

Degradatie van dijken door dieren en droogte

Uitwerking observaties graverijen en scheuren



Degradatie van dijken door dieren en droogte
Uitwerking observaties graverijen en scheuren

Degradatie van dijken door dieren en droogte

Uitwerking observaties graverijen en scheuren

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Henk van Hemert
Referenties	Zie literatuur
Trefwoorden	Dierlijke graverijen, droogte, waterkeringen, initiërend mechanisme

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	28-11-2022
Projectnummer	11208034-002
Document ID	11208034-002-ZWS-0001
Pagina's	40
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Frans van den Berg Andre Koelewijn		

Samenvatting

Het afgelopen jaar is de toename van graverijen in waterkeringen en andere infrastructuur, met name door de bever, menigmaal in het nieuws geweest. Van ondergraving van het spoor bij Taarlo tot het afschieten van bevers in graverijen aan de buitenteen van de Waalbandijk te Wamel. Door de graverijen in de dijk neemt de weerstand van de dijk tegen hoogwater af. De afgelopen jaren is ook droogte steeds vaker in het nieuws. Niet alleen door graverijen neemt de weerstand van de dijk tegen hoogwater af, maar ook door droogte.

Doel

Het doel van het onderzoek naar degradatie van dijken door graverijen en droogte is om deze fenomenen in kaart te brengen, de effecten op de infrastructuur te kunnen kwantificeren en daarmee gerichte en proportionele maatregelen te kunnen treffen. Dit wordt gedaan door de invloed van dierlijke graverijen en droogtescheuren op de conditie van dijken in te schatten door een aantal observaties te beschrijven waarin dierlijke graverijen en/of scheuren in waterkeringen aanwezig zijn. De eventuele onderlinge samenhang zal hierbij aan de orde komen, evenals het potentiële risico voor de waterveiligheid en het bijbehorende handelingsperspectief. Dit onderzoek zal volgend jaar nog worden voortgezet om aan deze doelstelling te kunnen voldoen.

Aanpak

In dit rapport worden een aantal observaties van graverijen en droogtescheuren in waterkeringen vastgelegd. De observaties zijn gedaan tijdens veldbezoeken aan drie waterschappen; Drents Overijsselse Delta, Brabantse Delta en Rivierenland. Tevens is een bezoek gebracht aan het symposium: 'Vormen bevers een gevaar voor de infrastructuur?'. Er wordt in dit rapport tevens een eerste verkenning van de effecten van graverijen en droogte op de waterkering gegeven.

Conclusie graverij

Er wordt geconcludeerd dat de graverijen en in het bijzonder van de bever een gevaar kan vormen voor waterkeringen en de infrastructuur. Uit de diverse cases en overloop- en overslagproeven is gebleken, dat als er een dierlijke graverij in een kering aanwezig is, de kans op falen (beduidend) groter kan zijn dan bij een vergelijkbare kering zonder graverijen. In voorkomende gevallen dienen maatregelen getroffen te worden om de waterkeringen en andere infrastructuur te beschermen.

Conclusie droogte

In 2021 is een verkenning uitgevoerd naar scheuren en andere holten in dijken die niet primair door dieren worden veroorzaakt, maar door uitdroging en de daarmee gepaard gaande krimp van klei (Holscher & Zomer, 2021). De droogte, verhevigd als gevolg van inmiddels al opgetreden klimaatverandering, is een tot nu toe nog onvoldoende onderkend probleem. Droogtescheuren leiden sinds de droge zomer van 2018 op meerdere locaties tot een grotere doorlatendheid van de bekledingslaag dan waar bij de veiligheidsbeoordeling rekening mee gehouden wordt.

Gelet op de verwachte doorgaande klimaatverandering en de waargenomen groei van diverse dierlijke populaties zijn daarom mogelijk diverse aanpassingen noodzakelijk op de volgende aspecten:

- Het beheer en onderhoud van de dijk.
- De overstromingskansanalyses.
- De aanleg of versterking van dijken.

Dit zal volgend jaar in vervolgonderzoek moeten worden uitgewerkt.

Doorkijk 2023

De nadere verkenning van de problematiek van dierlijke graverijen en droogte in waterkeringen in deze rapportage betreft ten opzichte van het in 2021 uitgevoerde onderzoek vooral een meer uitgebreid beeld van de problematiek. Het aantal onderzochte locaties is met 18 stuks uitgebreid en met een drietal waterschappen is uitgebreid van gedachten en ervaringen gewisseld. Hieruit komt naar voren dat er geen sprake is een geïsoleerd, lokaal probleem, maar dat onder de beheerders van waterkeringen de urgentie breder is en groeit.

Er is daarom voldoende reden om het onderzoek in 2023 voort te zetten. In 2023 zullen de volgende activiteiten op dit gebied worden uitgevoerd om een beter begrip van de problematiek te verkrijgen en zodoende te komen tot een handelingsperspectief:

- Vervolg inventarisatie graverij en droogte bij kustwaterschappen en in Limburg.
- Nadere verkenning van maatregelen graverijen/ droogte.
- Verkenning naar verschillende detectiemethoden om graverijen te detecteren, als update van een eerdere verkenning hiernaar (Kieftenburg, 2019).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Context	8
1.2	Doel	9
1.3	Aanpak	9
1.4	Leeswijzer	9
2	Uitwerking cases dierlijke graverijen	10
2.1	Inleiding	10
2.2	Bezochte waterschappen en symposium	11
2.3	Bevergraverij	12
2.3.1	Algemeen	12
2.3.2	Bevindingen	14
2.4	Dassengraverij	18
2.4.1	Algemeen	18
2.4.2	Bevindingen	20
2.5	Overige observaties	21
2.6	Invloed op waterveiligheid	21
3	Uitwerking cases droogtescheuren	23
3.1	Inleiding	23
3.2	Karakteristiek krimpgedrag van klei	23
3.3	Interactie met dierlijke graverijen	26
3.4	Huidige richtlijnen voor dijkbekledingen	26
3.5	Effect op de overstromingskans	27
4	Verkenning van maatregelen	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Het verhaal van de dijk	29
4.3	Maatregelen tegen graverijen	30
4.4	Maatregelen tegen uitdroging	30
4.5	Detectie	31
5	Conclusie en doorkijk	32
5.1	Graverijen	32
5.2	Krimpscheuren door droogte	32
5.3	Doorkijk 2023	33

	Literatuur	34
A	Verslag locatiebezoek WDOD 22-6-2022	37
B	Verslag locatiebezoek WSBD 4-7-2022	38
C	Verslag locatiebezoek WSRL 27-7-2022	39

1 Inleiding

1.1 Context

In 2021 is de huidige stand van zaken vastgelegd betreffende dierlijke graverijen in dijken. Het onderzoek heeft plaatsgevonden door middel van een literatuuronderzoek, het houden van een schriftelijke enquête onder waterkeringbeheerders, veldbezoeken en gesprekken met beheerders (Van den Berg, 2021). Een van de conclusies was dat de invloed van, voornamelijk, de wettelijk beschermde bevers op de veiligheid van waterkeringen erg groot is. Hierin is duidelijk een verschuiving te zien doordat voorheen de muskus- en de beverrat voor grote schade aan de waterkering zorgde (DHV, 2006) en (DHV, 2007). De niet wettelijke beschermde muskus- en beverrat nemen nu juist in populatie af door het huidige beheer

Uit dit uitgevoerde onderzoek (Van den Berg, 2021) volgt dat de risico's van dierlijke graverijen moeilijk eenduidig te kwantificeren zijn. Dit komt doordat er in generieke zin te veel variabelen zijn om hier een duidelijke uitspraak over te kunnen doen. Variabelen die een rol spelen zijn onder andere; soort dijk (zand, klei), staat er permanent water tegen de dijk of niet, soort dier, locatie graverij, invloed op welk faalmechanisme.

Uit observaties en inspecties volgt dat de kans dat een dier en dus graverij ergens in een keringgedeelte aanwezig is zeer groot is en gezien de populatiegroei ook toeneemt. Tevens is gebleken uit diverse cases en overloop- en overslagproeven dat als er een dierlijke graverij in een kering aanwezig is, de kans op falen (beduidend) groter kan zijn dan bij een vergelijkbare kering zonder graverijen. In (Etten, 2006) wordt aangegeven dat er in ieder geval 2 gevallen zijn van het falen van een zanderige kering door dierlijke graverij in Nederland. In (Taccari, 2015) wordt een analyse uitgevoerd van dierlijke graverij die in Italië tot een dijkdoorbraak heeft geleid. Er zijn steeds meer signalen die ertoe leiden om serieus aandacht te gaan besteden aan deze effecten voor de waterveiligheid.

Verder is in 2021 een verkenning uitgevoerd naar scheuren en andere holten in dijken die niet primair door dieren worden veroorzaakt, maar door uitdroging en de daarmee gepaard gaande krimp van klei (Holscher & Zomer, 2021).

In ontwerp en beoordeling van dijkversterkingen wordt geen rekening gehouden met deze effecten die tot degradatie van de weerstand tegen hoogwater kunnen leiden.

De toenemende frequentie van observaties van graverijen en andere beschadigingen van de dijk, met een potentieel grote invloed op de overstromingskans, heeft vragen doen rijzen over de ernst van deze verschijnselen. In het verlengde daarvan rijst ook de vraag in hoeverre er aanpassingen mogelijk of noodzakelijk zijn in het beheer en onderhoud, of dat hier in het ontwerp en de versterking al rekening mee gehouden zou moeten gaan worden.

Er zijn verschillende stappen nodig om voor deze problematiek te komen tot een gerichte en proportionele aanpak. Ten eerste betreft dit het detecteren van dierlijke graverijen in dijken en het vaststellen van de effecten. Ten tweede is het voor het beoordelen van de schadelijkheid noodzakelijk om dat in kwantitatieve termen te kunnen doen. Als daarmee objectief kan worden vastgesteld dat er een probleem is, dan moet worden geschetst welke maatregelen effectief zijn. Voor een breder perspectief van dierlijke graverij wordt verwezen naar Van den Berg (2022b). Hierin is in een veiligheidsraamwerk weergegeven hoe er met dierlijke graverijen omgegaan kan worden voor primaire waterkeringen.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is om de invloed van dierlijke graverijen en droogtescheuren op de conditie van dijken in te schatten, door een aantal observaties te beschrijven waarin dierlijke graverijen en/of scheuren in waterkeringen aanwezig zijn. De eventuele onderlinge samenhang zal hierbij aan de orde komen, evenals het potentiële risico voor de waterveiligheid en het bijbehorende handelingsperspectief.

Afbakening

Het hoofddoel van onderhavig onderzoek betreft de primaire keringen en dus minder bijvoorbeeld droogte bij veenkaden. Het onderscheid zanddijk en kleidijk speelt bij het onderzoek een belangrijke rol evenals de precieze plek in het dwarsprofiel waar wordt gegraven of waar droogtegevoelige bekleding aanwezig is. Veendijken maken geen onderdeel uit van het onderzoek. Verder zijn er bijna altijd de nodige locatie-specifieke omstandigheden die ieder geval bijzonder maken. Doel van de studie is vooral om hier meer inzicht in te bieden.

1.3 Aanpak

Om het bovenstaande doel te bereiken zijn de volgende acties uitgevoerd:

Cases bij Waterschappen en bezoek symposium

De enquête uit 2021 (Van den Berg, 2021) is opgevolgd met interviews van de beheerders, bij voorkeur in combinatie met concrete voorvallen van ontdekte dierlijke graverijen. Hierbij is ook opvolging gegeven aan het onderzoek naar scheuren en andere holten die niet direct een dierlijke oorsprong hebben. De verzameling van cases die hiermee is opgebouwd zal verder helpen om inspectie-, monitoring- en herstelmethoden te verbeteren, maar ook om waar nodig, mogelijk en gewenst de beheer-, onderhoud-, ontwerp- en beoordelingscriteria aan te passen. Meer goed gedocumenteerde cases vergroten de mogelijkheden om tot een onderbouwde kwantificering van effecten te komen. Hiertoe zijn drie cases beschreven in de beheergebieden van: Waterschap Drents Overijsselse Delta, Waterschap Rivierenland en Waterschap Brabantse Delta. De uitwerking van de cases is door een stagiaire uitgevoerd. Tevens is er informatie opgehaald bij een symposium waarbij de invloed van de bever op de infrastructuur aan bod kwam.

Hoe verder om te gaan met dierlijke graverijen en scheuren

Op basis van de verzamelde informatie kan verder worden nagedacht hoe er verder met dierlijke graverijen, scheuren en andere holten in waterkeringen moet worden omgegaan. De vaststelling van een verdere lijn om dit onderzoek vorm te geven dient te worden uitgevoerd met de verschillende stakeholders (HWBP, DGWB, RWS en de waterschappen), een workshop kan hiervoor een geschikte vorm zijn, maar maakt geen deel uit van dit rapport.

1.4 Leeswijzer

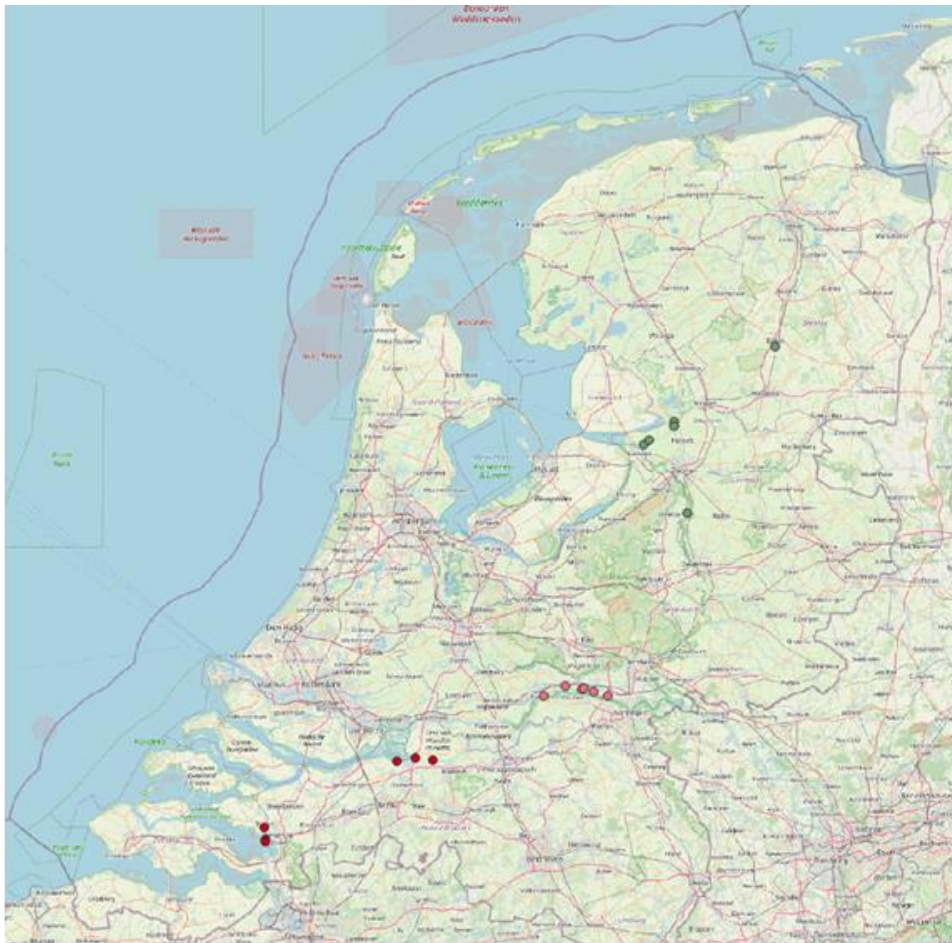
In de hoofdstukken 2 en 3 worden achtereenvolgens de cases voor dierlijke graverijen en voor droogtescheuren nader uitgewerkt. In hoofdstuk 4 volgt een korte verkenning van mogelijke maatregelen tegen zowel graverijen als scheuren, gevolgd in hoofdstuk 5 door een doorkijk naar logische vervolgstappen in dit onderzoek die in 2023 kunnen worden uitgevoerd. In hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen benoemd.

2 Uitwerking cases dierlijke graverijen

2.1 Inleiding

Om een beeld te krijgen, en kennis op te halen, van de invloed van dierlijke graverijen op waterkeringen in dagelijkse omstandigheden is een 3-tal waterschappen bezocht onder andere langs de Waal, IJssel en Bergse Maas. Het betreft Waterschap Drents Overijsselse Delta, Waterschap Brabantse Delta en Waterschap Rivierenland. In de navolgende paragrafen is een uitwerking gegeven van de bevindingen van de 3 cases. In de bijlagen is per case een uitgebreid verslag weergegeven, inclusief foto's van de bezochte waterschappen. De verslagen zijn gemaakt door Pauline Peteau van de Université de Lorraine en in het Engels opgesteld. Tevens is een symposium bezocht met als thema: "Vormen bevers een gevaar voor de infrastructuur?".

In paragraaf 2.2 is een kort overzicht gegeven van de bezochte waterschappen en van het bezochte symposium. Vervolgens zijn in paragraaf 2.3 tot en met 2.5 graverijen van verschillende diersoorten beschreven en in paragraaf 2.6 is de invloed op de waterveiligheid opgenomen.



Figuur 2.1 Bezochte locaties (Rood= beheergebied Brabantse Delta, Roze= beheergebied Waterschap Rivierenland, Groen=beheergebied Waterschap Drents Overijsselse Delta).

2.2 Bezochte waterschappen en symposium

Waterschap Drents Overijsselse Delta

Bij het Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) zijn op 22 juni 2022, 6 locaties bezocht waar dierlijke graverijen en/ of droogtescheuren aanwezig waren. De dierlijke graverijen bestond uit graverijen van bevers, dassen en muizen.

De locaties zijn gezamenlijk bezocht door:

- Ron Holscher en Wijnand Evers (WDOD).
- André Koelewijn en Frans van den Berg (Deltares).
- Pauline Peteau (Deltares stagiaire van de Université de Lorraine).

Een uitgebreid verslag van de inspectie is opgenomen als Bijlage A.

Waterschap Brabantse Delta

Bij het Waterschap Brabantse Delta (WSBD) zijn op 4 juli 2022, 6 locaties bezocht waar dierlijke graverijen en/ of droogtescheuren aanwezig waren. De dierlijke graverijen bestonden uit graverijen van muizen en mollen en beversporen.

De locaties zijn gezamenlijk bezocht door:

- Annette Kieftenburg, Roland Legierse en Rik Hobbelen (WSBD).
- André Koelewijn en Frans van den Berg (Deltares).
- Pauline Peteau (Deltares stagiaire van Université de Lorraine).

Een uitgebreid verslag van de inspectie is opgenomen als Bijlage B.

Waterschap Rivierenland

Bij het Waterschap Rivierenland (WSRL) zijn op 27 juli 2022, 6 locaties bezocht waar dierlijke graverijen en/ of droogtescheuren aanwezig waren. De dierlijke graverijen bestond uit graverijen van bevers, dassen en muizen.

De locaties zijn gezamenlijk bezocht door:

- Wim Cornelissen en Arjan Krikke (WSRL).
- André Koelewijn en Frans van den Berg (Deltares).
- Pauline Peteau (Deltares stagiaire van de Université de Lorraine).

Een uitgebreid verslag van de inspectie is opgenomen als Bijlage C.

Beversymposium Stowa/ProRail

Dit beversymposium is door ProRail en STOWA georganiseerd in samenwerking met de andere initiatiefnemers van het kenniscentrum Bever: STOWA, Rijkswaterstaat, de Unie van Waterschappen, de Zoogdierverseniging en het Interprovinciaal Overleg. Het symposium is op 14 april gehouden in Zwolle. Het programma en de presentaties zijn hier te vinden:

[Symposium: 'Vormen bevers een gevaar voor de infrastructuur?' | STOWA](#)

In dit symposium is dieper ingaan op de vraag in hoeverre bevers een gevaar vormen voor de infrastructuur.

2.3 Bevergraverij

2.3.1 Algemeen

Herintroductie

Nadat een visser, volgens de overlevering, in 1826¹ in de IJssel bij Zalk de laatste bever in Nederland doodknuppelde zijn er tot 1988 geen bevers meer in Nederland gezien. In 1988 is een aantal bevers uitgezet in onder andere de Biesbosch en zijn er vanuit Duitsland bevers naar Nederland gekomen. Sinds 1988 is de bever in Nederland beschermd en mag deze zonder toestemming van de overheid niet gedood worden.

Exponentiele toename

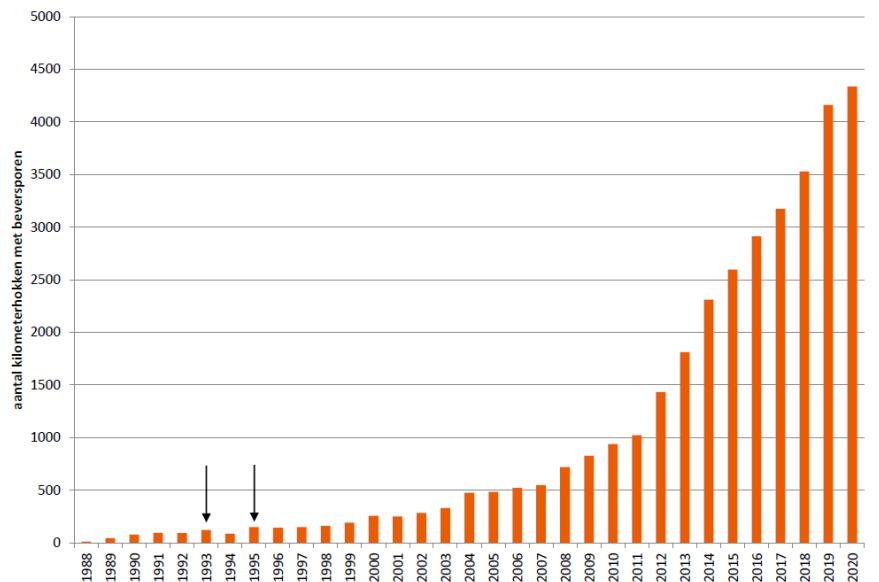
Na een moeizame start is de toename van het aantal bevers in Nederland op dit moment exponentieel aan het toenemen. Volgens de laatste gegevens van waarnemingen.nl is de populatie van de bever (*Castor Fiber*) in Nederland toegenomen tot circa 8.500 waarnemingen van individuen. In 2020 was het aantal waarnemingen circa 5000. Opgemerkt dient te worden dat er in het aantal waarnemingen ook dubbelingen kunnen zitten, dus het aantal waarnemingen geeft niet het absolute aantal bevers aan. Dit kan kleiner of groter zijn. De zoogdierenvereniging geeft aan dat er bij onveranderde omstandigheden een toename is van de beverpopulatie van 62% in de periode van 2018-2035.

In Figuur 2.2 is de populatieontwikkeling van de bever sinds 1988 grafisch weergegeven door middel van het aantal waarnemingen. In deze figuur is er speciale aandacht voor de jaren 1993 en 1995 toen Nederland geteisterd werd door hoogwater. Zoals in de grafiek valt af te lezen was de beverpopulatie toen nog erg klein, inmiddels zijn de waarnemingen van de bever vele malen groter. Verondersteld kan worden dat als er nu hoogwater zou optreden en de huidige beverpopulatie blijft toenemen dit een toenemende waarschijnlijkheid op afname van de waterveiligheid door bevergraverij zal opleveren.

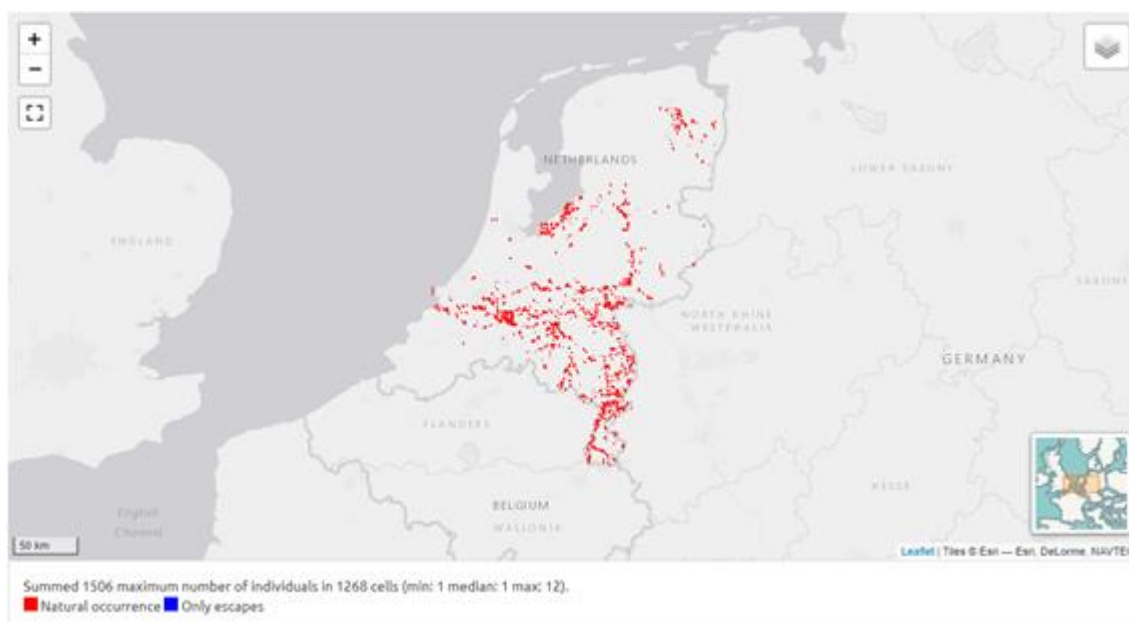
Verspreiding

De verspreiding van de bever in Nederland is vooral geconcentreerd langs de grote rivieren. Zie Figuur 2.3. De bevers zijn territoriale dieren en wanneer de beverjongen ouder zijn gaan zij op zoek naar een nieuwe vestigingsplek op een afstand van circa 1-2 km van de geboorteplek.

¹ In Zalk is een standbeeld van de laatste gevangen bever, die vermeldt het jaar 1825



Figuur 2.2 Aantal beverwaarnemingen per jaar (Dijkstra, 2022).



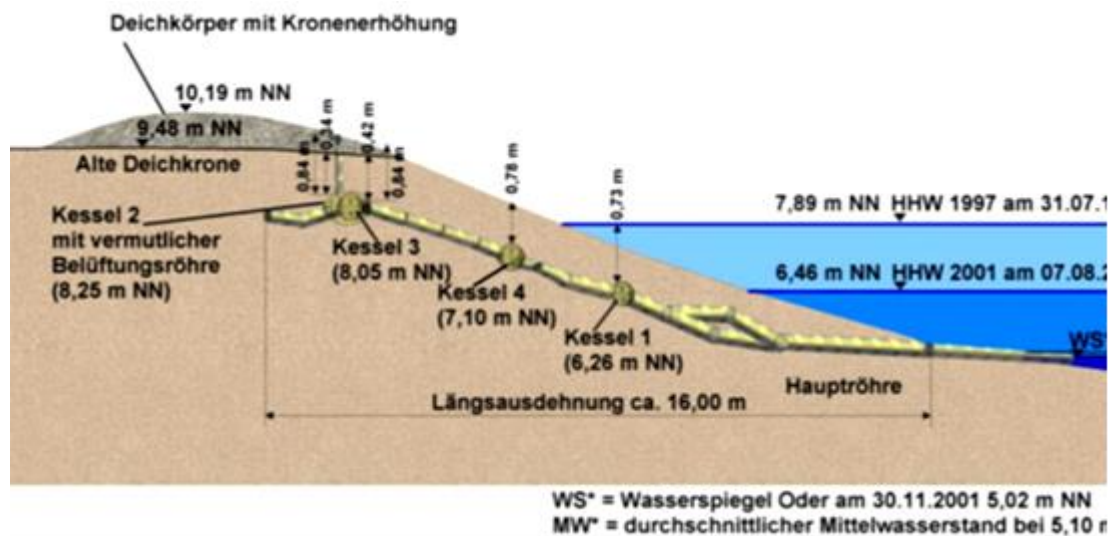
Figuur 2.3 Verspreiding beverpopulatie in Nederland in 2022 (waarnemingen.nl, 2022a).

Beverhol

De bever graaft de ingang van zijn hol net onder de waterlijn als bescherming en graaft daarna omhoog in de (afdekkende) kleilaag. Bij een toenemende waterspiegel graaft de bever hoger totdat hij weer droog is. Zie Figuur 2.4. Ongebruikelijk lage waterstanden vormen aanleiding om een nog dieper gelegen toegang te maken. Door deze lage waterstanden kunnen de bevers tevens naar andere locaties verhuizen waar dieper water aanwezig is.²

Uit observaties van Wim Cornelissen (dijkbeheerder van Waterschap Rivierenland) kan de lengte van het totale gangenstelsel van een enkele bevergraverij tot wel 80 meter zijn.

² <https://www.gelderlander.nl/nijmegen-e-o/bevers-verlaten-huis-en-haard-door-droogte-kan-dodelijke-ruzie-veroorzaken-ab96575d/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.nl%2F>



Figur 2.4 Observatie van een beverhol langs de Oder bij hoogwater in 2001 (Hahmann et al, 2004).

Faalmechanismen

De graverij van een bever kan op verschillende manieren bijdragen aan het verzwakken en zelfs falen van een waterkering. Deels is het een initiërend mechanisme, dat wil zegen dat het de inleiding kan zijn van een faalpad. Het kan ook bijdragen aan andere initiële faalmechanismen. Een faalpad wordt beschouwd als de volledige keten van gebeurtenissen waardoor bijvoorbeeld in dit geval een situatie met een graverij leidt tot een initieel faalmechanisme, zoals binnenwaartse macroinstabiliteit, waarna vervolgmecanismen optreden die uiteindelijk leiden tot falen, bij dijken: overstroming van het achterland. Graverij kan leiden tot een hogere freatische waterstand in een dijk bij hoogwater, tot het ontstaan van waterdoorlatende gangen in de bekleding, tot verminderde erosiebestendigheid en tot een minder robuust grondlichaam.

In Van den Berg (2022a) is een overzicht gegeven van de verschillende initiële faalmechanismen die kunnen optreden of geïnitieerd kunnen worden ten gevolge van een bevergraverij. Deze zijn:

- (gebrek aan) Hoogte.
- Macrostabieliteit.
- Interne erosie (microstabieliteit).
- Piping.
- Falen (gras)bekleding.

De invloed van de graverij is sterk afhankelijk van de locatie. Voor een specifieke dijk, beschouwd in (Van den Berg, 2021b) blijkt de berekende stabiliteitsfactor voor binnenwaartse stabiliteit met 22% af te kunnen nemen, hetgeen overeenkomt met een toename van de overstromingskans met ruim een factor 100. De doorsnede-faalkans op piping zelfs van 1:22.000.000 per jaar naar 1:264 per jaar te kunnen gaan bij reëel denkbare graverijen.

2.3.2 Bevindingen

Bij alle bezochte waterschappen (WDOD, WSBD en WSRL) zijn sporen of graverijen van bevers aangetroffen.

Waterschap Drents Overijsselse Delta

Nabij Wijhe aan de IJssel is een bevergraverij bezocht in de buitenteen van de waterkering langs de IJssel. De ingang van het beverhol is lastig te vinden, omdat zich dat onder water

bevindt. Ook de dimensies zijn lastig te bepalen. Middels een door de dijkbeheerder Wijnand Evers zelf ontworpen apparaat is het mogelijk om een indruk te krijgen van de grootte van het hol. Zie Figuur 13 in Bijlage A.

In 2018 is in de IJsseldijk nabij Wijhe nog een bevergang met een lengte van ca. 10,7 meter uitgegraven³. Zie Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Uitgegraven beverhol in de IJsseldijk (foto: WDOD).

Door Wijnand Evers is aangegeven dat de bevers in het beheergebied van WDOD exponentieel zijn toegenomen en een steeds groter probleem wordt. Een beschrijving en foto's van de bezochte bevergraverij zijn in Bijlage A opgenomen.

Waterschap Brabantse Delta

Door Annette Kieftenburg van WSBD is aangegeven dat de graverijen waaronder die van de bever een steeds grotere urgentie heeft binnen WSBD. Om de dierlijke graverijen te monitoren wordt gebruikt gemaakt van een digitale kaart waar de aanwezigheid van de diverse graverijen wordt bijgehouden. Tevens is er een digitale kaart aanwezig waarbij de locaties zijn aangegeven van de eventuele verwachte aanwezigheid van de bever. Deze is opgesteld aan de hand van de diverse kenmerken, waarbij een bever zich zou kunnen vestigen. Denk hierbij aan steile taluds en voldoende eetbare bomen en struiken in de buurt. Aan de hand van deze kaart wordt onder andere de benodigde inspectie van de dijktrajecten bepaald.

³ <https://www.rtvoost.nl/nieuws/304374/bevers-veroorzaken-graafschade-aan-de-ijsseldijk-in-wijhe-en-zwolle>

Bevers nabij Standhazensedijk

Tijdens het bezoek op 4 juli 2022 zijn er geen beverholen bezocht/gezien, wel diverse “beverswissels” nabij de Standhazensedijk. Zie de beschrijving in Bijlage B. De bever laat zich meestal via dezelfde locatie op het sloottalud de sloot inglijden. Hierdoor ontstaat een soort versmering met de ondergrond, wat duidelijk herkenbaar is in het terrein en wat ook wel ‘beverswissels’ worden genoemd. Zie de beschrijving in Bijlage B.

Bevers in beschermingszone

In 2019 zijn er 5 verschillende locaties met bevergraverijen in de beschermingszones van de waterkeringen geïnspecteerd door Brabantse Delta en de Zoogdierenvereniging (Dijkstra,2019). In deze beschouwing werd voor de meeste locaties voorgesteld om deze hollen te verwijderen (conform het beverprotocol) en daarna te voorzien van een kwelscherm en gaas. Het risico bestaat dat de bevers op een andere, nabijgelegen, locatie wederom een hol of burcht construeren. Aangegeven wordt dat het verwijderen van de hollen alleen zinvol is als de biotoop van de bever zodanig wordt aangepast dat alle eetbare bomen en struiken worden verwijderd binnen het beverteritorium. Dit is echter ontheffingsplichtig.

Waterschap Rivierenland

Bevers langs de Waaldijk

Bij een groot aantal strangen (buitenwaarts) en wielen (voornamelijk binnenwaarts) zijn bevergraverijen geobserveerd. Door de extreme droogte konden veel in/uitgangen worden gezien die anders onder water zouden liggen. Op één locatie is door droogte zelfs een graverij gezien die direct onder een graverij lag die nu boven water lag.

Bevers in het Oude Wiel bij Wamel

Bij het bezoek (27 juli 2022) aan de locatie Wamel in het Oude Wiel in de Waalbandijk langs de Waal zijn veel bevergraverijen gezien langs de oevers van het Oude Wiel. Deze oevers vormen de binnenteeën van de Waalbandijk. Deze hoeveelheid van bevergraverijen op deze locatie leveren een acuut gevaar op voor de waterveiligheid van de Waalbandijk. Een beschrijving en fotooverslag is weergegeven in Bijlage C. De waterkering wordt volgens de planning in 2027 pas versterkt.

In de weken volgend op het bezoek is door WSRL een plan bedacht en werden in september de beverholen uitgegraven. De hollen hadden een lengte van 20 meter en op sommige locaties een breedte van 1,5 meter. Tevens werd er ook media-aandacht gezocht om de urgentie van het veiligheidsprobleem te ventileren door Arjen Krikke en een Heemraad van WSRL. Onder andere door een uitzending van het NOS Journaal op 4 oktober 2022. Ook werden zorgen geuit over de schade die bevers veroorzaken aan waterkeringen door de Unie van Waterschappen.⁴

Beschermde status bever

Op 21 okt 2022 verscheen het bericht dat twee bevers bij Wamel op 19 oktober 2022 zijn afgeschoten omdat er een ‘onaanvaardbare risico’ is omdat de bevers in de dijk groeven en het winterseizoen met kans op hoogwater er aan komt.⁵

Na Limburg is Gelderland nu de tweede provincie waar bevers in specifieke gevallen gedood zijn ten behoeve van de dijkveiligheid. Dit is uitzonderlijk omdat de bever in Nederland een beschermde status heeft.

Een nadeel van de beschermde status van de bever heeft betrekking op muskusratten. Doordat veel muskusratten in (in onbruik geraakte) beverholen zitten worden zij beschermd,

⁴ <https://nos.nl/artikel/2447031-overlast-door-bevers-neemt-verder-toe-bestrijding-lastig-door-beschermde-status>

⁵ <https://nos.nl/artikel/2449301-eerste-bevers-afgeschoten-in-gelderland>

omdat er binnen 500 m van de beverholen geen muskusratten gevangen mogen worden door het huidige beleid.

Bevergraverij Zijpsekade

Op 7 februari 2022 is de Zijpsekade lek geraakt doordat een bever dwars door de kade groef met als gevolg dat water uit de Oude Zederik de laaggelegen polder instroomde. Zie Figuur 2.6. De gang had een lengte van 4 m en een doorsnede van 40 cm. Het verval tussen de bevergang en het lager gelegen polderland was circa 1,5 meter. De lekkage is op tijd ontdekt en hersteld met klei en beschoeiing. Het betreft hier echter geen primaire kade en is vooral illustratief bedoeld.



Figuur 2.6 Lekke Zijpkade bij Vianen door bevergraverij (foto's: WSRL).

Hollandse Delta

Op (STOWA et al, 2022) is bij een presentatie door Jan van der Baan (Hollandse Delta) vermeld dat er tot nu toe 15 meldingen geweest van forse bevergraverijen in het beheergebied van WSHD bij de waterkeringen. Langs de Merwede bij de Dordrechtse Bovenpolder is er bijna sprake geweest van een doorbraak ten gevolge van bevergraverij.

Andere infrastructuur

Op het beversymposium (STOWA et al, 2022) zijn meerdere andere schadegevallen door de invloed van bevers gepresenteerd. Genoemd zijn onder andere:

Spoorwegen

- Diverse graverijen onder het spoor Assen- Groningen in 2021, vooral bij Taarlo (gemeente Tynaarlo), met tot gevolg verzakking van de spoorbaan. Deze schade was dermate groot dat het treinverkeer gestaakt moest worden en de schade gerepareerd moest worden voordat het treinverkeer weer kon worden hervat.

- Vraatschade, bomen vallen op het spoor.
- Natschade, baaninstabiliteit door opstuwend water ten gevolge van het afdammen van baansloten door bevers.

Wegen

- In 2019 is schade ontdekt door bevergraverij in de Brienenseweg te Middelharnis. In eerste instantie leek het een klein hol, maar bij het ontgraven (eerst waterpeil verlagen om ingang te detecteren) bleek er een compleet netwerk onder de (doodlopende) weg te zitten en 4 verschillende locaties van bevergraverijen. 7 bomen zijn hierdoor ondermijnd en de gehele asfaltlaag is weggefreest om de hopen in kaart te kunnen brengen en weer te vullen. Hierna is in de berm een Prolock kunststofbeschoeiing aangebracht en een kunstburcht aangelegd.
- Bij het knooppunt Velperbroek (A12) is een bevergraverij ontdekt doordat er een aantal bomen waren “omgeknaagd”. Deze waren door de geluidsschermen gelukkig niet op de rijweg gekomen, zodat er geen ongevallen hebben plaatsgevonden. Uit lokaal onderzoek is vastgesteld dat ze niet onder het wegdek zelf zitten. In de teen van de wegbermen wordt nu gaas aangebracht.

2.4 Dassengraverij

2.4.1 Algemeen

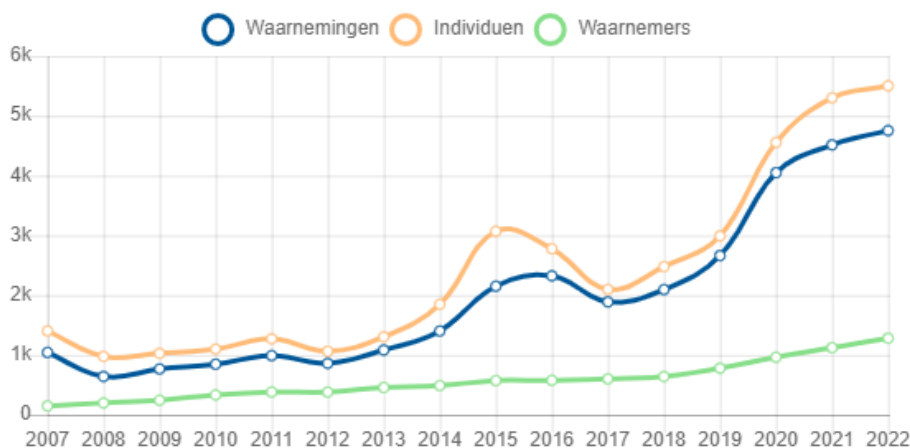
De Europese das, die in Nederland aanwezig is, leeft in familiegroepen in een dassenburcht. De das is beschermd sinds er begin jaren 80 een populatie van nog maar ca 1200 dassen in Nederland was ten gevolge van de jacht (Natuurmonumenten, 2022).

Toename

Volgende de laatste gegevens van waarnemingen.nl is de populatie van de das (Meles Meles) in Nederland in 2021 toegenomen tot circa 5.300 individuen. In 2020 was het aantal waarnemingen circa 4500.

Opgemerkt dient te worden dat er in het aantal waarnemingen ook dubbelingen kunnen zitten, dus het aantal waarnemingen geeft niet het absolute aantal bevers aan. Dit kan kleiner of groter zijn.

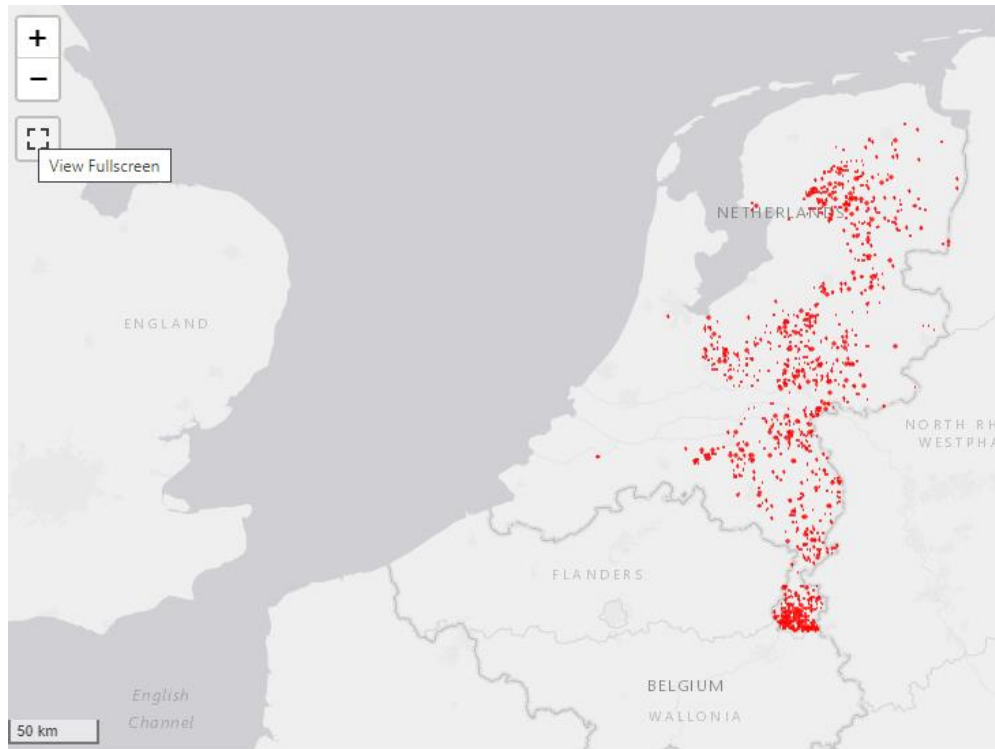
In Figuur 2.7 is de populatieontwikkeling van de das sinds 2007 grafisch weergegeven. De gegevens voor 2022 zijn bijgewerkt tot medio november 2022.



Figuur 2.7 Aantal dassenwaarnemingen per jaar (waarnemingen.nl, 2022b).

Verspreiding

De das in Nederland bevindt zich vooral in het oosten van Nederland en een grote concentratie bevindt zich in Zuid-Limburg. Zie Figuur 2.8.



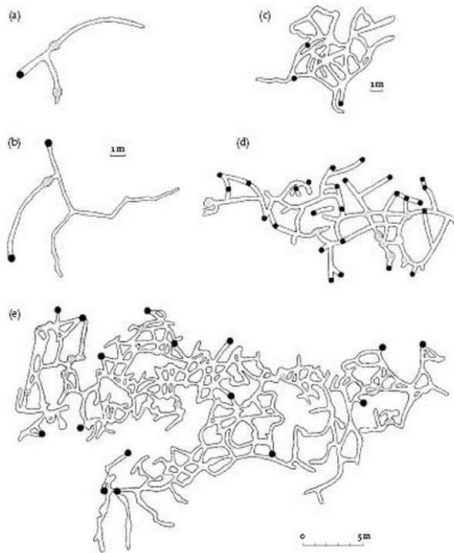
Opgeteld 1373 maximum individuen in 1153 cellen (min: 1 median: 1 max: 8).

■ Natuurlijk voorkomen ■ Alleen escapes

Figuur 2.8 Verspreiding dassenpopulatie in Nederland van het afgelopen jaar (23-8-2021 t/m 23-8-2022) (waarnemingen.nl, 2022b).

Dassenhol

Dassen leven in families in sterk vertakte hollen met 1-2 ingangen tot 44-50 ingangen (Roper, 2010). Zie Figuur 2.9. Ze komen het meest voor in het binnenland, maar beginnen ook in dijken te trekken.



Figuur 2.9 Schematisatie van een dassenburcht van verschillende afmetingen en complexiteit: outlierburchten (a) en (b) met weinig in/uitgangen, secundaire burchten (d) en de hoofd burchten (c) en (e). De zwarte stipje zijn in/uitgangen (Roper, 2010).

Faalmechanismen

De graverij van een das is een initiërend mechanisme, dat wil zeggen dat het de inleiding kan zijn van een faalmechanismen. Voor een nadere uitwerking hiervan zie paragraaf 2.3.1 betreffende de bever.

2.4.2 Bevindingen

Waterschap Delft Overijsselse Delta

In de nabijheid van de gemeente Beilen nabij een regionale kering is een dassenburcht bezocht met Waterschap Drents Overijsselse Delta. Zie ook Bijlage A De dassenburcht had een dimensie van circa 6 (m) diameter en een hoogte van ruim 2 (m). Tijdens het bezoek zijn er 5 in/uitgangen gedetecteerd met een gemiddelde diameter van 20 (cm). Zie Figuur 2.10.



Figuur 2.10 In/uitgang van een dassenhol.

Doordat de dassen de uitgegraven grond direct buiten de dassenburcht werpen, zijn de dassenburchten goed zichtbaar.

Deze burcht is al een aantal jaar onder observatie van het waterschap. Om de weg naast de burcht te sparen, zijn er al stelconplaten toegepast. Zolang de burcht verder geen gevaar oplevert voor de waterveiligheid zal deze met rust gelaten worden.

Waterschap Brabantse Delta

Door de overwoekering van de flora is de dassenburcht niet meer gevonden op de plek waar deze tijdens het bezoek verwacht werd en eerder wel was aangetroffen.

2.5 Overige observaties

In Wijhe bij de bevergraverij zijn ook rivierkreeftjes waargenomen (zie Bijlage A, figuur 14 in §3.2). Op veel plekken zijn er muizen- en mollengraverijen waargenomen. Tevens is door WDOD aangegeven dat ook honden veel graafschade veroorzaken.

Bij WSBD is ook een vossenhol, met een diameter van circa 20 cm, waargenomen op de dijk langs het Rijn-Schelde kanaal. Rondom het hol waren ook veel konijnenkeutels te zien. Hierbij kan de aannahme gedaan worden dat de konijnen wellicht bezit hebben genomen van het vossenhol.

In de Hedwige-Prosperpolder en langs de aangrenzende Doelpolder zijn veel graverijen door konijnen waargenomen, naast graverijen door vossen, mollen en woelratten (Tsimopoulou & Koelewijn, 2022; Idsinga, 2022). Mollen blijken daar, en elders bij golfoverslagproeven, een significante invloed te hebben gehad op de sterkte van de bekleding (Koelewijn, 2021; Van Dijk, 2021).

2.6 Invloed op waterveiligheid

Op dit moment zijn er geen goede methodieken om de invloed van graverijen van faalmechanismen mee te nemen in de beoordeling van de waterkeringen. Immers, vanuit de zorgplicht wordt er van uit gegaan dat er geen graverijen aanwezig zijn. Uit het promotie onderzoek van (Klerk, 2022) volgt dat geen enkele inspecteur alle graverijen tijdens een inspectie waarneemt, hooguit 90%. Hieronder worden een aantal aanbevelingen gedaan voor een kwalitatieve bepaling van de faalmechanismen.

Microstabiliteit

Dierlijke graverijen kunnen een initiërend mechanisme zijn voor micro(in)stabiliteit. Door de dierlijke graverij in een zanddijk met een afdekkende kleilaag kan er bij een verhoogde freatische lijn in dijk zand uitspoelen. Bij de beoordeling van micro(in)stabiliteit wordt uitgegaan van een deterministisch voorschrift middels een aantal standaardbelastinggevallen. Bij dierlijke graverijen is er vaak sprake van een geconcentreerde uitstroom van water, gegeven de ruimtelijke dimensies van de graverijen. Hier is in de beoordeling nog geen deterministisch voorschrift voor. In het ICOLD bulletin 164 (ICOLD, 2017) wordt hier een aanbeveling voor gedaan.

§3.3 van (ICOLD, 2017) geeft de procedure aan of de erosie initieert in een scheur of een graverij. Deze is hieronder samengevat opgenomen:

Schat de hydraulische schuifspanning in de graverij of scheur voor de beschouwde freatische lijn rekening houdend met de geometrie van het talud (waar de scheur/ graverij zich bevindt) en de veronderstelde graverij- of scheurafmetingen en locatie ten opzichte van de freatische lijn, zodat de gradiënt kan worden bepaald.

Vergelijk deze hydraulische schuifspanning met de kritische schuifspanning die voor de grond in het talud zal ontstaan bij de verzadigingsgraad van de grond aan de zijkanten van de scheur.

Het verdient de aanbeveling om deze procedure nader uit te werken en toe te voegen als deterministisch voorschrift bij de beoordeling van micro(in)stabiliteit in geval van scheuren en/of dierlijke graverijen.

Macrostabieleit

In (Van den Berg, 2021b) is een eerste aanzet gedaan voor het kwantitatief bepalen van de invloed van bevergraverijen omdat er momenteel geen eenduidige methode beschikbaar is. Het simpelweg schematiseren van een graverij middels een ontgraving in de waterkering is geen juiste methode, omdat onder andere schaaffecten, 3D-effecten en tijdsafhankelijkheid een rol spelen. De 3D-invloed betreft de invloed van de graverijen op de omvang van het glijvlak. Met name de weerstand van één van de zijkanten van het glijvlak kan door graverijen worden verlaagd, waardoor een kleiner glijvlak gemakkelijker op kan treden. De tijdsafhankelijkheid betreft met name de doorwerking van de waterspanningen.

In een masterthesis (Taccari, 2015) is een studie verricht naar een dijkdoorbraak door dierlijke graverijen in Italië. Voor deze case met een dijk met een zandkern zijn PLAXIS-berekeningen uitgevoerd, waarbij door middel van een aanpassing van de freatische lijn simulaties zijn weergegeven van een dierlijke graverij. De gangen en nestkomen zijn in de berekening dus niet als holten gemodelleerd, maar alleen als verandering in de freatische lijn.

Een eerste inschatting voor de bepaling van de invloed van graverijen op de macrostabieleit kan dus met behulp van een aanpassing van de freatische lijn worden uitgevoerd.

Piping

Een hol of ingang van een burcht aan de buiten- of binnenzijde van de dijk kan leiden tot verkorting van de kwelweglengte wanneer de deklaag boven de pipinggevoelige zandlaag wordt doorgraven. Ook voor dit faalmechanisme spelen de 3-D effecten en tijdsafhankelijkheid een rol. Het risico op kortsluiting hangt echter ook nauw samen met de deklaagdikte in het voorland, en met de inrichting van het voorland. (Rosenbrand et al., 2021) geeft voor graverijen een indicatie in welke situaties kortsluiting verwacht kan worden.

Ten behoeve van een eerste inschatting voor het effect van dierlijke graverij op piping is te maken door de verkorting van de kwelweglengte te bepalen die ten gevolge van dierlijke graverijen op kan treden.

Falen (gras)bekleding

De grasbekleding van het talud kan door de bevergraverij beschadigd worden. Normaliter zal een bevergraverij aanvagen net onder de waterlijn van een teensloot, zodat de grasbekleding niet wordt beschadigd. Echter in gevallen van hoogwater is het mogelijk dat een bever net halverwege het talud graaft en zodoende de grasmat beschadigt. Tevens is het mogelijk dat door instortende gangen en nestkomen, de bovenliggende grasmat beschadigd kan worden.

3 Uitwerking cases droogtescheuren

3.1 Inleiding

Naast graverijen door dieren vormt droogte, en de daarmee gepaard gaande krimp van klei, ook een niet-menselijke oorzaak voor scheuren en holten in dijken. Tijdens de drie veldbezoeken zijn zowel bij Waterschap Drents Overijsselse Delta als bij Waterschap Brabantse Delta droogtescheuren aangetroffen die daar blijkens verklaringen van de dijkbeheerders sinds de droge zomer van 2018 over tenminste een deel van de scheurlengte onafgebroken aanwezig zijn geweest.

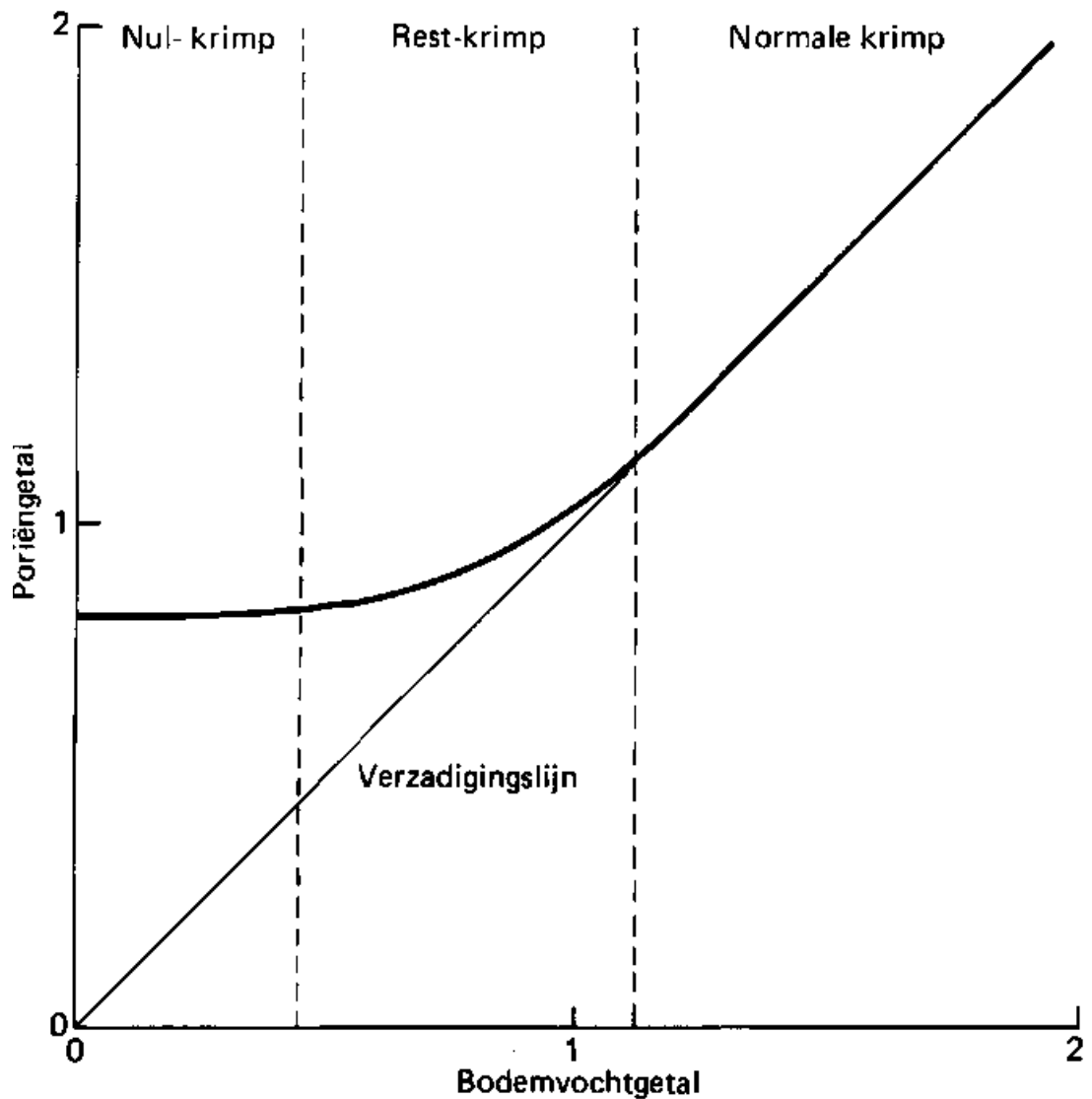
Bij Waterschap Drents Overijsselse Delta zijn meerdere plaatsen bezocht, zie hoofdstuk 2 in Bijlage A. Bij Waterschap Brabantse Delta betreft dit vooral de Standhazense dijk (§2.2 in Bijlage B) en de Markiezaatdijk (§2.5 in Bijlage B). Bij de Markiezaatdijk leek ook sprake te zijn van interactie met dierlijke graverijen, met name van muizen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de potentiële doorwerking van de waargenomen verschijnselen.

3.2 Karakteristiek krimpgedrag van klei

Klei wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van kleimineralen als illiet en montmorilloniet. Deze kleimineralen komen voor als kleine plaatjes met een dikte van circa 1 nanometer, die alleen of als pakketje worden omgeven door een watermantel. Bij vochtonttrekking bewegen de kleiplaatjes naar elkaar toe. In het veld (en ook op een dijk) resulteert dit proces in een volume-afname van de bodemaggregaten waardoor in droge perioden krimpscheuren en maaiveldsdalingen ontstaan. Vooral de aanwezigheid van krimpscheuren heeft gevolgen voor het transport van water en eventueel daarin opgeloste stoffen in de bodem. In veel praktijksituaties moet men met de aanwezigheid van krimpscheuren terdege rekening houden. Bij berekening van uitdroogde kleigraslanden bijvoorbeeld, kan een deel van het irrigatiewater via krimpscheuren naar de ondergrond verdwijnen zonder dat het beschikbaar komt voor de plant. Een maat voor het zwel- en krimpvermogen van een bodem is de krimpkarakteristiek, die de relatie geeft tussen vochtgehalte en volume van een kleigrond (vrij naar Bronswijk & Evers-Vermeer (1987:2-3).

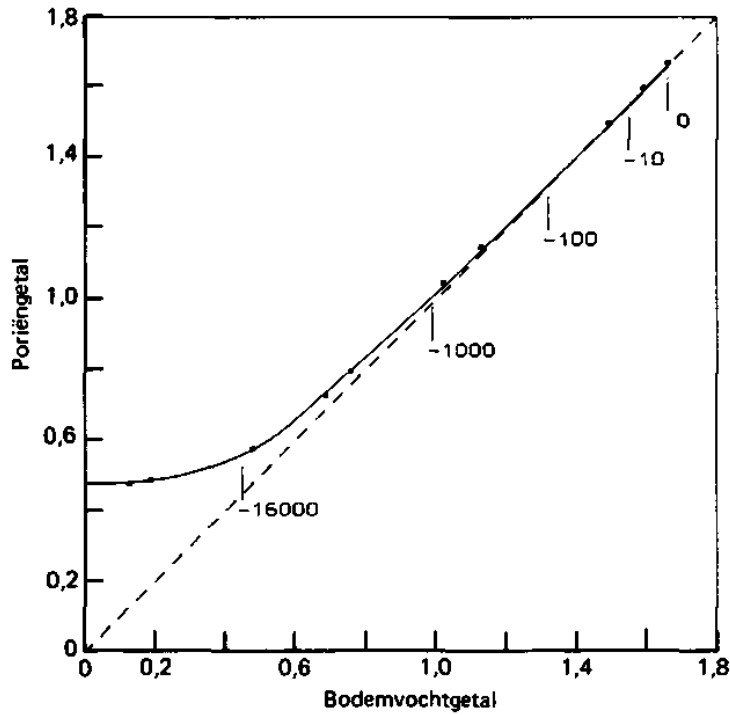
In de krimpkarakteristiek (Figuur 3.1) worden drie fasen onderscheiden (Bronswijk & Evers-Vermeer, 1987:4):

- Normale krimp. De volume-afmeting van de klei-aggregaten onder invloed van uitdroging is gelijk aan het vochtverlies (in volume-eenheden); er treedt geen lucht in de poriën van de aggregaten.
- Rest-krimp. Het aggregaatvolume wordt nog kleiner bij uitdroging. Het vochtverlies is nu groter dan de volume-afname; er vindt luchtintrede plaats in de poriën van de aggregaten.
- Nul-krimp. De bodemdeeltjes hebben dichtste pakking bereikt. Bij verder vochtverlies blijft het aggregaatvolume constant. Het vochtverlies is gelijk aan de toename van het luchtvolume in de aggregaten.

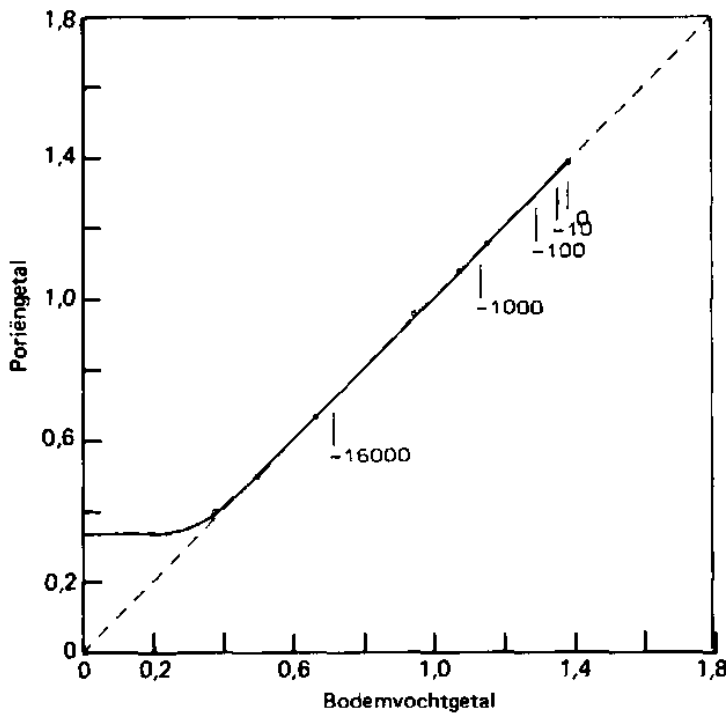


Figuur 3.1 Algemene vorm van de krimp karakteristiek van klei. Weergegeven is de relatie tussen bodemvochtgetal (volume vocht/volume vaste fase in m^3/m^3) en poriëngetal (volume poriën/volume vaste fase in m^3/m^3) van een kleiaggregaat (Bronswijk & Evers-Vermeer, 1987:5).

Enkele voorbeelden van krimp karakteristieken, voor een zeeklei en een rivierklei, zijn aangegeven in Figuur 3.2 en Figuur 3.3. Hierin is ook de vochtspanning aangegeven in cm waterkolom (1 cm waterkolom = 0,0981 kPa). Te zien dat bij de ene kleisoort al bij een veel lagere vochtspanning lucht intreedt dan bij de andere kleisoort.



Figuur 3.2 Krimp karakteristiek voor matig zware zeeklei nabij Nieuw Beerta (34-56 cm onder maaiveld) (Bronswijk & Evers-Vermeer, 1987:27).



Figuur 3.3 Krimp karakteristiek voor zeer zware rivierklei nabij Bruchem (30-58 cm onder maaiveld) (Bronswijk & Evers-Vermeer, 1987:48).

Uitdroging voorbij de krimpgrens leidt tot onomkeerbare uitdroging en daarmee permanente krimp (Boutonnier et al., 2022). Dat verklaart ook dat na langdurige droogte de scheuren niet altijd meer dichtgaan. Wat dat betreft is er sinds 2018 sprake van een significante verandering in het Nederlandse klimaat voor wat betreft de effecten op klei (Stuurman et al., 2021).

3.3 Interactie met dierlijke graverijen

Dierlijke graverijen zorgen door hun aanwezigheid voor een betere beluchting van de ondergrond. Wormen en kleine insecten als veenkevers woelen de bodem om. Bij krimpscheuren lijken bovendien vooral muizen en andere dieren met een soortgelijke grootte van deze scheuren gebruik te maken om holen te graven (zie bijvoorbeeld §2.2 in Bijlage A en Holscher & Zomer (2021)), waardoor de uitdroging ondergronds verder en dieper kan doordringen.

3.4 Huidige richtlijnen voor dijkbekledingen

De eisen die momenteel aan klei voor dijkbekledingen worden gesteld, zijn te vinden in de Schematiseringshandleiding grasbekleding (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021). In Tabel 3.1 is de in deze context meest relevante passage overgenomen.

Tabel 3.1 Passage uit §D.2 'Zanddijk met kleibekleding' (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021:80-81).

Een kleibekleding kan als gevolg van een hoog freatisch vlak in de dijk:

- * Opdrukken.
- * uitspoeling van zand optreden.
- * of afschuiven.

Afwijkend van (1)⁶ wordt gedifferentieerd naar enerzijds het mechanisme opdrukken en anderzijds het uitspoelen van zand door een kleibekleding. Hierbij hoort ook het naar beneden bijstellen van de gecombineerde partiële veiligheidsfactor voor opdrukken $\gamma_n \cdot \gamma_d$ van 2,0 in (1) naar 1,21.

De factor 2 dekke naast het opdrukken van de bekleding ook andere mechanismen af, zoals het uitspoelen van zand door scheuren en of gaten door graverij. Als echter kan worden aangetoond dat de kleilaag geen gaten of scheuren heeft, voordat opdrukken van de kleilaag optreedt, dan kan de factor worden bijgesteld naar 1,21 voor alleen het opdrukken van de laag. Indien gaten in de bekleding niet met voldoende zekerheid kunnen worden uitgesloten, dan moet de (strengere) toets op uitspoelen van zand worden uitgevoerd.

Kleilagen aan het maaiveld zijn altijd onderhevig aan bodemstructuurvormende processen, waardoor ze nagenoeg altijd enige mate van scheuren bevatten. Echter, alleen in gevallen waarbij ook onder natte omstandigheden openstaande scheuren aanwezig zijn kan uitspoelen van zand optreden. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen indien bij aanleg de klei veel te nat is verwerkt. In dat geval zullen de scheuren zodanig breed zijn dat ze bij inspecties, zeker bij droogte, opvallen en vervolgens kunnen worden gedicht. Het risico dat zulke scheuren tijdens extreme omstandigheden nog aanwezig zijn is daarom beperkt.

Graverij ter plaatse van de binnenteen van de dijk of onderaan het talud kunnen eveneens leiden tot gaten in de kleibekleding waardoor zand kan uitspoelen. Risicovol zijn gaten die bij inspecties niet opvallen, maar wel kunnen leiden tot uitspoelen van zand. Konijnen en vossenholen tot in de zandkern vallen op. Bij graverij door kleinere beesten kan het echter onopvallend zijn of deze ook door de kleilaag heen zijn gegaan. Graverij door bijvoorbeeld muizen en mollen zijn minder bedreigend door de kleinere diameter van de gangen en doordat ze minder diep gaan. Uit golfoverslagproeven en overloopprouwen op echte dijken, met veel muizen en mollandgangen, is gebleken dat bij kleilagen van 60 à 70 cm dikte er geen gangen of nestholtes waren die doordrongen tot de zandkern. Bij een kleilaag van enkele decimeters bleek dit echter wel het geval en leverde dit in combinatie met een slechte graszode al snel uitspoeling op.

Verwacht wordt dat een kleibekledingslaag, inclusief een eventueel aanwezig laagje teelaarde, van 0,8 m of dikker een acceptabel klein risico zal hebben op scheuren of graverij die leiden tot gevaar voor uitspoelen. Bij dunnere kleilagen zal ofwel specifiek moeten worden gelet op de aanwezigheid van dergelijke gangen, zodat deze vanuit inspecties kunnen worden uitgesloten, of moet worden gecontroleerd op uitspoelen van zand.

⁶ Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TAW, 2001)

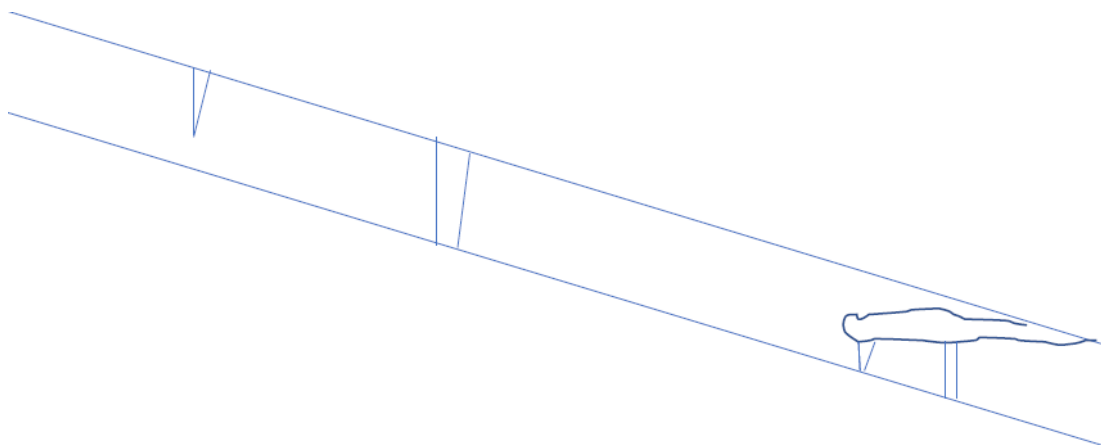
3.5 Effect op de overstromingskans

De waarnemingen van langdurig openstaande, deels diepe scheuren bij Waterschap Drents Overijsselse Delta (Bijlage A), Waterschap Brabantse Delta (Bijlage B) en de Scheldedijk van de Hedwigepolder (Holscher & Zomer, 2021) sinds de droge zomer van 2018 zijn voorbeelden die laten zien dat de in Tabel 3.1 geciteerde tekst voor wat betreft de aanwezigheid van scheuren tijdens extreme (natte) omstandigheden in mindere mate van toepassing zijn dan voorheen. Ook bij kleilagen van meer dan 0,8 m dikte is tijdig effectief dichten van de bij droogte ontstane gaten niet meer zo vanzelfsprekend als voorheen. Dit leidt tot een bekledingslaag die veel minder waterremmend is dan algemeen wordt aangenomen.

In Figuur 3.4 is schetsmatig een kleibekleding op een zandkern weergegeven, met diverse droogtescheuren:

- 'Kleine', dat wil zeggen niet-doorgaande, droogtescheuren.
- Doorgaande droogtescheuren.
- Droogtescheuren tot aan de zandlaag vanuit een dierlijke graverij.

De laatste categorie is voor zover bekend nog niet concreet waargenomen, maar deze is op grond van theoretische beschouwingen niet uit te sluiten. De eerste twee categorieën zijn inmiddels wel waargenomen, waarbij bovendien geldt dat het weer volledig dichtgaan door zwel bij (milde) regen, zoals aangenomen in de schematiseringshandleiding voor grasbekledingen niet op zal treden indien krimp voorbij de krimpgrens is opgetreden. Volgens ten minste één dijkbeheerder is sinds 2018 sprake van scheuren die irreversibel zijn.



Figuur 3.4 Schetsmatige weergave van een kleibekleding op een zandkern, met droogtescheuren. Links: kleine droogtescheur. Midden: grote droogtescheur met open verbinding met de zandlaag. Rechts: dierlijke graverij met kleine en grote droogtescheuren.

Voor dijken die (vrijwel) volledig uit klei zijn opgebouwd, geldt eveneens dat droogtescheuren eventueel niet volledig dicht zullen gaan tijdens een natte periode. Ook daarvoor geldt dat de bulkdoorlatendheid van de klei hierdoor toeneemt. Voor veenkaden, al dan niet met een kleibekleding, geldt een vergelijkbaar verhaal; bovendien kan de oxidatie van het veen verder versnellen door de toegenomen blootstelling aan de buitenlucht.

Dit heeft niet alleen effecten voor de faalmechanismen zoals beschreven in de schematiseringshandleiding voor grasbekledingen, maar heeft ook invloed op bijvoorbeeld binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit. De aannames die gemaakt zijn voor het vaststellen van de doorlatendheid van de bekledingslaag kloppen immers niet meer. Hierdoor zal de freatische lijn in de dijk bij hoogwater veel sneller stijgen dan algemeen wordt aangenomen, waardoor met name de binnenwaartse macrostabiliteit (veel) lager uitpakt dan

in de berekeningen is aangenomen. Voor buitenwaartse macrostabiliteit zal dit overigens in de meeste gevallen juist gunstig uitpakken: weliswaar is de freatische lijn in de dijk hoger dan voorafgaand aan de (snelle) val van het buitenwater wordt aangenomen, maar de dijk zal ook sneller draineren waardoor de veiligheid juist wat kan toenemen.

4 Verkenning van maatregelen

4.1 Inleiding

De mogelijke maatregelen om de gewenste conditie van de dijk, waar ook in de overstromingskansanalyses rekening mee wordt gehouden, in overeenstemming te brengen met de werkelijke conditie van de dijk zijn zeer divers van aard. Dit hoofdstuk bevat slechts een beperkte verkenning, die mede gebaseerd is op de gevoerde discussies met de dijkbeheerders.

4.2 Het verhaal van de dijk

In de huidige veiligheidsfilosofie is er geen instrumentarium en geen voorschrift om op een aparte manier rekening te houden met de invloed van graverijen of droogte op de bezwijkmechanismen. De benodigde faalkansruimte zou kunnen vallen onder de categorie 'overige' of de invloed zou als 'indirect mechanisme' in rekening moeten worden gebracht door de invloed op de 'directe faalmechanismen' te verrekenen.

Naar verwachting zal in 2023 het WBI worden herzien. Er komt dan meer ruimte voor wat 'Het verhaal van de kering' (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018) wordt genoemd. In deze filosofie kan de invloed van graverijen een plaats krijgen door deze op te nemen in de diverse faalpaden van de verschillende mechanismen en gebeurtenissen die achtereenvolgens op moeten treden voordat daadwerkelijk overstroming van het achterland op kan treden. Die gebeurtenissen worden voorzien van kansen of waarschijnlijkheden dat deze gebeurtenis optreedt. Daarmee kan hopelijk steeds beter een inschatting worden gemaakt in welke situaties graverij of droogte een aanzienlijke invloed heeft op het overstromingsrisico. In Tabel 5.2. van de procedure voor het WBI 2023 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) wordt graverij als een indirect mechanisme benoemd. Dit biedt ook mogelijkheden om de invloed in rekening te brengen en, waar nodig, maatregelen te nemen.

Met deze nieuwe manier van omgaan met overstromingsrisico's moet nog ervaring worden opgedaan, ook ten aanzien van de manier waarop dit voor graverij en droogte wordt uitgewerkt. Daarbij horen op voorhand twee opmerkingen:

- Droogte wordt gegeven de klimaatverandering en/of extremen steeds relevanter (onder andere door lange droge perioden en korte heftige regenbuien). De ervaringen zoals de laatste decennia zijn opgedaan, voldoen niet meer in deze tijd en in de nabije toekomst. Het is nu tijd om nieuwe ervaringen op te doen. Een voorbeeld is dat voorheen 60 à 80 cm dijkbekleding voldoende, tegenwoordig dient dat meer te zijn door droogte en de daarbij optredende scheuren.
- In het "verhaal van de dijk" hoort ook een inschatting op welke maatregelen doeltreffend zijn. Dit kan in de faalpaden tot uitdrukking worden gebracht.

Resumerend is de hoop en de verwachting dat het verhaal van de dijk ook voor graverij en droogte helpt om de problematiek verder uit te werken, en daarmee ook helderder een beeld te geven van de omvang en ernst hiervan.

4.3 Maatregelen tegen graverijen

Preventieve maatregelen

Oplossingen om graverijen in waterkeringen te voorkomen kunnen bijvoorbeeld gevonden worden in de volgende mogelijkheden:

- *Damwanden*, echter te duur voor uitrol door heel NL.
- *Bestrijding van graafdieren*. Dit geldt in algemene zin niet voor bevers en dassen omdat zij beschermd zijn.
- *Gaas of netten*, ook nog steeds heel kostbaar.
- *Hoogwatervluchtplaatsen* (zoals bijvoorbeeld bij het Engelse Werk in Zwolle).
- *Drijvende Hoogwatervluchtplaatsen*. Dit zijn grote kunstmatige “huisjes” van 3x3 die bij hoogwater kunnen drijven (met scharnieren balken verankert aan het maaiveld) en bevers kunnen herbergen, zodat ze niet in de dijken hoeven te graven. Ook vanuit het buitenland is voor deze oplossing veel interesse. Deze oplossing werkt niet in gebieden met een te verwachten hoge waterstroming. (Dijkstra, 2022).
- *Aanpassen ontwerp en biotoop*, door bijvoorbeeld oevers te verflauwen en voedselbronnen of beschutting te verwijderen, worden die locaties minder aantrekkelijk en blijven de bevers hopelijk bij de dijk weg.
- *Geen nieuwe strangen direct aan de buitenteen* van de dijk graven of bestaande opwaarderen; wél verleggen op grotere afstand vanuit buitenteen. (WSRL, 2016) Strangen hebben zich historisch gezien altijd verlegd, al dan niet beïnvloed door de aanleg van kribben e.d. Om deze reden is het landschappelijk en ook cultuurhistorisch verantwoord strangen op een grotere afstand van de primaire waterkering te verleggen.
- *Bestorting* als preventieve maatregel tegen dierlijke graverij. Deze kan ook gecombineerd worden als oeverstabiliteit en erosiebestendigheid.
- *Toepassing van kalk in klei*, niet slechts om de erosiebestendigheid tegen golfoverslag en overloop te vergroten, maar ook om dierlijke graverijen én uitdroging tegen te gaan.

Noodmaatregelen

In het kader van de bijeenkomst Wiki Noodmaatregelen⁷ is er een speciale bijeenkomst gewijd aan de graverij van de bever. De bijeenkomst, op 26 oktober 2022, werd bijgewoond door een groot aantal dijkbeheerders van Waterschappen verspreid over Nederland. Allen ervoeren ze grote problemen met bevergraverijen. Uit een uitgevoerde casus, waarin een bevergraverij werd gesimuleerd bij hoogwater bleek het toepassen van een noodmaatregel lastig te zijn omdat er veel verschillende aspecten een rol speelden en er teveel onzekerheden waren. Dit geeft aan dat graverijen tijdens hoogwater een urgent probleem zijn.

4.4 Maatregelen tegen uitdroging

Ter voorkoming van problemen door uitdroging zijn verschillende maatregelen denkbaar:

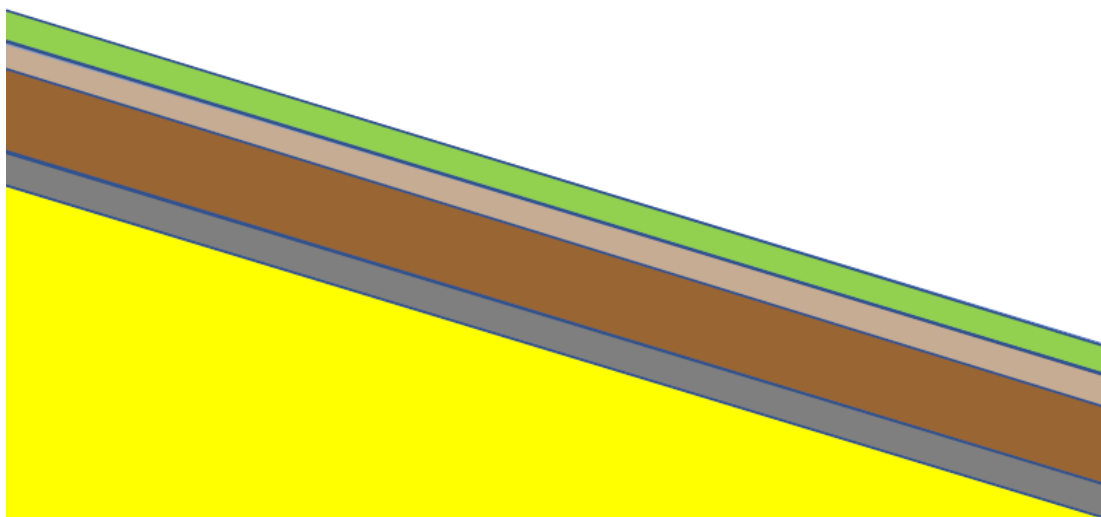
- *Toepassing van kalk in klei*, zoals in de vorige paragraaf reeds is genoemd. In hoeverre dit ook voor droogtescheuren een oplossing biedt moet nog nader worden onderbouwd.
- *Afscherming van een (dikkere) kleibekleding door een laag teelaarde*, waarbij in drogere jaren de begroeiing verloren zou kunnen gaan. De vragen die dan onmiddellijk opkomen, zijn hoe dik dan wel genoeg zou zijn en in hoeverre met irrigatievoorzieningen voorkomen kan worden dat de begroeiing in droge tijden afsterft.
- *Vervanging, al dan niet gedeeltelijk, van de uitdrogingsgevoelige klei door minder gevoelige klei of slib*. In §3.2 zijn voorbeelden gegeven van meer en minder gevoelige klei voor wat betreft uitdroging voorbij de krimpgrens (met onomkeerbare krimp tot gevolg). Door Boutonnier et al. (2022) is aangegeven dat slib veelal ook beter bestand is tegen uitdroging doordat de krimpgrens doorgaans pas bij een hogere vochtspanning

⁷ https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Wiki_Noodmaatregelen_Waterkeringen_-_homepage

wordt bereikt, dit zou ook toegepast kunnen worden, eventueel als een onderlaag onder de gangbare kleilaag die een zandkern of zandkern effectief afschermt en afdicht. De implicatie hiervan voor bestaande waterkeringen is dan wel dat deze danig op de schop genomen zullen moeten worden.

- *Beregenen*, zoals bij sommige beheerders in droge periodes bij de regionale kades wel plaatsvindt. De vraag hierbij is, in hoeverre dat beregeningswater verschil maakt, te meer omdat een gedeelte direct zal afstromen – langs het oppervlak of door de scheuren (zie ook de passage over irrigatiewater in de eerste alinea van §3.2).

In Figuur 4.1 zijn deze maatregelen, op beregening na, gecombineerd weergegeven.



Figuur 4.1 Nieuwe klimaatbestendige dijkbekleding, met van boven naar beneden achtereenvolgens een teellaag (groen; mogelijk te voorzien van (druppel)irrigatie), een dikke kleilaag (bruin) waarvan het bovenste gedeelte (bruin/lichtgrijs) eventueel met kalk is bijgemengd, een sliblaag (grijs) en daaronder de dijk kern (geel; zand, klei of eventueel zelfs veen).

4.5 Detectie

Het detecteren van graverijen en droogtescheuren is belangrijk om tijdig in te kunnen grijpen en maatregelen te treffen. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- Detecteren dat er graverijen of droogtescheuren aanwezig zijn, is ook bij regelmatige inspectie niet ‘waterdicht’. Zie ook het onderzoek van (Klerk, 2022), waarin aangegeven wordt dat dijkinspecteurs doorgaans niet alle aanwezige graverij detecteren. Bij droogtescheuren is het doorgaans lastig om diepte van de scheuren en de werkelijke invloed van de scheurvorming aan te kunnen geven op basis van alleen visuele inspectie.
- Indien de graverij of scheuren aan het oppervlak zichtbaar zijn, dan is de aard en de omvang van de aantasting/degradatie niet eenvoudig zijn vast te stellen.

De vragen die hierbij opkomen, zijn: “Zijn er technieken of kunnen we meer data verzamelen om hier beter de vinger achter te krijgen?” In 2019 is al een korte verkenning uitgevoerd naar detectietechnieken (Kieftenburg, 2019) en in aanvulling daarop zijn er diverse technieken voor deze toepassing concreet uitgetest in de Hedwige-Prosperpolder (Tsimopoulou & Koelewijn, 2022); dit zou meer gestructureerd kunnen worden vernieuwd.

5 Conclusie en doorkijk

5.1 Graverijen

Schade aan de deklaag van de waterkering door onder andere dierlijke graverij en (droogte) scheuren leiden tot degradatie van de waterkering. In de verschillende observaties bij de verschillende waterschappen zien wij een toename van het aantal graverijen in de waterkeringen door een toename van het aantal bevers en dassen. Deze toename zal leiden tot een groter aantal schadegevallen en een toenemende degradatie van de waterkering, met als gevolg een afname van de waterveiligheid. Tevens is uit een bijeenkomst van dijkbeheerders gebleken dat het uitvoeren van noodmaatregelen bij een bevergraverij lastig zijn te bepalen.

In de periode van het onderzoek speelde droogte een grote rol. Enerzijds is dit goed omdat daardoor het waterpeil zakt en de ingangen van de beverholen goed zichtbaar zijn. Anderzijds heeft dit zijn nadelen omdat onvoldoende water in de sloten, strangen, wielen, et cetera ervoor kan zorgen dat de bevers naar een andere locatie verhuizen en zij dan weer uit beeld zijn.

Veel onderzoek is nog nodig, met vragen als:

- Wat zijn de beste inspectie- en detectiemethoden van graverijen?
- Waar bevinden holen zich, hoe schadelijk zijn deze en hoe kunnen deze eventueel worden aangepakt?
- Hoe is de beoordeling en impact van dierlijke graafschade uit te voeren?
- Wat zijn meest effectieve preventiemaatregelen?
- Hoe kan er een symbiose ontstaan tussen mens en gravers?

Het is van belang om de bewustwording van de risico's van graverijen onder de aandacht te brengen van de belangrijkste stakeholders zodat er actie ondernomen kan worden. De indruk is dat onder de (technisch) beheerders van waterkeringen de zorgen toenemen maar dat er bestuurlijk en beleidsmatig nog (te) weinig aandacht voor de problematiek is. Dat is een bewustwordingsproces.

5.2 Krimpscheuren door droogte

Droogte lijkt bij kleibekledingen vaker dan voorheen sinds 2018 tot onomkeerbare krimp te leiden. Bij twee van de drie bezochte waterschappen was de ervaring dat ontstane scheuren niet meer dichttrekken. Dit leidt mogelijk tot een grotere doorlatendheid van de bekledingslaag dan waar bij de veiligheidsbeoordeling rekening mee gehouden wordt.

De eerste conclusie is dat beter onderzocht moet worden of dit probleem beter ingekaderd kan worden. Wanneer lopen scheuren door de complete dikte van de kleilaag heen? Is het een probleem als de scheuren minder diep zijn maar wel de integriteit van de kleilaag aantasten? Antwoorden op dit soort vragen zijn nodig om na te gaan of maatregelen nodig zijn. Waar nodig zijn mogelijk aanpassingen in het beheer en onderhoud van dijken raadzaam, maar gelet op de verwachte doorgaande klimaatverandering zijn wellicht ook veranderingen nodig bij de wijze waarop de overstromingskansanalyses worden uitgevoerd bij bestaande dijken, en de aanpak van dijkversterkingen en de aanleg van nieuwe dijken.

5.3 Doorkijk 2023

De nadere verkenning van de problematiek van dierlijke graverijen en droogte in waterkeringen in deze rapportage betreft ten opzichte van het in 2021 uitgevoerde onderzoek vooral een meer uitgebreid beeld van de problematiek. Het aantal onderzochte locaties is met 18 stuks uitgebreid en met een drietal waterschappen is uitgebreid van gedachten en ervaringen gewisseld. Hieruit komt naar voren dat er geen sprake is een geïsoleerd, lokaal probleem, maar dat de urgentie breder is.

Er is daarom voldoende reden om het onderzoek in 2023 voort te zetten. In 2023 zullen de volgende activiteiten op dit gebied worden uitgevoerd om een beter begrip van de problematiek te verkrijgen en zodoende te komen tot een handelingsperspectief:

1. Vervolg inventarisatie graverij en droogte bij kustwaterschappen en in Limburg. In 2022 zijn vooral observaties beschreven uit het rivierengebied (Maas, Waal en IJssel). Hiermee wordt ook de problematiek in deze gebieden vastgelegd middels observaties.
2. Nadere verkenning van maatregelen graverijen/ droogte. Hierbij zal een onderzoek worden uitgevoerd naar onder andere:
 - a) Gaas/netten (graverij)
 - b) Drijvende hoogwatervluchtplaatsen (graverij)
 - c) Kalk/klei top- of tussenlaag (graverij/ droogte)
 - d) Andere verwerkingseisen toplaag (droogte)Het doel van deze verkenning is het vergroten van het handelingsperspectief, zowel vooraf (preventief) als na ontdekking van droogte- en graverijen door dieren in waterkeringen.
3. Verkenning naar verschillende detectiemethoden om graverijen te detecteren, als update van een eerdere verkenning hiernaar (Kieftenburg, 2019).

Literatuur

- Boutonnier et al., 2022. Luc Boutonnier, Yasmina Boussafir, Rémy Tourment & Jean-Robert Courivaud, *Effet du changement climatique sur les mécanismes de retrait-gonflement et la stabilité des digues et barrages*, Question 107, Response 7, 25e Congrès des Grandes Barrages, Marseille, Juin 2022, 98-117. doi: 10.1201/9781003211808-147
- Bronswijk & Evers-Vermeer, 1987. J.J.B. Bronswijk & J.J. Evers-Vermeer, *Krimpkaracteristieken van kleigronden in Nederland*, rapport 22, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen, 1987, 59 pp.
- DHV, 2006 *Gevolgen van graverij door muskusratten en beverratten voor de veiligheid van waterkeringen*, DHV, oktober 2006, dossier : A2998.01.001, registratienummer : WG-SE20060948, versie : D1
- DHV, 2007 *Populatieontwikkeling en veiligheid Nader onderzoek naar de relatie tussen graverij van muskusratten en de veiligheid van waterkeringen*, DHV, november 2007, dossier : B0075.01.001, registratienummer : WG-SE20070876, versie : D1
- Dijkstra, 2019. Vilmar Dijkstra, *Bevers en beschermingszones van primaire waterkeringen - Waterschap Brabantse Delta*, Zoogdierenvereniging, N2019.020, 19 november 2019
- Dijkstra, 2022. Vilmar Dijkstra, *Als het hoogwater komt...Maak dan je borst maar nat!* Presentatie op [Symposium: 'Vormen bevers een gevaar voor de infrastructuur?' | STOWA](#) 14 April 2022, Zwolle (bezocht 16 augustus 2022)
- Etten, 2006. R.J.G. van Etten, *Verkenning van veenkaden, Veranderingen in de tijd en karakteristieke profielen*. Dienst Weg- en Waterbouwkunde Delft, DWW-2005-087, maart 2006
- Hahman et al, 2004. Hahmann T, Möbes, S., Regiment, J. & H.-P. Trömel, 2004. *Biberbaue im Oderdeich*. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, jaargang 13, p 22 – 26.
- Holscher & Zomer, 2021. R. Holscher & W.S. Zomer, *Field research on burrows and discontinuities in embankments, Fact finding field research in the Hedwige-Prosperpolder*, Report 2021-52, Stowa, Amersfoort, 2021.
- ICOLD, 2017. International Commission on Large Dams, *Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their Foundations*, bulletin 164, 2017
- Idsinga, 2022. Johannes Idsinga, *The investigation of animal burrows in levees, Using experimental data to develop a probabilistic model that aims to improve the efficiency of manual inspection of animal burrows on levees*, additional Master thesis, Delft University of Technology, Delft, 19 april 2022, 67 pp.
- Kieftenburg, 2019. Annette Kieftenburg, *Quickscan meettechnieken gravers*, memo, Deltares, Delft, 12 december 2019 (2 pp. met 7 bijlagen).
- Klerk, 2022. Klerk, W. J., *Decisions on life-cycle reliability of flood defence systems*, TU Delft, 2022 <https://doi.org/10.4233/uuid:877bed45-d775-40bb-bde2-d2322cb334f0>
- Koelewijn, 2020. André Koelewijn, *Graverij door dieren, Invloed op de veiligheid van waterkeringen*, Deltares, d.d. 14-12-2020 KPP rapport 11205235-003-ZWS-0001

- Koelewijn, 2021. André Koelewijn, *Waargenomen invloed van mollengangen op dijkveiligheid*, Polder2C's (Interreg 2 Seas programme 2014-2020, contract no. 2S07-023), 5 mei 2021, 39 pp.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018. *Factsheet 'verhaal van de kering' versie 1*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, datum 19 juni 2018
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021. *Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI 2017*, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 28 mei 2021, 153 pp.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022. *Bijlage XXXIIA bij de artikelen 12.2b en 122c (procedure beoordeling primaire waterkeringen)*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, BOI, concept, datum 28 februari 2022
- Natuurmonumenten, 2022. <https://www.natuurmonumenten.nl/dieren/das> (bezoekt 23 augustus 2022)
- Roper, 2010. Roper, T. J. *Badger*, Volume 114 of *New naturalist*, 2010
- Rosenbrand et al., 2021. *Kennis voor Keringen 2021: Achtergrondrapport Voorlanden*, Esther Rosenbrand, Ligaya Wopereis, Ane Wiersma (A.P.), Wim Kanning, Adam Bezuijen, Jan Blinde, Deltares, d.d. 2-12-2021, rapport 11206817-010-GEO-0003
- Stowa et al, 2022. [Symposium: 'Vormen bevers een gevaar voor de infrastructuur?' | STOWA](#) georganiseerd door STOWA, Rijkswaterstaat, de Unie van Waterschappen, de Zoogdiervereniging en het Interprovinciaal Overleg op 14 April 2022, Zwolle (bezoekt 11 augustus 2022)
- Stuurman et al., 2021. R. Stuurman, H. Kooi, R. Melman, K. van der Werf & C. Blom, *Krimp-zwel een groeiend probleem*, *Land + Water*, mei 2021, 34-35.
- Taccari, 2015. M.L. Taccari, *Study upon the possible influence of animal burrows on the failure of the levee of San Matteo along the Secchia river*, TUDelft, Deltares, thesis TUDelft d.d. 13 July 2015
- Tsimopoulou & Koelewijn, 2022. Vana Tsimopoulou & André Koelewijn, *Management of harmful animal activities on levees: Fact finding fieldwork in the Living Lab Hedwige-Prosperpolder*, Polder2C's (Interreg 2 Seas programme 2014-2020, contract no. 2S07-023), 2022.
- Van den Berg, 2021. Frans van den Berg, *Graverij door dieren in waterkeringen, Een kwantitatieve analyse en overzicht huidige kennis*, Deltares, d.d. 2-12-2021 KPP rapport 11206793-002-ZWS-0002
- Van den Berg, 2022a. Frans van den Berg, *Effect bevergraverij op faalmechanismen dijken* Deltares, d.d. 20-5-2022, rapport 11207915-001-GEO-0002
- Van den Berg 2022b, Frans van den Berg, *Veiligheidsraamwerk, graverijen dieren in waterkeringen, concept*, Deltares, d.d. 24-11-2022, rapport 11208018-002-GEO-0001
- Van Dijk, 2021. P.M. van Dijk, *Prediction method for grass erosion on levees by wave overtopping, Linking models to experiments*, MSc thesis, Delft University of Technology, Delft, 31 augustus 2021, 116 pp.
- Waarnemingen.nl, 2022a. Waarneming.nl, Stichting Observation International en lokale partners. *Eurasian Beavers*. Waarneming.nl (online), n.d., [Eurasian Beaver - Castor fiber - Waarneming.nl](#) (bezoekt 23 augustus 2022)
- Waarnemingen.nl, 2022b. Waarneming.nl, Stichting Observation International en lokale partners. *Eurasian Badgers*. Waarneming.nl (online), n.d., [Eurasian Badger - Meles meles - Waarneming.nl](#) (bezoekt 24 november 2022)

WSRL, 2016. WSRL-Werkgroep Preventieve maatregelen bij dierlijke graverij, *Ontwerp-randvoorwaarden Preventieve maatregelen dierlijke graverij*, interne memo WSRL, juni 2016

Stowa et al, 2022. [Symposium: 'Vormen bevers een gevaar voor de infrastructuur?' | STOWA](#) georganiseerd door STOWA, Rijkswaterstaat, de Unie van Waterschappen, de Zoogdierverseniging en het Interprovinciaal Overleg op 14 April 2022, Zwolle (bezoekt 11 augustus 2022)

A Verslag locatiebezoek WDOD 22-6-2022

B Verslag locatiebezoek WSBD 4-7-2022

C Verslag locatiebezoek WSRL 27-7-2022

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