever). Iedereen werkte daarbij tegelijkertijd in een ander gedeelte van hetzelfde Google Docs-document.

Vervolgens zijn de uitkomsten gezamenlijk besproken, waarbij in aanvullende kolommen met onderscheid naar lage en hoge waarschijnlijkheid de discussie is genoteerd.

Deelnemers aan de workshop waren:

- Marcel van der Doef (Waterschap Brabantse Delta)
- Myron van Damme (Rijkswaterstaat WVL)
- Ferdi Timmermans (STOWA)
- Annette Kieftenburg (Deltares)
- Huub de Bruijn (Deltares)
- Wim Kanning (Deltares)
- André Koelewijn (Deltares)

Als moderator was Lieke Hüsken (Deltares) aanwezig.

2.2 Ruwe resultaten




De ruwe resultaten zijn te vinden in bijlage A. Hierbij wordt opgemerkt dat de kolommen 'discussie' vooral gevuld zijn daar waar de discussie begon, en in mindere mate zijn gevuld naarmate dezelfde uitkomst al eerder was besproken. Bij de discussie is kriskras door het document gegaan, hetgeen verklaart waarom de laatste kolommen leeg zijn bij de 1^e, 2^e en 4^e deelnemer.

2.3 Samengevoegde resultaten

In bijlage B zijn alle resultaten samengevoegd, waarbij met elkaar samenhangende bijdragen in vijf hoofdgroepen bij elkaar zijn geplaatst en waarbij in de volgorde ook een zekere prioritering is aangebracht, mede naar aanleiding van de discussie. Hierbij zijn alle bijdragen behouden en is alleen verdwenen wie wat heeft bijgedragen (hetgeen terug te vinden is in bijlage A).

Op basis van voorgaande tussenstap is de volgende tabel samengesteld met daarin de belangrijkste aspecten voor elk van de vijf situaties kort en bondig weergegeven.

Tabel 1 Invloeden van dierlijke graverijen – uitkomst van een workshop van een casus van een kanaaldijk met een zandkern langs een natuurgebied

Invloed van graverijen door dieren			Discussie
			
klein (bijv. muis)	middelgroot (bijv. konijn)	groot (bijv. bever)	
	<p>1. Graverij buitendijks door middelgroot of groot dier, leidend tot piping Hol of ingang burcht aan buitenzijde van dijk, in mindere mate aan de binnenzijde, leidt tot verkorting van de kwelweglengte, zeker wanneer de deklaag boven de pipinggevoelige zandlaag wordt doorgraven. Hopen buitendijks kunnen ook leiden tot afdrukken van de kleibekleding binnendijks als gevolg van de hogere waterdruk. Gevolg: voortschrijdende erosie mede via het hol/de hopen gecombineerd met toenemende kwel; een zichzelf versterkend proces waarbij eventueel de kruin instort maar hoe dan ook leidt tot inundatie.</p>		<p>Wat gunstig is: het zandlichaam zal liever vermeden worden, zeker voor verblijfkamers. Ook is de kering vrij breed. Ongunstig is dat een bever graag een toegang onder de waterlijn maakt en daarbij onder dagelijkse omstandigheden en/of bij droogte de kleideklaag doorgraaft.</p>
		<p>2. Graverij door bever nabij binnenteen door kleideklaag Dit verlegt het uittredepunt voor piping kanaalwaarts. Vooral een risico bij lage waterstanden.</p>	<p>De afname van de kwelweglengte is relatief gering, zolang de buitendijkse situatie intact blijft.</p>
<p>3. Buitendijkse graverijen door alle dieren die bij (extreem) hoogwater leiden tot vullen van de kern en vervolgens falen door micro- of macro-instabiliteit De doorgravingen van de buitendijkse kleibekleding leiden ertoe dat de freatische lijn in de zandkern sneller zal stijgen, waardoor gemakkelijker verweking van het binnentalud ontstaat of afschuiving van het binnentalud door verlaging van de korreldruk (en daarmee verlies van schuifsterkte) en toename van het gewicht</p>			<p>Kanttekeningen: - Bij muizen heb je een plaag nodig voordat een effect merkbaar wordt. - De hopen kunnen ook bijdragen aan een betere drainage</p>
<p>4. Versterkte erosie bij overloop of golfoverslag, door beschadiging van de bekleding als gevolg van graverijen van alle soorten gravende dieren De invloed van slechts enkele kleine dieren is bescheiden, maar bij grote aantallen niet. Een muizenplaag maakt bovendien niet alleen hopen, maar kan ook het wortelstelsel opeten. Konijnen maken hopen die diep genoeg kunnen zijn om een kleibekleding met een dikte van 0,7 tot 1,0 m te doorgraven, waardoor de zandkern bloot komt te liggen en de erosie versnelt. <i>Zie hoofdstuk 4 van deze rapportage ter illustratie.</i></p>			
<p>5. Kruinverlaging door vooral bij hoogwater instortende hopen Met name in zand kunnen hopen instabiel raken wanneer de freatische lijn stijgt, al dan niet door direct instromen van water. Door deze instortingen kan de kruin verzakken, wat weer gemakkelijker tot overloop/overslag van water leidt.</p>			<p>Instorten kan ook op andere momenten gebeuren. Reikwijdte van gangenstelsel is van grote invloed.</p>

Een belangrijke kanttekening bij de verkregen resultaten is dat deze in de eerste plaats zijn uitgewerkt voor, en dus gelden voor, de concrete casus van een dijk met een zandkern, met aan de ene kant een kanaal en aan de andere kant een landelijk gebied. Alleen al omdat uit deze omschrijving de concrete locatie niet te herleiden valt, is een dergelijke situatie echter niet uniek. Toch moet bedacht worden dat de situatie bij bijvoorbeeld kleidijken en in bebouwd gebied hiervan in belangrijke mate kan afwijken, met andere mechanismen en faalpaden die een (hoofd)rol spelen.

3 Faalpaden voor graverijen

Bij de vijf scenario's uit Tabel 1 kunnen de volgende faalpaden worden geformuleerd:

1. Graverij buitendijks door middelgroot of groot dier

- a. Graverij buitendijks op laag niveau doorbreekt afsluitende kleilaag
- b. Kortsluiting naar diepere zandlaag
- c. Al snel, of pas bij hoogwater, te hoge waterdruk onder de slootbodem binnendijks
- d. Opbarsten slootbodem
- e. Pipe groeit onder afsluitende kleilaag door naar oorspronkelijke hol of naar een ander intredepunt
- f. Ruimen van de pipe
- g. Sterke instroom van water door de pipe

*Twee mogelijke vervolgpaden (onderscheiden door * en **):*

** h Verdere erosie van de pipe waardoor deze sterk vergroot wordt*

** i Steeds sterker Instroming van water*

** j Overstroming van het achterland (zonder instorten van de kruin)*

*** h Instorten van de pipe*

*** i Hernieuwde erosie & instorten, leidend tot verlaging van de kruin*

*** j Overslag/overloop van de verlaagde kruin*

*** k Bresvorming en bresgroei*

*** l Overstroming van het achterland*

2. Graverij door bever nabij binnenteen door kleideklaag

- a. Graverij door bever in (diepe) binnendijkse sloot, voor onderwatertoegang van hol. Met name bij een laag binnenwaterpeil zal dit extra diep gebeuren, al dan niet ter vervanging van een minder diepgelegen toegang.
- b. Afsluitende kleilaag raakt dichterbij de binnenteen doorbroken (waardoor er niet eerst heave hoeft op te treden)
- c. Uittredepunt voor piping verschuift richting buitenwater
- d. Pipe groeit, al dan niet bij verhoogde buitenwaterstand, onder de afsluitende kleilaag door naar intredepunt

Vervolg als vanaf 1f (ruimen pipe)

3. Buitendijkse graverijen door alle diersoorten

- a. Graverijen buitendijks perforeren de kleibekleding – met name lager op het talud, zodat al bij lagere hoogwaters instroming kan optreden. Weinig grote hopen of meer middelgrote hopen of vele kleine holletjes maakt hierbij niet wezenlijk uit.
- b. Bij een verhoogde buitenwaterstand stroomt gemakkelijk veel water door de buitendijkse bekleding de kern van de dijk in
- c. Verhoging freatische lijn

*Twee mogelijke vervolgpaden (onderscheiden door * en **):*

** d. Verzadiging van de dijk met sijpeloppervlak bij binnenteen en hoger*

** e. Afdrukken van de bekleding binnendijks*

** f. Micro-instabiliteit aan de binnenteen: uitvloeien van zand*

** g. Voortgaande vervloeiing/uitspoeling van zand aan de binnendijkse zijde*

** h. Verzakken van de kruin*

** i. Overslag/overloop van de verlaagde kruin*

** j. Bresvorming en bresgroei*

** k. Overstroming van het achterland*

*** d. Binnenwaartse macro-instabiliteit*

*Twee mogelijke vervolgpaden (onderscheiden door ** en ***):*

- ** e. Indien de eerste afschuiving een intredepunt heeft onder/nabij de buitenwaterlijn (doorgaans onwaarschijnlijk): Overloop/overslag over de resterende rand van het buitentalud*
- ** f. Bresvorming en bresgroei*
- ** g. Overstroming van het achterland*
- *** e. Verdere vervloeiing/uitspoelen van de zandkern aan de binnenzijde, reeds verzakte materiaal spoelt daarbij deels ook weg (dit laatste is niet noodzakelijk, maar wel reëel)*
- *** f. Secundaire afschuiving(en) en doorgaand vervloeiing/uitspoeling van materiaal*
- *** g. Overslag/overloop over de resterende rand van het buitentalud*
- *** h. Bresvorming en bresgroei*
- *** i. Overstroming van het achterland*

4. Versterkte erosie bij overloop of golfoverslag

- a. Graverijen binnendijks perforeren de kleibekleding – met name lager op het talud, zodat al bij lagere hoogwaters instroming kan optreden. Weinig grote hopen of meer middelgrote hopen of vele kleine holletjes maakt hierbij niet wezenlijk uit.
- b. Overslag/overloop bij hoogwater
- c. Erosie van het binnentalud
- d. Meevoering van zand uit de zandkern, vergemakkelijkt door de hopen
- e. Voortschrijdende erosie aan het binnentalud (*voor illustratie, zie volgende hoofdstuk!*)
- f. Bresvorming en bresgroei
- g. Overstroming van het achterland

5. Kruinverlaging door instortende hopen

- a. Graverijen
- b. Verhoogde waterstand (ook grondwaterstand)
- c. Instorten van de hopen en gangen
- d. Verlaging van de kruin.
- e. Overslag/overloop bij hoogwater
- f. Bresvorming en bresgroei
- g. Overstroming van het achterland

Opgemerkt wordt dat pas de laatste stap in het faalpad het falen volgens de waterwet betreft, bij alle voorgaande stappen is in principe nog ingrijpen mogelijk.

4 Voorlopige resultaten proeven Living Lab HedwigePropserpolders

4.1 Inleiding

Op de linkeroever van de Schelde, aan weerszijden van de grens tussen Nederland en België, liggen de Hedwigepolder (NL) en de Prosperpolder (B). Ten behoeve van natuurbehoud en natuurontwikkeling worden deze gebieden ontpolderd, na een jarenlange maatschappelijke discussie en juridische strijd. De ontmanteling van de primaire waterkeringen langs deze polders biedt een unieke gelegenheid tot het doen van allerhande proeven op ogenschijnlijk vergelijkbare dijken met een verschillend beheer.

Ten behoeve van dit onderzoek is door het Vlaamse Waterbouwkundig Laboratorium en STOWA het Living Lab HedwigeProsperpolders (hierna: LLHPP) opgericht. Onderzoeken daarbinnen vinden onder meer plaats in het kader van het HWBP (piping in getijdezanden), het door NWO gefinancierde academische onderzoeksproject 'Living Lab Dutch Delta' en het Interreg 2Seas-project 'Polder2cs'.

In het kader van laatstgenoemd project zijn in november 2020 drie overloopproeven uitgevoerd waarbij graverijen door dieren, deels onbedoeld, een grote rol speelden, en wel volgens het vierde faalpad zoals onderscheiden in de beide vorige hoofdstukken. Deze proeven worden in de navolgende paragrafen kort beschreven. Opgemerkt wordt dat een gedegen rapportage inclusief analyse nog zal plaatsvinden, maar dat gebeurt binnen andere projecten dan onderhavig KPP-project.

Ter referentie mogen proeven op naburige, onbeschadigde strekkingen gelden. Op de Prosperdijk was hierbij geen noemenswaardige schade opgetreden na 20 uur van beproeven met het maximale debiet van 350 liter per seconde over een proefstrook van 2 meter. Bij dit debiet was er sprake van een waterdiepte van 30 cm boven de kruin. Op de Hedwigedijk was geen noemenswaardige schade opgetreden na 30,5 uur van beproeven met hetzelfde debiet.

4.2 Prosperdijk: schapenklif

De Scheldedijk langs de Prosperpolder is opgebouwd uit een kern van (kleiig) zand, met een relatief dunne bekleding van (zandige) klei met een wat gevarieerde grasbekleding. Deze wordt tweemaal per jaar gemaaid. Sinds voorjaar 2020 vindt ook begrazing door schapen plaats.

Bij een bezoek op 8 juni 2020 werd geconstateerd dat de schapen een rustplek hebben gecreëerd ten koste van de grasbekleding nabij de bomen in de binnenteen. Hierbij een soort klif ontstaan die ten dele onbegroeid is, zie Figuur 1. Hierbij wordt opgemerkt dat dit type schade niet benoemd is in de workshop, maar wellicht toch aandacht verdient in relatie met dijkbeheer.



Figuur 1 Steiler gedeelte van binnentalud Prosperdijk met één volledig kaalgeschuurde plek na beweiding met schapen. Foto van 8 juni 2020.

Van 12 t/m 14 november is het binnentalud van deze dijk ter hoogte van de kaalste plek in Figuur 1 over een breedte van 2 meter beproefd met een continu overloopdebiet van 350 liter per seconde per 2 meter. Hierbij trad gedurende 17 uur geen noemenswaardige schade op. Er was wel sprake van enige uitspoeling van klei, maar van een serieuze verdere beschadiging was geen sprake. Na nog eens 15 minuten is de proef ijlings afgebroken omdat er inmiddels wél forse schade was ontstaan. Uit bestudering van de videobeelden is gebleken dat dit in slechts 5 minuten tijd is gebeurd. Het was toen al donker, zodat hier geen duidelijke foto's van beschikbaar zijn. De omvang van de schade naderhand is te zien in



Figuur 2 Uiteindelijke schade bij schapenklif: een erosiegat van bijna zes meter breedte met een vrijliggende zandkern. Foto van 23 november 2020.

4.3 Prosperdijk: boom → mollengangen

Na de proef met de zogenoemde schapenklif is ongeveer 10 meter verderop een proef uitgevoerd waarbij de invloed van een boom centraal stond. Eerst zou een beproeving plaatsvinden waarbij de boom nog overeind stond. Wanneer de erosie na een dag van beproeven met opnieuw 350 liter per seconde per 2 meter zou meevallen, dan zou de boom omver worden getrokken om vervolgens het erosiegat van de “bij een hevige storm” ontwortelde boom te beproeven.

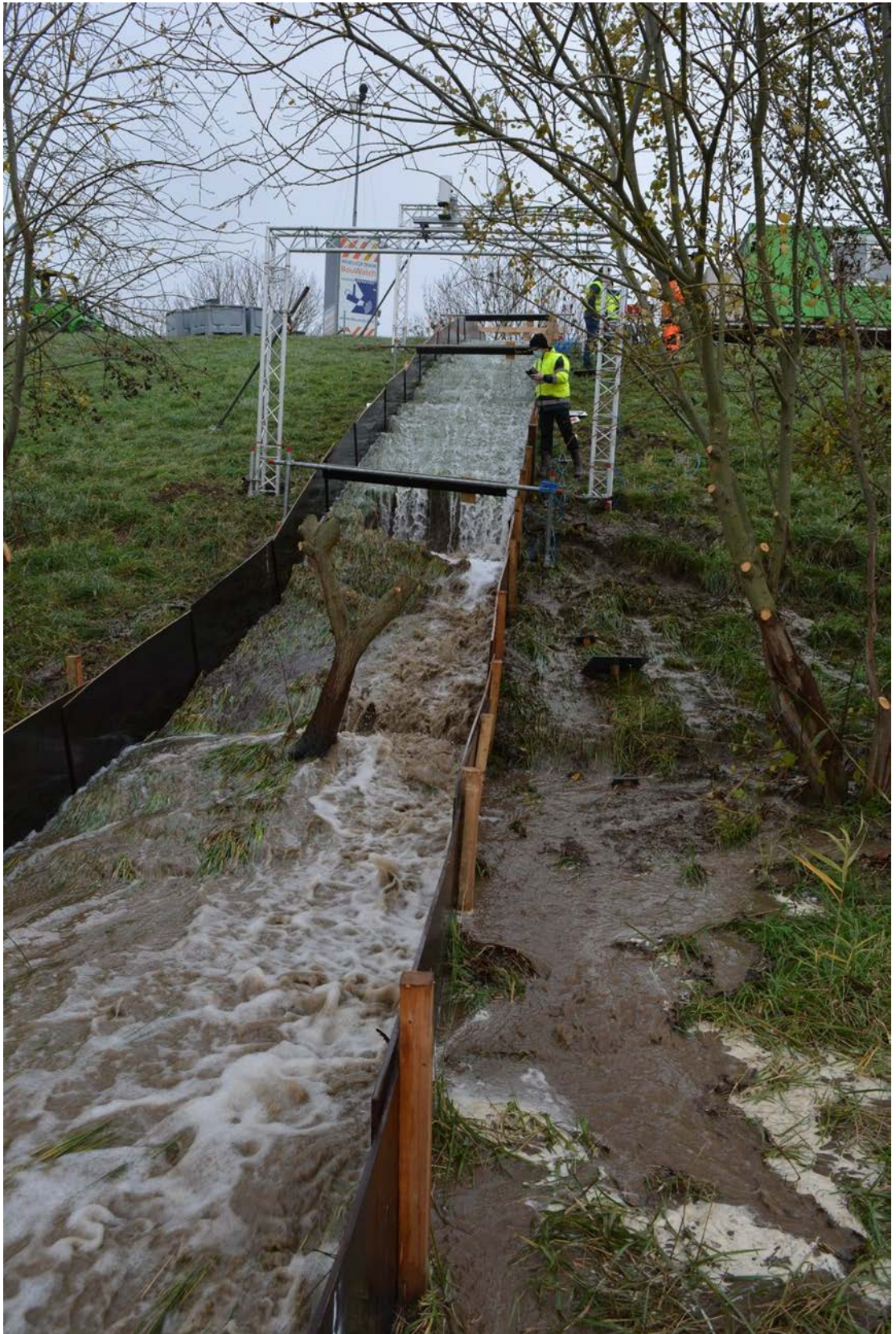
De situatie ruim voor aanvang is te zien in Figuur 3, vergelijking met Figuur 1 geeft een indicatie van de tussengelegen afstand.



Figuur 3 Bomen in de binnenteen van de Prosperdijk. De derde boom van links is later gesnoeid voor een proef naar de invloed van een boom. Foto van 8 juni 2020.

De invloed van de boom op het verloop van de proef was uiteindelijk verwaarloosbaar. Vanwege de aanwezige graafgangen bovenstrooms van de boom, voornamelijk ter hoogte van het steilere gedeelte in het binnentalud en vermoedelijk van mollen, werd na 1 uur en 6 minuten de proef al gestaakt. Figuur 4 toont de situatie bij het afstromen van het laatste water. Boven de boom, achter de stang met meetapparatuur is een diep gat zichtbaar, dat binnen drie minuten is gegroeid. De indruk bestond dat het gat in enkele minuten al even groot zou zijn geweest als bij de naburige proeflocatie en dat de kruin niet lang daarna zou zijn bereikt.

Zoals in Figuur 4 te zien is, spoelt het zand uit de kern van de dijk via meerdere gangen aan de rechterkant uit. Naar de linkerkant toe was ook een spoelgat, maar daardoor werd beduidend minder zand afgevoerd. Niet alleen de aanwezigheid van graafgangen, maar ook de precieze configuratie in samenhang met de dijkopbouw zijn van essentieel belang.



Figuur 4 Overloopproof met boom op 17 november 2020, na stopzetten van de pomp. Rechts van de proefopstelling drie zandmeevoerende hopen, links ervan één nauwelijks zandmeevoerend hol.

4.4 Hedwigedijk: vossenhol

De verderop gelegen Scheldedijk van de Hedwigepolder kent eveneens een kern van zand met een bekleding van klei met daarop gras. De kleibekleding is hier echter dikker, namelijk ongeveer 0,3 tot 0,8 m. Bovendien is de klei minder zandig, en het zand in de kern minder kleilig. Het gras is meer uniform en werd bovendien drie maal per jaar gemaaid, met afvoer van het maaisel. In 2020 is in het voorjaar een maaibeurt overgeslagen.

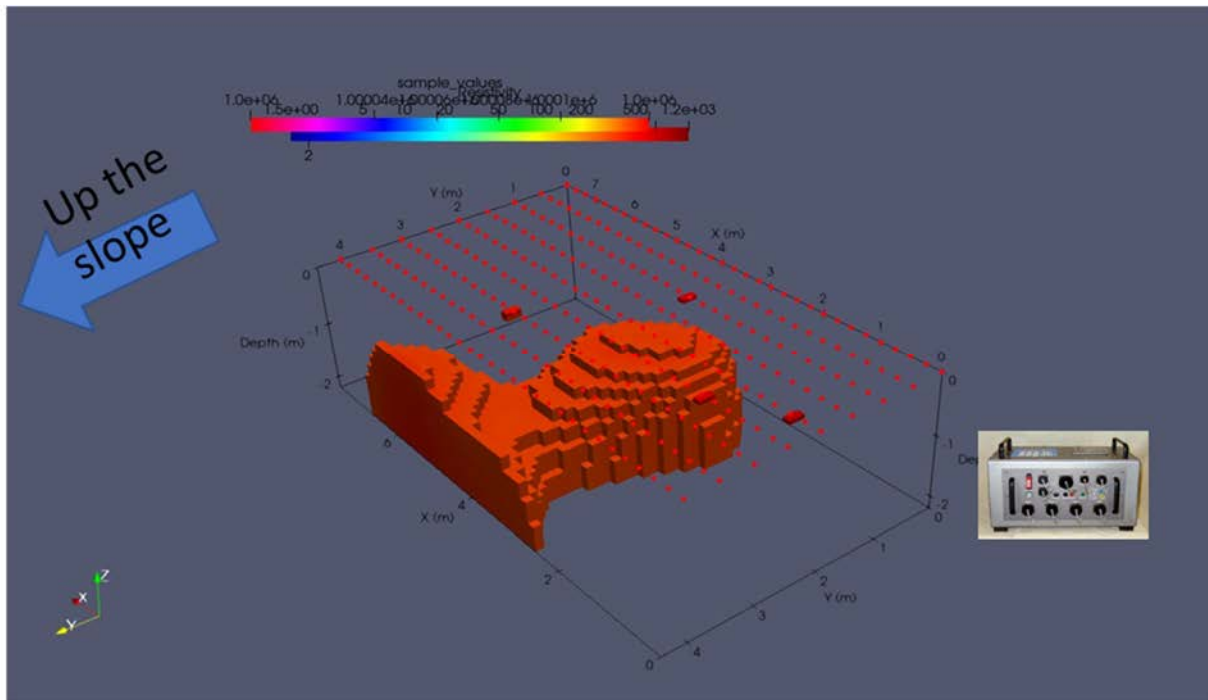
Nabij het voormalige zomerhuis van de vroegere eigenaar is herhaaldelijk een vossenhol in de dijk gesignaleerd. Dit is telkens snel door de beheerder verwijderd, met uitzondering van het vossenhol dat in juli of augustus 2020 is gegraven. Dit is te zien in Figuur 5. Het vossenhol was toen, op 16 september, verlaten. Later, op 27 oktober, is er weer wél een vos in het hol gesignaleerd.

Op 16 september zijn elektrische weerstandsmetingen (ERT) uitgevoerd op deze locatie, in meerdere raaien zowel parallel aan de dijk als loodrecht daarop, met het vossenhol telkens ongeveer in het midden. Figuur 6 toont *voorlopige* resultaten uit deze metingen (uitgevoerd in opdracht van STOWA). Deze laten zien dat vanaf iets onder het vossenhol naar boven toe, evenwijdig aan het talud, veel holle ruimte aanwezig is. Gelet op het beperkte volume aan zand buiten het toenmalige vossenhol én de voorgeschiedenis lijkt het er op dat de graverijen uit het verleden hier ook aan moeten hebben bijgedragen.

Grondig herstel van de dijk zou telkens overigens een forse operatie hebben betekend, gelet op de reikwijdte van een vossenhol (vele meters). Hier rijst de vraag of dit tot het normale 'dagelijks onderhoud' mag worden gerekend.



Figuur 5 Vossenhol op Hedwigedijk nabij voormalige zomerhuis op 16 september 2020. Behalve de twee ingangen op de voorgrond is er een derde ingang, halverwege de laarzen en de struik (nauwelijks zichtbaar).



Figuur 6 Voorlopige resultaten uit ERT-metingen op 16 september 2020 rondom het vossenhol in de Hedwigedijk. De rode blokken (ook de drie kleinere) duiden op een zeer grote weerstand tegen elektrische stroming en dus op een hoog gehalte aan holle ruimte.

Het vossenhol is beproefd op 23 november 2020. In 1 uur en 12 minuten ontstond zeer forse schade binnen de proefstrook. In de laatste minuten breidde de schade zich rap uit in bovenstroomse richting, tot uiteindelijk 2 meter vanaf de binnenkruinlijn. Al na 20 minuten was er veel schade, waarna de situatie enige tijd stabiel leek te worden gehouden mede dankzij een strook van ruim 2 meter breed grofmazig kippengaas, dat op circa 50 cm onder het talud aanwezig bleek te zijn en dat de daaronder liggende klei beschermde tegen snelle uitspoeling.



Figuur 7 Vossenhol op Hedwigedijk na beproeving op 23 november 2020 met 180 liter per seconde per 2 meter gedurende 1 uur en 13 minuten.

5 Conclusies en aanbevelingen (plan 2021)

5.1 Conclusies

Uit een workshop met experts is een vijftal faalpaden afgeleid waarlangs schade door dierlijke graverijen tot het falen van een dijk kan leiden. Deze faalpaden zijn in de eerste plaats afgeleid voor een dijk met een zandkern en een kleibekleding, met een ondergrond die gevoelig is voor het faalmechanisme piping. Terugkoppeling van de resultaten met de experts moet overigens nog plaatsvinden.

Eén van de faalpaden, namelijk het pad beschreven als 'versterkte erosie bij overloop of golfoverslag, door beschadiging van de bekleding als gevolg van graverijen van alle soorten gravende dieren', is intussen beproefd in het Living Lab Hedwige-Prosperpolders (LLHPP). Hiermee is, op een iets andere wijze dan oorspronkelijk voor ogen stond, alsnog invulling gegeven aan de meeste vooraf voor dit project beschreven taken.

Uit de proeven in het LLHPP blijkt duidelijk een grote invloed van graverijen in het binnentalud. Zonder graverijen was het binnentalud na 20 uur of meer nog functioneel intact, met graverijen ontstond er zorgwekkende schade. In de situaties waarin de graverijen direct contact maakten met de zandkern was er na ruim 1 uur al sprake van een situatie die direct ingrijpen en noodreparaties vereiste.

Een belangrijke vraag die hieruit naar voren komt, is in hoeverre deze problematiek met dagelijks beheer is op te lossen. Daarbij zal detectie altijd pas achteraf plaatsvinden en reparatie betrekkelijk oppervlakkig zijn. De casus in de Hedwigedijk toont dat diepergelegen delen van hollen kunnen bijdragen tot een snelle degradatie bij belasting.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen uit het onderzoek dit jaar en passend in de lijn met de onderzoeksresultaten uit 2019 op het gebied van meetmethoden voor graverijen, wordt het volgende voorgesteld voor vervolgonderzoek in 2021:

5.2.1 Plan van aanpak 2021

Voor het komende jaar worden de volgende vervolgactiviteiten voorgesteld:

- 1 Vervolg-werksessie Deskundigen Oordeel Toetsen op maat (DOT) organiseren om de resultaten van de eerste werksessie terug te koppelen, de afgeleide faalpaden te toetsen en te confronteren met de resultaten van de experimenten in het LLHPP.
- 2 Proof-of-concept testen met de eerdergenoemde veelbelovende techniek van EM (Electro-Magnetische metingen) ter detectie van graverijen uit te testen in zowel de veldsituatie van het LLHPP, waar ook opvolging met grootschalige proeven mogelijk is, als bij een kunstmatig op te werpen terp waarin op diverse niveaus grotere en kleine holten worden aangebracht, die bovendien geheel of gedeeltelijk met water kunnen worden gevuld. Door deze terp uit verschillende materialen samen te stellen (zand, klei, mengvormen daarvan, al dan niet voorzien van organisch materiaal) en de freatische lijn in de terp te kunnen variëren, kan hiermee een grote variëteit aan veldomstandigheden worden nagebootst waarmee kan worden getoetst in hoeverre de techniek onder gevarieerde, realistische omstandigheden bruikbaar is. Dit kan gecombineerd worden met een afstudeeronderzoek van bijvoorbeeld TU Delft of Hogeschool Zeeland.
- 3 Verkenning van verschillende risicogestuurde strategieën voor beheer en onderhoud, waarbij bijvoorbeeld gevarieerd wordt tussen een preventieve strategie (voorkómen van

graafschade) en een repressieve strategie (actieve bestrijding van graafschade, rekening houdend met slagingskansen van tijdige detectie en herstel), en onderzocht wordt wat de invloed is op de life cycle costs van de waterkering. De onderzoeksvraag hierbij is of bestrijding wel de meest voordelige oplossing vormt.

4 Doorkijk maken naar het vervolg.

Vanwege de combinatiemogelijkheden met het LLHPP, waar een eerste reeks proeven inclusief de beproeving van een laaggelegen vossenhol in de Prosperdijk in februari – april 2021 zal plaatsvinden, zal hiermee bij voorkeur al in februari 2021 worden gestart.

A Ruwe resultaten workshop

Brainstorm Graverijen - Doorgrondingsessie

14-10-2020

Deel 1 - Identificeren van gebeurtenissen (Gele deel van de tabel)

Opschrijven: Naam gebeurtenis + Korte omschrijving van het proces




Aangeven of dit voor klein midden of grote gravers geldt (indien voor meer dan cellen samenvoegen)

Deel 2 - Plenaire discussie over invloedsfactoren (blauwe gedeelte van de tabel)


<u>Marcel van der Doef</u>			<u>Discussie</u>	
			Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:	Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:
	<p>Naam: Piping treedt sneller op Omschrijving: Hol of ingang burcht aan buitenzijde van de dijk of hol/ doorgraving aan de binnenzijde zorgt voor verkorting van de kwallengte (pipe). Grotere kans op piping.</p>			
	<p>Naam: Verweking binnentalud Omschrijving: Hol of ingang burcht aan buitenzijde van de dijk. Doorgraving zorgt voor hogere freatische lijn in de dijk. Daardoor grotere kans op verweking van het binnentalud of grotere kans op afschuiving van het binnentalud (door verlaging van de korreldruk)</p>			
	<p>Naam: Kruinverlaging Omschrijving: Door instorting van ondergrondse hol of burcht verlaging van de kruin onder de (maatgevende) waterstand</p>			




<u>Huub de Bruijn</u>			<u>Discussie</u>	
			<u>Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:</u>	<u>Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:</u>
<p>Naam: Aantasting grasbekleding</p> <p>Omschrijving: Muisjes komen nooit alleen.</p> <p>Bij muizenplaag in Wetterskip (2016 of 2017) bleek de grasmatt aanzienlijk aangetast. Muizen aten wortels op, gras ging dood' functioneren grasbekleding onvoldoende</p>	<p>Naam: bekleding</p> <p>Omschrijving: Konijnen maken gaten in de bekleding van de dijk. Deze is vaak 0,7 a 1,0 m dik dus bij diepe hopen doorgraven ze de bekleding in het geheel. Omdat hier sprake is van een zanddijk zal in geval van overloop/overslag de bekleding in functionaliteit hard achteruit gaan</p>	<p>Naam: kruinhoogte, vallen van gaten in de kruin</p> <p>Omschrijving: bevers graven gaten van onder de waterlijn omhoog de dijk in. Bij zanddijken kan het goed mogelijk zijn dat het hol open blijft bij normale waterstanden maar bij toename van de waterstand en daarmee meer verzadigd raken van de zandkern zouden deze hopen bij hoogwater in kunnen storten en tot kruinverlaging kunnen leiden</p>		




	<p>Naam Microstabiliteit Omschrijving: door de gangen en hopen kan waterstand in dijk toenemen. Hierdoor kan de binnenbekleding afdrukken of via de gestructureerd bekleding kan de dijk intern eroderen of verweken. Dit lijkt een beetje op de foto's uit het PO gebied qua vorm van bezwijken.</p> <p>Het doorgraven van een bekleding is bij een zanddijk altijd een groot risico, voor de verschillende micro-stabil mechanisme</p>	<p>Naam: Piping: Omschrijving Als de bever aan de binnenzijde gaat graven creëert hij/zij een uittredepunt voor piping, of verkort de pipinglengte (denk dat dit minimaal is). Wanneer hij vanuit het kanaal gaat graven en doorgraaft de kleilaag op NAP – 0,5 tot -1,20 zou hij een intredepunt kunnen creëren. Denk dat dit bij normale waterstanden te diep ligt, maar bij lage waterstanden zou dit wellicht kunnen</p>		

Wim Kanning			Discussie	
			Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:	Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:
	algemeen - directe verbindingen binnen/buiten door gat en opdrukken resterende deklaag	algemeen - directe verbindingen binnen/buiten door gat en opdrukken resterende deklaag <i>locatie / hoogte klei eigenschappen waterstadn daling (snelheid)</i>	hele brede kering Hoe sen/langzaam kan waterstand laten dalen/stijgen	
	hoogte: - kleine kruinverlaging door instorten holen rond kruin	hoogte: - grote kruinverlaging door instortende holen, vooral tijdens hoogwater	kan gebeuren wanneer er waterbeasting is maar kan ook wanneer dit niet gebeurt bevers zoeken "een dak boven hun hoofd" stabielere	
bekleding: -binnen en buiten verminderde erosieweerstand door weggegraven bekleding	bekleding: -binnen en buiten verminderde erosieweerstand door weggegraven bekleding of instortende holen	bekleding: -binnen en buiten verminderde erosieweerstand		
	interne erosie: - terugschrijdende erosie onder dijk door verkorte kwelweg (intrede en/of uittredepunten gegraven door deklaag - contacterosie: gegraven gat door dijk vergroot	interne erosie: - terugschrijdende erosie onder dijk door verkorte kwelweg (intrede en/of uittredepunten gegraven door deklaag - contacterosie: gegraven gat door dijk vergroot		

	<p>STBI:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hoger freatisch vlak door weggraven intredeweerstand - andere glijvlakken lokale zwaktes - hogere waterspanningen onder dijk door graven kortsluiting 	<p>idem</p>	<p>andere glijvlakken</p> <p>-holen kunnen bijdragen aan drainage</p>	
	<p>microinstabiliteit</p> <ul style="list-style-type: none"> - hoger freatisch vlak - 	<p>microinstabiliteit</p> <ul style="list-style-type: none"> - hoger freatisch vlak - 		

Annette Kieftenburg			Discussie	
			Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:	Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:
	overname door vos/das: graven dieper	Bij hoogwater: tijdelijke holen door bevers op bezoek => hoogte, freatische lijn Bij lager water: door permanent aanwezige bevers		
waargenomen: vele muizengangetjes op ca 10 cm diepte Bij grote hoeveelheden: significant probleem		vooroeververkleining		
		zand: bij langdurige droogte: grotere kans op instorting gangen=> kruinverlaging		

Myron van Damme			Discussie	
			Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:	Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:
Schade aan de grasmatt kan leiden tot een verlaging van de erosieweerstand. Muizengangen op de kruin kunnen de effectieve kruinhoogte verkleinen. (Onwaarschijnlijk door voldoende overhoogte) <i>*over de hele breedte van de kruin? - kruin verlaging ernstig</i>	graverij door een konijnengat kan in het geval van hoogwater ook een drainerend effect hebben waardoor de kans op instabiliteit wordt verkleind. Aan de andere kant kan uitspoeling van deeltjes uit de kern toenemen	Graverij aan de buitenzijde zorgt voor een verhoging van de gradiënt van de freatische lijn. Hierdoor neemt de kans op instabiliteiten toe. In het geval van overloop, zal de bever mogelijk door de kruin heen kunnen graven? (Laatste is onwaarschijnlijk indien voldoende overhoogte)	van te voren goed inspecteerbaar -	gedrag van muizen: juist onder de grasmatt
	Door graverij van de konijnen kan het zijn dat de kleilaag in de kern opbarst door de hogere waterdruk lokaal onder de kleilaag en de afname van spanningen op de kleilaag			
In het geval van een verbinding tussen kruin en binnentalud kan een muizengat snel leiden tot erosie van het dijklichaam, ook als deze een kortsluiting geeft met de bevergang. (Onwaarschijnlijk door voldoende overhoogte)	Instorten van de konijnenburcht kan leiden tot kruinverlaging en overloop. Konijnenholen zijn echter redelijk goed zichtbaar dus onwaarschijnlijk	Het effect op piping kan vergroot worden indien de bever in het geval van lage waterstanden initieel een deel naar beneden zal graven door de kleilaag heen waardoor de kwelweglengte afneemt		
	In het geval van overloop of overslag kan een konijnenhol de locatie zijn waar erosie begint. (hier onwaarschijnlijk)	Instorten van de beverburcht kan leiden tot kruinverlaging en overloop (Functie van de mate van overhoogte)		

André Koelewijn			Discussie	
			<p>Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:</p>	<p>Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:</p>
		<p>graverij buitendijks op laag niveau doorbreekt afsluitende kleilaag → kortsluiting naar diepere zandlaag → direct of bij hoogwater te hoge waterdruk onder slootbodembinnendijks → opbarsten slootbodembinnendijks → piping → a) ruimen van pipe leidt pas betrekkelijk laat tot instorten van een dan vrij grote pipe → kruinverlaging → overloop → erosie verzakte kruin → inundatie of b) ruimen van pipe leidt tot grote hoeveelheid instromend water → inundatie (pad a is erger)</p> <p>A: middel B: Middel</p>	<p>-in een zandlichaam liever geen kamer graven - die willen de hollen liever in grond Zandlichaam ligt diep dus zal niet makkelijk te doorgraven zijn (in normale belasting)</p>	<p>Ingang → onder de waterlijn onder de bodem nog maar 10 - 20 cm klei zand dijk met klei bekleding - interne erosie/piping? - waarneming - is er zand en waar komt het zand van daan? kunnen 12 meter horizontaal graven (ventilatie gaten naar boven toe) ten tijden van droogte kan de bever dieper gaan graven en dus wel bij de zandlaag.</p>
<p>graverijen buitendijks op talud → bij hoogwater stroomt gemakkelijk veel water door het talud de kern van de dijk in → verhoging freatische lijn → microinstabiliteit in de vorm van uitspoelen zand bij binnendijkse teen, waarbij situatie weliswaar traag, maar wel volledig uit de hand loopt doordat het proces niet te stoppen is, tenzij de instroom van water kan worden gestopt → na uitspoeling van veel zand → a) verzakken kruin direct door microinstabiliteit → overloop → erosie verzakte kruin → inundatie of b) tussendoor binnenwaartse macroinstabiliteit door verlies van steun aan de binnenteen → verzakken van de kruin → overloop → erosie verzakte kruin → inundatie (pad a kost meer tijd, maar is ernstiger)</p> <p>voor maatgevende waterstanden groot Klein: klein</p>			<p>bij muizen heb je een plaag nodig voordat het effect groot genoeg is overlsag proeven hebben aangetoond dat enkele gaatjes geen effect hebben op erosie bestendigheid voor en na hoogwater inspectie bij bevers iets minder hoog water nodig (om verhang te veroorzaken) *uitwerken</p>	<p>fors gat van een bever zorgt voor verhoging van freatische lijn gebeurt alleen als niet gedetecteerd voor hoog water. muizen plaag is niet permanent → maar wel steeds frequenter omdat we geen strenge winters meer hebben</p>

<p>Midden: medium Groot: ernstige *alles aan de binnekant heb j eerst overlsga nodig</p>	<p>verschillende waterstande)</p>		
	<p>graverij nabij binnenteen leidt tot doorbreken kleilaag, daardoor verkorting kwelweg (uittredepunt voor piping schuift kanaalwaarts op) → piping (zie verder twee regels hierboven) NB: 1e en 3e punt versterken elkaar, 2e punt is betrekkelijk losstaand van die twee andere <i>proces onder de kleilaag</i></p>	<p><i>kans op piping niet zo beïnvloedt (combinatie van binnen en buitendijks)</i> <i>-inspectie mogelijkheden</i></p>	

Ferdi Timmermans			Discussie	
			Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:	Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:
	Forse grondverplaatsing en -verwijdering(waaldijk). onduidelijk waar de grond gebleven is (de konijnenburcht was groot en uitgestrekt; meer dan 3 m3 grond 'verdwenen'). Kan instabiliteit binnenwaarts veroorzaken.		vraag: wat is de reikwijdte van het get gangen stelsel	
mollengangen maar ook konijneholten kunnen verweking veroorzaken, bijv wanneer het een ingang vormt voor hemelwater. Diverse plekken waar het (steile) talud van de Maasdijk is vervormd.				
<u>mol versus muis, wat is het meest riskant? (ecoloog?)</u>	<u>Holtes (kamers, gangen) kunnen bij betreding of (verkeers-) belasting op onverwacht moment inzakken, 'sinkhole'; Alice in Wonderland faalmechanisme</u>			

Afronding:

Wat vond je goed / vernieuwend / interessant?




Wat vond je minder goed/ voor de hand liggend?

Welke verdieping/focus zou je graag zien in een volgende workshop?

Wat zie je graag onderzocht in een (mogelijke) proef?

B Samengevoegde resultaten workshop

Samengevoegde inhoudelijke resultaten Brainstorm Graverijen - Doorgrondingsessie

<u>Invloed kleine / middelgrote / grote gravers</u>			<u>Discussie</u>	
			Waarschijnlijk gebeurt dit niet want:	Waarschijnlijk gebeurt dit wel want:
1. Graverij door middelgroot of groot dier, leidend tot piping				
	<p>Naam: Piping treedt sneller op</p> <p>Omschrijving: Hol of ingang burcht aan buitenzijde van de dijk of hol/ doorgraving aan de binnenzijde zorgt voor verkorting van de kwallengte (pipe). Grotere kans op piping.</p>			
		<p>graverij buitendijks op laag niveau doorbreekt afsluitende kleilaag → kortsluiting naar diepere zandlaag → direct of bij hoogwater te hoge waterdruk onder slootbodem binnendijks → opbarsten slootbodem → piping → a) ruimen van pipe leidt pas betrekkelijk laat tot instorten van een dan vrij grote pipe → kruinverlaging → overloop → erosie verzakte kruin → inundatie of b) ruimen van pipe leidt tot grote hoeveelheid instromend water → inundatie (pad a is erger)</p> <p>a: middelgroot risico b: Middelgroot risico</p>	<p>-in een zandlichaam liever geen kamer graven - die willen de hollen liever in grond Zandlichaam ligt diep dus zal niet makkelijk te doorgraven zijn (in normale belasting)</p>	<p>Ingang → onder de waterlijn onder de bodem nog maar 10 - 20 cm klei</p> <p>zand dijk met klei bekleding - interne erosie/piping? -waarneming - is er zand en waar komt het zand van daan? kunnen 12 meter horizontaal graven (ventilatie gaten naar boven toe)</p> <p>ten tijden van droogte kan de bever dieper gaan graven en dus wel bij de zandlaag.</p>

		Graverij aan de buitenzijde zorgt voor een verhoging van de gradiënt van de freatische lijn. Hierdoor neemt de kans op instabiliteiten toe. In het geval van overloop, zal de bever mogelijk door de kruin heen kunnen graven? (Laatste is onwaarschijnlijk indien voldoende overhoogte)	van te voren goed inspecteerbaar -	
	algemeen - directe verbindingen binnen/buiten door gat en opdrukken resterende deklaag	algemeen - directe verbindingen binnen/buiten door gat en opdrukken resterende deklaag <i>locatie / hoogte</i> <i>klei eigenschappen</i> <i>waterstand daling (snelheid)</i>	hele brede kering Hoe snel/langzaam kan waterstand laten dalen/stijgen	
	interne erosie: - terugschrijdende erosie onder dijk door verkorte kwelweg (intrede en/of uittredepunten gegraven door deklaag - contacterosie: gegraven gat door dijk vergroot	interne erosie: - terugschrijdende erosie onder dijk door verkorte kwelweg (intrede en/of uittredepunten gegraven door deklaag - contacterosie: gegraven gat door dijk vergroot		
		Bij hoogwater: tijdelijke holen door bevers op bezoek => hoogte, freatische lijn		
		Bij lager water: door permanent aanwezige bevers		
		vooroeververkleining		

2. Graverij door bever leidend tot korte kwelweglengte en daardoor piping			
		Het effect op piping kan vergroot worden indien de bever in het geval van lage waterstanden initieel een deel naar beneden zal graven door de kleilaag heen waardoor de kwelweglengte afneemt	
		Naam: Piping: Als de bever aan de binnenzijde gaat graven creëert hij/zij een uittredepunt voor piping, of verkort de pipinglengte (denk dat dit minimaal is). Wanneer hij vanuit het kanaal gaat graven en doorgraaft de kleilaag op NAP – 0,5 tot -1,20 zou hij een intredepunt kunnen creëren. Denk dat dit bij normale waterstanden te diep ligt, maar bij lage waterstanden zou dit wellicht kunnen	
	graverij nabij binnenteen leidt tot doorbreken kleilaag, daardoor verkorting kwelweg (uittredepunt voor piping schuift kanaalwaarts op) → piping		<i>kans op piping niet zo beïnvloedt (combinatie van binnen en buitendijks)</i> <i>-inspectie mogelijkheden</i>
3. Buitendijkse graverijen door alle dieren die bij (extreem) hoogwater leiden tot vullen van de kern en vervolgens falen door microinstabiliteit of macroinstabiliteit			
graverijen buitendijks op talud → bij hoogwater stroomt gemakkelijk veel water door het talud de kern van de dijk in → verhoging freatische lijn → microinstabiliteit in de vorm van uitspoelen zand bij binnendijkse teen, waarbij situatie weliswaar traag, maar wel volledig uit de hand loopt doordat het proces niet te stoppen is, tenzij de instroom van water kan worden gestopt → na uitspoeling van veel zand → a) verzakken kruin direct door microinstabiliteit → overloop → erosie verzakte kruin → inundatie of b) tussendoor binnenwaartse macroinstabiliteit door verlies van steun aan de binnenteen → verzakken van de kruin → overloop → erosie verzakte kruin → inundatie (pad a kost meer tijd, maar is ernstiger) risico bij maatgevende waterstanden groot		bij muizen heb je een plaag nodig voordat het effect groot genoeg is overlsag proeven hebben aangetoond dat enkele gaatjes geen effect hebben op erosie bestendigheid voor en na hoogwater inspectie	fors gat van een bever zorgt voor verhoging van freatische lijn gebeurt alleen als niet gedetecteerd voor hoog water. muizen plaag is niet permanent → maar wel steeds frequenter omdat we geen strenge winters meer hebben

			bij bevers iets minder hoog water nodig (om verhang te veroorzaken) *uitwerken voor verschillende waterstanden)	
	<p>Naam: Verweking binnentalud</p> <p>Omschrijving: Hol of ingang burcht aan buitenzijde van de dijk. Doorgraving zorgt voor hogere freatische lijn in de dijk. Daardoor grotere kans op verweking van het binnentalud of grotere kans op afschuiving van het binnentalud (door verlaging van de korreldruk)</p>			
	In het geval van overloop of overslag kan een konijnenhol de locatie zijn waar erosie begint. (hier onwaarschijnlijk)			
	Door graverij van de konijnen kan het zijn dat de kleilaag in de kern opbarst door de hogere waterdruk lokaal onder de kleilaag en de afname van spanningen op de kleilaag			
	graverij door een konijnengat kan in het geval van hoogwater ook een drainerend effect hebben waardoor de kans op instabiliteit wordt verkleind. Aan de andere kant kan uitspoeling van deeltjes uit de kern toenemen			
	<p>Naam Microstabiliteit</p> <p>Omschrijving: door de gangen en holen kan waterstand in dijk toenemen. Hierdoor kan de binnenbekleding afdrukken of via de gestructureerd bekleding kan de dijk intern eroderen of verweken. Dit lijkt een beetje op</p>			

	de foto's uit het PO gebied qua vorm van bezwijken. Het doorgraven van een bekleding is bij een zanddijk altijd een groot risico, voor de verschillende micro-stabil mechanismen			
	microinstabiliteit - hoger freatisch vlak	microinstabiliteit - hoger freatisch vlak		
	STBI: - hoger freatisch vlak door weggraven intredeweerstand - andere glijvlakken lokale zwaktes - hogere waterspanningen onder dijk door graven kortsluiting	STBI: - hoger freatisch vlak door weggraven intredeweerstand - andere glijvlakken lokale zwaktes - hogere waterspanningen onder dijk door graven kortsluiting	andere glijvlakken -holen kunnen bijdragen aan drainage	
4. Versterkte erosie bij overloop of golfoverslag, door beschadiging van de bekleding als gevolg van de graverijen van alle soorten dieren				
	Naam: bekleding Omschrijving: Konijnen maken gaten in de bekleding van de dijk. Deze is vaak 0,7 a 1,0 m dik dus bij diepe hopen doorgraven ze de bekleding in het geheel. Omdat hier sprake is van een zanddijk zal in geval van overloop/overslag de bekleding in functionaliteit hard achteruit gaan			
In het geval van een verbinding tussen kruin en binnentalud kan een muizengat snel leiden tot erosie van het dijklichaam, ook als deze een kortsluiting geeft met de bevergang. (Onwaarschijnlijk door				

voldoende overhoogte)				
Schade aan de grasmat kan leiden tot een verlaging van de erosieweerstand. Muizengangen op de kruin kunnen de effectieve kruinhoogte verkleinen. (Onwaarschijnlijk door voldoende overhoogte) <i>*over de hele breedte van de kruin? - kruin verlaging ernstig</i>				gedrag van muizen: juist onder de grasmat
Naam: Aantasting grasbekleding Omschrijving: Muisjes komen nooit alleen. Bij muizenplaag in Wetterskip (2016 of 2017) bleek de grasmat aanzienlijk aangetast. Muizen aten wortels op, gras ging dood' functioneren grasbekleding onvoldoende				
bekleding: -binnen en buiten verminderde erosieweerstand door weggegraven bekleding	bekleding: -binnen en buiten verminderde erosieweerstand door weggegraven bekleding of instortende holen	bekleding: -binnen en buiten verminderde erosieweerstand		
waargenomen: vele muizengangetjes op ca 10 cm diepte Bij grote hoeveelheden: significant probleem				

5. Kruinverlaging door vooral bij hoogwater instortende holen				
	Naam: Kruinverlaging Omschrijving: Door instorting van ondergrondse hol of burcht verlaging van de kruin onder de (maatgevende) waterstand			
	Instorten van de konijnenburcht kan leiden tot kruinverlaging en overloop. Konijnenholen zijn echter redelijk goed zichtbaar dus onwaarschijnlijk	Instorten van de beverburcht kan leiden tot kruinverlaging en overloop (Functie van de mate van overhoogte)		
		zand: bij langdurige droogte: grotere kans op instorting gangen=> kruinverlaging		
	hoogte: - kleine kruinverlaging door instorten holen rond kruin	hoogte: - grote kruinverlaging door instortende holen, vooral tijdens hoogwater	kan gebeuren wanneer er waterbeasting is maar kan ook wanneer dit niet gebeurt bevers zoeken "een dak boven hun hoofd" stabielere	
	Forse grondverplaatsing en -verwijdering(waaldijk). onduidelijk waar de grond gebleven is (de konijnenburcht was groot en uitgestrekt; meer dan 3 m3 grond 'verdwenen'). Kan instabiliteit binnenwaarts veroorzaken.		vraag: wat is de reikwijdte van het gangenstelsel	
		Naam: kruinhoogte, vallen van gaten in de kruin Omschrijving: bevers graven gaten van onder de waterlijn omhoog de dijk in. Bij zanddijken kan het goed mogelijk zijn dat het hol open blijft bij normale waterstanden maar bij toename van de waterstand en daarmee meer verzadigd raken van de zandkern zouden deze holen bij hoogwater in kunnen storten en tot kruinverlaging kunnen leiden		

<p>mollengangen maar ook konijnholen kunnen verweking veroorzaken, bijv wanneer het een ingang vormt voor hemelwater. Diverse plekken waar het (steile) talud van de Maasdijk is vervormd.</p>			
	<p>overname door vos/das: graven dieper</p>		
<p>mol versus muis, wat is het meest riskant? (ecoloog?)</p>	<p>Holtes (kamers, gangen) kunnen bij betreding of (verkeers-) belasting op onverwacht moment inzakken, 'sinkhole'; Alice in Wonderland faalmechanisme</p>		

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl