

** foto uit persoonlijke collectie*

HET EFFECT VAN HOOGWATERVLUCHTPLAATSEN OP BEVERGRAVERIJEN TIJDENS HOOGWATER

Samenvatting

Binnen de Nederlandse waterschappen en Rijkswaterstaat is er toenemende aandacht voor de bever. Het graafgedrag van bevers in dijken kan leiden tot onveilige situaties, vooral tijdens hoogwater. Het is onbekend of het aanbieden van HVP's leidt tot een vermindering van graverij.

In dit onderzoek is onderzocht in hoeverre het beschikbare oppervlak hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) samenhangt met de kans op graverij door bevers. Langs de grote rivieren in Nederland zijn gegevens verzameld over 131 dijksegmenten in gebieden met beveractiviteit. 17 van deze segmenten ondervonden tijdens hoogwater bevergraverij. Er is onderzocht welke omgevingsfactoren een verband hebben met het voorkomen van graverij tijdens hoogwater.

Uit de resultaten blijkt dat bij een toenemend oppervlakte hoogwatervluchtplaatsen de kans op graverij door bevers afneemt. De afname is het sterkst bij kleine oppervlakte, van de 0 tot 5 Ha oppervlakte HVP. Bovendien, als het aantal burchten toeneemt neemt de kans op graverij sterk toe. Samen verklaren HVP's en burchten 26,3% van de variatie in de kans op graverij.

De relatie tussen het aantal beverburchten en graverij suggereert dat territoriaal gedrag mogelijk een rol speelt, maar het lijkt erop dat bevers tijdens hoogwater ook meer verdraagzaam zijn tegenover elkaar, wat verder onderzocht moet worden. Dit onderzoek is een belangrijke stap in het ontwikkelen van risicomodellen die helpen bij het beheren van bevers en het beschermen van waterkeringen. Deze inzichten bieden handvatten voor het toekomstig beheer van zowel bevers als de waterveiligheid.

Giel Tielen

17-06-2025

Het effect van hoogwatervluchtplaatsen op bevergraverijen tijdens hoogwater.

Giel Tielen

Student nummer: 000028322

*Hogeschool van Hall Larenstein
Leeuwarden*

17-06-2025

Bachelor thesis

Module LDM430VNAO4

Begeleider Waterschap Vallei en Veluwe: Carina Otte

Begeleider Van Hall Larenstein: Martijn Weterings

Onafhankelijk beoordelaar Van Hall Larenstein: Azuwerus van Buiten

Voorwoord

Tijdens mijn stage in Limburg deed ik onderzoek naar de verblijfplaatsen van bevers tijdens hoogwater. Eén situatie bleef me vooral bij: alle bevers bleven rustig op een droog, beschut plekje – behalve één familie. Die had geen goede schuilplek en begon te graven in een dijk (zie foto op het titelblad). Dat zetten mij aan het denken. Je kunt natuurlijk geen conclusies trekken uit één voorbeeld, maar het riep genoeg vragen op om dit onderzoek te starten.

Met dit rapport hoop ik een stap te zetten in de richting van een riviersysteem dat werkt voor zowel mensen als bevers, zonder dat hier veiligheidsrisico's ontstaan.

Ik heb dit niet alleen gedaan, en wil daarom een aantal mensen bedanken. Om te beginnen met Carina Otte voor het vertrouwen en de kans om dit onderzoek te doen bij Waterschap Vallei en Veluwe. Ook Kees Schep (WSRL), Wijnand Evers (WDOD) en Wiljo van Eerden (WL) wil ik bedanken voor het delen van hun kennis en gegevens. Martijn Weterings hielp mij om scherp te blijven en het rapport goed op papier te krijgen. In bijlage 2 staat iedereen benoemd wie mij heeft geholpen om dit onderzoek tot een succes te maken, bedankt voor jullie openheid en medewerking.

Buiten in het veld heb ik ontzettend veel geleerd van de muskus- en beverrattenbestrijders. Stuk voor stuk deelden ze met enthousiasme hun ervaring en inzichten, en daar ben ik erg dankbaar voor.

Ik wil dan ook iedereen die zich verder in dit onderwerp verdiept, aanmoedigen om zelf het veld in te gaan en van deze mannen en vrouwen te leren. Hun praktijkkennis is van onschatbare waarde. Ik geloof dat we op die manier in de toekomst alleen maar beter in staat zullen zijn om problemen op een praktische en werkbare manier op te lossen.

En natuurlijk dank aan iedereen die ik niet bij naam heb genoemd, maar wel op een of andere manier heeft geholpen.

Veel leesplezier!

Inhoud

Voorwoord	2
Inleiding	4
Context	4
Hoofdvraag en hypothese	4
Methode	5
Onderzoeksgebied	5
Dataverzameling	7
Aantal graverijen	7
Hoogwatervluchtplaatsen <i>focusvariabele</i>	7
Controle variabelen	7
Grootte van de beverpopulatie	7
Vegetatie.....	8
Hoge bomen	8
Samenstelling van de primaire kering	8
Tijdsduur hoogwater	8
Oriëntatie dijktraject rivierzijde.....	9
Diepgang/vrijboord kering	9
Datapreparatie	11
Data analyse	11
Resultaten	13
Discussie	16
Relatie tussen HVP's en bevergraverij	16
Relatie tussen vegetatie bedekking en bevergraverijen	16
Aantal burchten als verklarende factor	17
Conclusie	17
Bronnenlijst	19
Bijlage 1:ondersteunende grafieken en tabellen.....	23
Bijlage 2: lijst met contactpersonen	25

Inleiding

Context

De bever (*Castor fiber*) is sinds de succesvolle herintroductie in 1988 weer in Nederland aanwezig, met een jaarlijks groeiende populatie van 17,5% (Dijkstra & Hollander, 2016).

Graverij door bevers in de vorm van oeverholen heeft in Nederland al geleid tot risicovolle situaties bij keringen en spoorwegen (Dijkstra et al., 2022; Niewold, 2007). In het kader van waterveiligheid zijn bij de Waterschappen met name zorgen over de graverijen in primaire keringen, en het falen van keringen tijdens hoogwater. (Bos et al., 2020; Hokken & Wolfs, 2012; Van Dorst et al., 2024). In het rivierengebied van Nederland zijn er tijdens, en na hoogwater graverijen van bevers in keringen aangetroffen (Expertise Netwerk Waterveiligheid, 2024).

Tijdens een hoogwatersituatie kan het voorkomen – afhankelijk van de hoogte van het water – dat de huidige oeverholen en beverburchten overstromen. In dit geval gaan bevers op zoek naar hoger gelegen en droge schuilplekken (Berg & Natarajan, 2023). Deze schuilplekken bevinden zich in sommige gevallen in primaire keringen in de vorm van een hol (Expertise Netwerk Waterveiligheid, 2024; Warmer et al., 2025), ook op andere droge plekken in de uiterwaarde worden bevers waargenomen (later benoemd als hoogwatervluchtplaatsen/ HVP's)(Berg & Natarajan, 2023; Tielen, 2025). Tijdens hoogwater in het bijzonder, vergroot een ondergraven kering de kans op een dijkdoorbraak, doordat deze instabiel wordt (Dijkstra, 2016). In Limburg (Tielen, 2025); en andere gebieden (Bekhuis & Kurstjens, 2003; Dijkstra et al., 2022; G. Kurstjens, persoonlijke communicatie, 3 oktober 2024; Wolters et al., 2025) lijkt de aanwezigheid van voldoende HVP's een positief effect te hebben op het ontbreken van graverijen in primaire keringen. Of er daadwerkelijk een verband ligt tussen de aantallen bevergraverijen in een primaire kering en de beschikbare HVP's is voorafgaand aan dit rapport niet onderzocht. Dit verband kan mogelijk een verklaring geven voor het verschil van de aanwezigheid van bevergraverijen in keringen tijdens hoogwater.

Hoofdvraag en hypothese

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek naar de relatie tussen het voorkomen van bevergraverijen in een primaire kering en de beschikbare hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) voor bevers tijdens hoogwater gepresenteerd. De **hoofdvraag** die beantwoord is:

Wat is het verband tussen het voorkomen van bevergraverijen in primaire keringen en de beschikbare hoogwatervluchtplaatsen tijdens een hoogwater?

De **hypothese** die is opgesteld was:

Het voorkomen van graverijen in een primaire kering en de beschikbare hoogwatervluchtplaatsen zijn negatief gecorreleerd.

(Dijkstra et al., 2022, 2022; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024; G. Kurstjens, persoonlijke communicatie, 3 oktober 2024).

Methode

Onderzoeksgebied

De uiterwaarde en keringen die zijn getoetst in dit onderzoek liggen verspreidt langs de rivieren de Maas, Rijn, Waal, IJssel en de Overijsselse Vecht binnen Nederland (Tabel 1 en figuur 1). Deze gebieden zijn geselecteerd op het voorkomen van bevergraverijen tijdens hoogwater, geregistreerd door de waterschappen. Ook zijn er 2 locaties meegenomen waar geen bevergraverij is waargenomen tijdens hoogwater, maar waar graverij grote risico's op zou kunnen leveren. Daarom de vraag vanuit de dijkbeheerders om deze locaties alsnog mee te nemen. Op deze locaties waren overigens wel een of meerdere bever families aanwezig.

Tabel 1: een weergave van de aangrenzende rivieren welke onderzocht zijn, met afvoer gegevens van RWS en graverij gegevens van de waterschappen.

<i>Rivier</i>	<i>Binnenkomst Nederland (of voedende rivier)</i>	<i>Verhoogde afvoeren en hoogtes NAP¹</i>	<i>Lengte door Nederland³</i>	<i>Aantal graverijen tijdens hoogwater²</i>
<i>Maas</i>	Eijsden	1250m ³ /s en 4500 cm	196 KM	1
<i>Rijn(Neder-Rijn)</i>	Lobith	5400m ³ /s en 1300 cm	54 KM	0
<i>Waal</i>	Rijn (rivier)	^	85 KM	10
<i>IJssel</i>	Rijn (rivier)	^	127 KM	17
<i>De Overijsselse Vecht</i>	Gramsbergen	160m ³ /s en 340 cm	60 KM	1

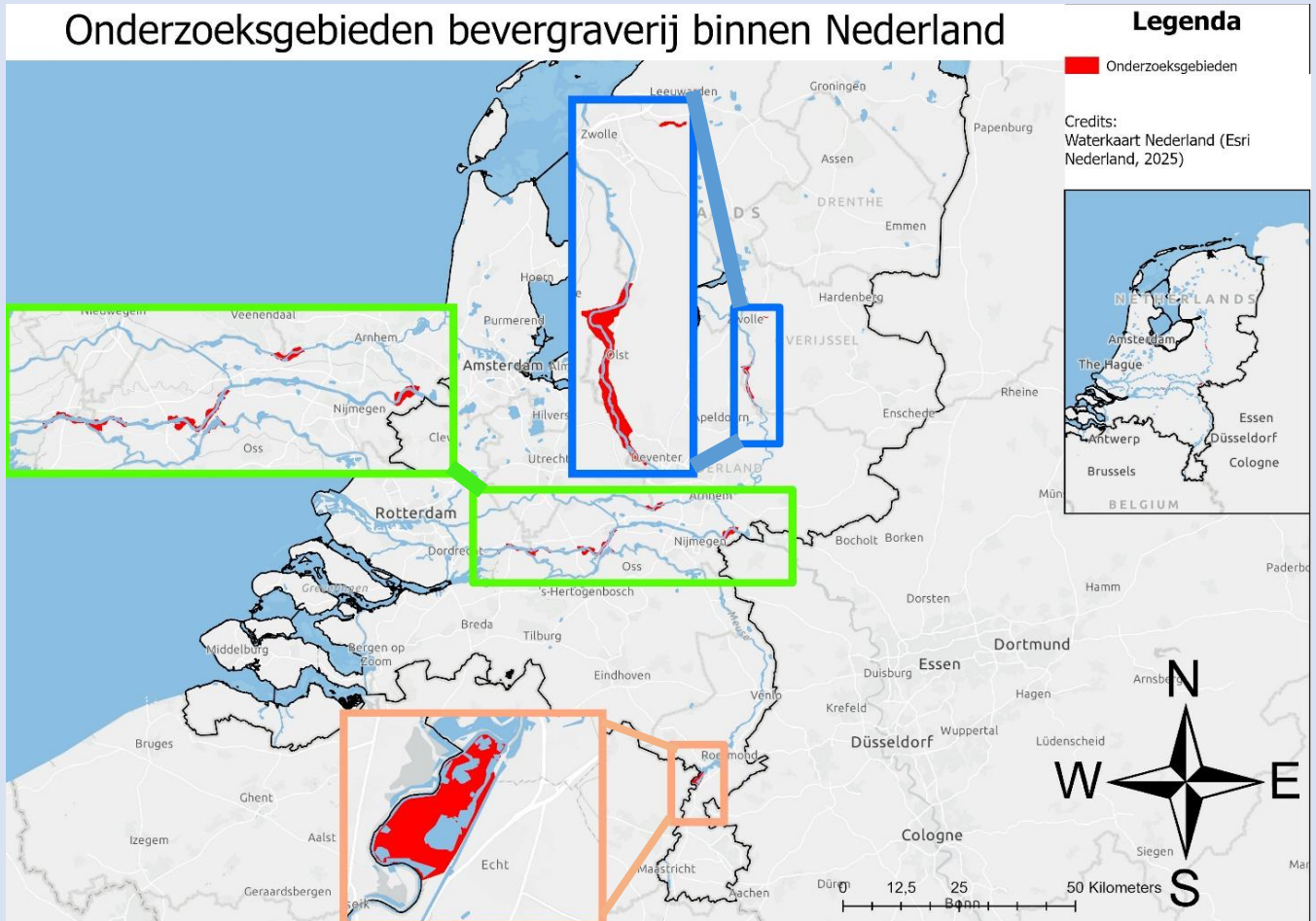
¹ de afvoer gegevens zijn uitgelezen op de RWS meetpunten Sint pieter noord-Maas, Lobith-Rijn, Ommen Hesselmulertbrug-Vecht(Rijkswaterstaat, 2025).

² Data verzameld tussen 2021 en 2025

³Vecht (Beek et al., 2011), Maas en Rijn (Rijkswaterstaat, 2025)

De uiterwaarden die meegenomen zijn in dit onderzoek hebben allemaal een natuurlijke inrichting. Op sommige locaties vindt recreatie plaats in de vorm van wandelroutes en vogelkijkhutten, de overige zijn gebieden zijn natuurgebieden waar geen toegang is voor onbevoegden. De uiterwaarde hebben een inrichting met meerdere poelen, soms verbonden met kleine waterlopen. De vegetatiebedekking bestaat in de meeste gevallen uit meerdere kleine bosjes van wilgen (*Salix* spp.) en elzen (*Alnus* spp.), maar ook andere boomsoorten zoals eiken (*Quercus* spp.) en populieren (*Populus* spp.) komen voor.

Onderzoeksgebieden bevergraverij binnen Nederland



Figuur 1: Weergave van de onderzoeksgebieden en de ligging binnen Nederland.

Dataverzameling

Voor alle ruimtelijke bewerkingen is gebruikgemaakt van ArcGIS Pro (Esri versie 3.4), met het coördinatenstelsel RD New (EPSG: 28992). De keringen binnen de geselecteerde gebieden zijn opgesplitst in aangrenzende dijksegmenten van 500 meter. De data is verzameld binnen buffers op de dijktrajecten van 500 meter (gebaseerd op enkele veldobservaties van graverijen en burchten) en 2000 meter welke gebaseerd is op de gemiddelde territorium grootte van bevers (Bij12, 2017; Campbell-Palmer & Rosell, 2022; Graf et al., 2016).

Aantal graverijen

De graverijen die meegenomen worden in dit onderzoek zijn alle graverijen welke zijn gevonden tijdens inspectie van de kering na hoogwater in 2021,2022,2023,2024 en 2025 t/m 30-01. Deze inspectie is uitgevoerd door dijkspecteurs en muskus- en beverrattenbestrijders en werden uitgevoerd tijdens en na hoogwaterperiodes. De locaties van deze graverijen zijn tijdens de inspectie ingevoerd in verschillende apps per waterschap. De data uit deze apps is samengevoegd tot een dataset.

Hierbij wordt graverij gezien als een doorboring van de grasmat veroorzaakt door bevers. Ieder segment met een graverij er in heeft de score van 1 gekregen, de segmenten zonder graverij hebben een 0 score.

Hoogwatervluchtplaatsen focusvariabele

Bevers hebben bij het verlaten van hun overstroomde burcht een voorkeur voor (dichtbij gelegen) hoogwatervluchtplaatsen. (Dijkstra et al., 2022; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024; G. Kurstjens, persoonlijke communicatie, 3 oktober 2024; Wolters et al., 2025).

De hoogwatervluchtplaatsen zijn bepaald op basis van de AHN3 met een raster van 0,5 m (Esri Nederland, 2023) gecombineerd met hoogwaterpeilhoogtes. Hoogwaterpeilen zijn berekend per gebied op basis van de gemiddelde hoogste pieken van de afgelopen vijf jaar, afgeleid van metingen van Rijkswaterstaat en waar nodig doorberekend met betrekkinglijnen (Rijkswaterstaat, 2025; Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2023).

De gebieden met een hoogte boven deze hoogwaterpeilhoogtes in de AHN3 kaart zijn samengevoegd tot een polygoon. Vervolgens is er doormiddel van een 15 meter buffer langs de kering gecorrigeerd voor het meenemen van keringen als HVP in de analyse. Alles binnen deze buffer is niet meegenomen.

Controle variabelen

Ook zijn het aantal burchten, diepgang/vrijboord, vegetatie bedekking op de HVP, bedekking van hoge bomen, oriëntatie dijktraject N,NO etc., dijk samenstelling en tijdsduur hoogwater in dagen meegenomen als controle variabelen (tabel 2).

Grootte van de beverpopulatie

Vanwege de grootte spreiding in familie grootte (Campbell et al., 2005; Herr & Rosell, 2004; Niewold, 2022), neem ik het aantal hoofdburchten als maat voor het aantal bevers in een gebied (Lee, 2020), omdat het aantal bevers mogelijk gerelateerd is aan het aantal graverijen.

Een territorium heeft één hoofdburcht en soms een kleinere bij-burcht welke ook gebruikt wordt (Aparicio Estalella et al., 2020; Bijl, 2017). Per gebied zijn alle burchten geïnventariseerd en beoordeeld op activiteit, hierbij waren muskus- en beverrattenbestrijders aanwezig. Deze gaven aanvullend inzicht op basis van ervaring met betrekking tot geurmarkeringen, eerdere waarnemingen met hoogwater en wissels. Bij meerdere burchten per groep is alleen de vermoedelijke hoofdburcht meegenomen in het onderzoek.

Vegetatie

Er is bekend dat bevers een voorkeur hebben voor gebieden met vegetatie, zowel hout opslag en aquatische vegetatie, en dat ook met hoogwater de stukken met meer vegetatie meer worden gebruikt door bevers. (Berg & Natarajan, 2023; Brazier et al., 2021).

De vegetatiebedekking is vastgesteld door het samenvoegen van meerdere bronnen, hierbij is geen onderscheid gemaakt in specifiek soorten vegetatie alleen de bedekking:

- Copernicus vegetatiekaart (2018): Satellietdata met een resolutie van 5x5 meter is gebruikt als basis voor algemene vegetatie bedekking.
- RIVM rasterkaart struiken (2023): 10x10 m raster waarin alleen cellen met een struikendekking >30% zijn meegenomen.
- RIVM hoge bomenkaart (2024): 5x5 m voor bomen <4 m (voor algemene vegetatiebedekking)

De gecombineerde vegetatiedata zijn omgezet naar een polygoon om overlap tussen de rasterbronnen te voorkomen. Per dijksegment is er binnen de buffer de oppervlakte (Ha) van de vegetatie bedekking meegenomen.

Hoge bomen

Het aantal bomen hoger dan 4 meter in de uiterwaarde is ook meegenomen (RIVM, 2024). Mogelijk gebruiken bevers hoge bomen tijdens hoogwater als vluchtplaats (Berg & Natarajan, 2023; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024).

De RIVM hoge bomenkaart (2024) 5x5 m raster is gebruikt om bomen >4 m per gebied in kaart te brengen. Alle rastercellen met een score >4 m zijn samengevoegd tot een polygoon.

Voor hoge bomen zijn er per dijksegment de procentuele bedekking per buffer berekent en meegenomen.

Samenstelling van de primaire kering

De samenstelling van de kering (de dichtheid van het substraat in de kering) speelt een rol bij het voorkomen van bevergraverijen (Berg, 2022; Ulevičius et al., 2009).

De samenstelling van de dijksegmenten is afgeleid uit grondboringen en sondeeronderzoek, uitgevoerd door verschillende overheidsinstanties, waaronder het Gegevensbestand Dijklichamen Nederland (GDN, 2025). Ter verduidelijking van onduidelijke resultaten zijn experts van de waterschappen geraadpleegd (R. Potter, persoonlijke communicatie, 23 april 2025; A. Smit, persoonlijke communicatie, 14 april 2025).

Er is onderscheid gemaakt tussen keringen met een zand kern en klei dek, klei kering en zandkering.

Tijdsduur hoogwater

De tijdsduur dat het water hoog staat en de burchten dus niet toegankelijk zijn wordt ook meegenomen in de analyse. De duur van een hoogwater wordt door enkele experts mogelijk als

factor gezien die hier een rol in speelt (W. van Eerden, persoonlijke communicatie, 2024; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024).

De duur van het hoogwater is berekend als het aantal opeenvolgende dagen waarin de afvoer van rivieren (Maas, Rijn en Vecht) de door Rijkswaterstaat vastgestelde verhoogde afvoer grens overschreed. Hiervoor zijn gegevens van Rijkswaterstaat gecombineerd met kennis van regionale medewerkers.

De duur is meegenomen als factor. Op basis van de gegevens zijn twee categorieën bepaald: minder dan één dag en vijf dagen.

Oriëntatie dijktraject rivierzijde

Mogelijk is er een verband tussen het aantal bever graverijen en de overheersende windrichting (W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024; Expertise Netwerk Waterveiligheid, 2024; Tielen, 2025).

De oriëntatie van dijksegmenten is handmatig ingeschat met behulp van ArcGIS Pro, De dijkzijde aan de rivierkant is per dijksegment meegenomen.

Diepgang/vrijboord kering

Zoals eerder benoemd is er voor bevers belang om droog te kunnen verblijven in de kamers in de gegraven hollen. Een mogelijk probleem wat zich hierbij voor kan doen is de diepgang van de kering tijdens een hoogwater. Met een kleine afstand van de waterhoogte tot de kruin van de kering (ook wel de diepgang of vrijboord genoemd) is er te weinig ruimte om een kamer te graven, en kunnen ze dus niet droog zitten in het hol (Rosell & Campbell-Palmer, 2022).

De hoogte van de kering is bepaald op basis van de AHN3 (Esri Nederland, 2023). Hoogwaterpeilen zijn berekend per gebied op basis van de gemiddelde hoogste pieken van de afgelopen vijf jaar, afgeleid van metingen van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2025; Rijkswaterstaat Oost-Nederland, 2023). De diepgang is vastgesteld als het hoogteverschil tussen de kering en het berekende hoogwaterpeil.

Tabel 2: De variabele welke worden meegenomen in het onderzoek. In het groen de afhankelijke variabelen, in het blauw de onafhankelijke variabele. De verwijzingen in de laatste kolom zijn terug te vinden in de bronnenlijst

Soort Variabel	Variabele	Data eenheid	Bron/verwijzing
Afhankelijke	Aantal graverijen per dijk traject	Aantal graverijen	-
Onafhankelijke	Oppervlakte beschikbare HVP <i>Focusvariabele</i>	Hectare	Dijkstra et al., 2022, 2022; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024; G. Kurstjens, persoonlijke communicatie, 3 oktober 2024
	Aantal burchten binnen 500m	Aantal burchten	Lee, 2020
	Diepgang/vrijboord kering	Meters droogleging	Rosell & Campbell-Palmer, 202
	Vegetatie bedekking van struiken en lage bomen	Hectare	Berg & Natarajan, 2023; Brazier et al., 2021
	Aanwezige hoge bomen	Hectare	Berg & Natarajan, 2023; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024
	Windrichting dijktraject	De 8 windrichtingen N,NO,ZO,Z etc.	W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024; Expertise Netwerk Waterveiligheid, 2024; Tielen, 2025
	kering samenstelling	• Zand met klei dek • Klei • Zand	Ulevičius et al., 2009
	Tijdsduur hoogwater	Aantal dagen	W. van Eerden, persoonlijke communicatie, 2024; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024

Datapreparatie

Er is gebruik gemaakt van een Pearson correlatie matrix om de correlatie te controleren tussen de variabelen (Fox & Weisberg, 2011; Schloerke et al., 2024; Zuur et al., 2010). Bij de 500 meter buffer lag er een correlatie tussen de HVP oppervlakte en de vegetatie bedekking ($r=0,80$). Bij de 2000 meter buffer zijn tussen alle variabelen een sterke correlatie gevonden ($r=0,46$) met uitzondering tussen de HVP en de diepgang ($r=0,02$). De 2000 meter is hierom niet verder meegenomen. Bij de 500 meter buffer zijn twee modellen opgesteld: één met de HVP-oppervlakte en één met de vegetatiebedekking als focus variabele, hierbij is de correlerende variabele weggelaten. Deze keuze is gemaakt op basis van een Variance Inflation Factor (VIF)-analyse, die wees op een sterke onderlinge correlatie tussen deze twee variabelen (Sarabia & Ortiz, 2009).

Tijdens de analyse werd er veel ruis waargenomen door nullen in de dataset bij de burchten variabele. Daarom is er voor gekozen alle segmenten met een 0 score bij burchten te verwijderen uit de dataset, waardoor er een nieuwe N van 131 is. De eerder getoonde uitkomsten en hierna volgende zijn berekend uit de nieuwe dataset.

Data analyse

Hierna zijn er met de geselecteerde variabelen: *het aantal burchten, diepgangdijktraject, HVP oppervlakte, bedekking van hoge bomen, oriëntatie dijktraject N, NO etc., kering samenstelling, vegetatie bedekking en tijdsduur hoogwater* afzonderlijke logistische regressiemodellen, glmmTMB, uitgevoerd (Brooks et al., 2017).

Bij deze modellen is een random effect opgenomen om te corrigeren voor gebiedsafhankelijke variatie. Er is vervolgens een selectie gemaakt van variabelen die zijn meegenomen in het multivariate model (Concato et al., 1996) (tabel 3). Er is hierbij een grenswaarde van $p < 0.25$ aangehouden om een goede selectie te maken van de variabelen (Bendel & Afifi, 1977).

Variabele	p-waarde	< 0.25	Mee in vervolgmodel?
Boom %	0.228	Ja	✓ Ja
HVP oppervlakte	0.135	Ja	✓ Ja
Burchten	0.005	Ja	✓ Ja
Diepgang	0.833	Nee	✗ Nee
Samenstelling	0.600	Nee	✗ Nee
Windrichting	0.217	Ja	✓ Ja
Duur hoogwater	0.400	Nee	✗ Nee
Vegetatie bedekking Ha	0.072	Ja	✓ Ja

Tabel 3: overzicht van de analyse van de variabele, en de keuze of de wel of niet meegenomen zijn in het vervolg.

Tijdens de modelselectie zijn de niet significante variabele een voor een verwijderd op basis van de laagste AIC score (Burnham & Anderson, 2004). Hierdoor zijn de variabelen windrichtingen ($p=0,13$) en het boompercentage ($p=0,194$) niet verder meegenomen in beide eindmodellen.

De modellen zijn getoetst met behulp van het DHARMA-pakket (Hartig et al., 2024). Deze toonden aan dat er geen sprake was van overdispersie ($\text{dispersion}^{\text{Veg en HVP}} = 1.04$, $p^{\text{HVP}} = 0.86$ en $p^{\text{veg}} = 0.81$), en

dat de gesimuleerde residuen uniform verdeeld waren ($p^{HVP} = 0.94$ en $p^{veg} = 0.95$). Ook werd geen aanwijzing gevonden voor zero-inflatie in beide modellen ($p = 1$).

De ruimtelijke autocorrelatie van graverij binnen de gebieden werd getest met Moran's I (Bivand & Wong, 2018). De uitkomst ($I = -0.80$, $p = 0.965$) toont geen significante clustering of spreiding, wat erop wijst dat er geen ruimtelijk patroon aanwezig is in de graverijscore over de verschillende gebieden.

Resultaten

In de onderzoeksgebieden waren gemiddeld 4.15 (SD=4.95) Ha aan hoogwatervluchtplaatsen aanwezig per dijksegment, met een gemiddelde van 1.56 (SD=0.88) aantal burchten. Er was een vegetatie bedekking van gemiddeld 0.59Ha (SD=0.07). De gemiddelde bedekking van hoge bomen was 8.20%(SD=6.3%) per segment. Van de 131 dijksegmenten ondervonden er 17 graverij met hoogwater. De verdeling van de oriëntatie van de waterzijde van de keringen loopt van 18.3%(N,NW) tot 4,6%(ZO,ZW), en er was een gemiddelde diepgang van 3.28m (SD=1.08)(Tabel4). De samenstelling was voornamelijk kleidijk(49.6%) en zandkern met kleilaag (45.0%), de overige 5.3% was zanddijk. De tijdsduur is ingedeeld in 2 categorieën, minder dan 1 dag (13%) en 5 dagen (87%). De verdeling van de oriëntatie van de dijk, samenstelling en tijdsduur zijn terug te vinden in bijlage 1 (Tabel 7).

Tabel 4: weergave van de getoetste numerieke variabelen met de gemiddelde, standaarddeviatie en of ze effect hebben op bevergraverij tijdens hoogwater.

Variabele	Gemiddelde	Standaarddeviatie (SD)	Effect op bevergraverij
<i>Hoge bomen dekking in procenten</i>	8.20	6.30	✗ Nee
<i>Oppervlakte HVP in Ha</i>	4.15	4.95	✓ Ja
<i>Vegetatie bedekking op HVP in Ha</i>	0.59	0.85	✓ Ja
<i>Aantal burchten</i>	1.56	0.88	✓ Ja
<i>Diepgang van de dijk in meter</i>	3.28	1.08	✗ Nee

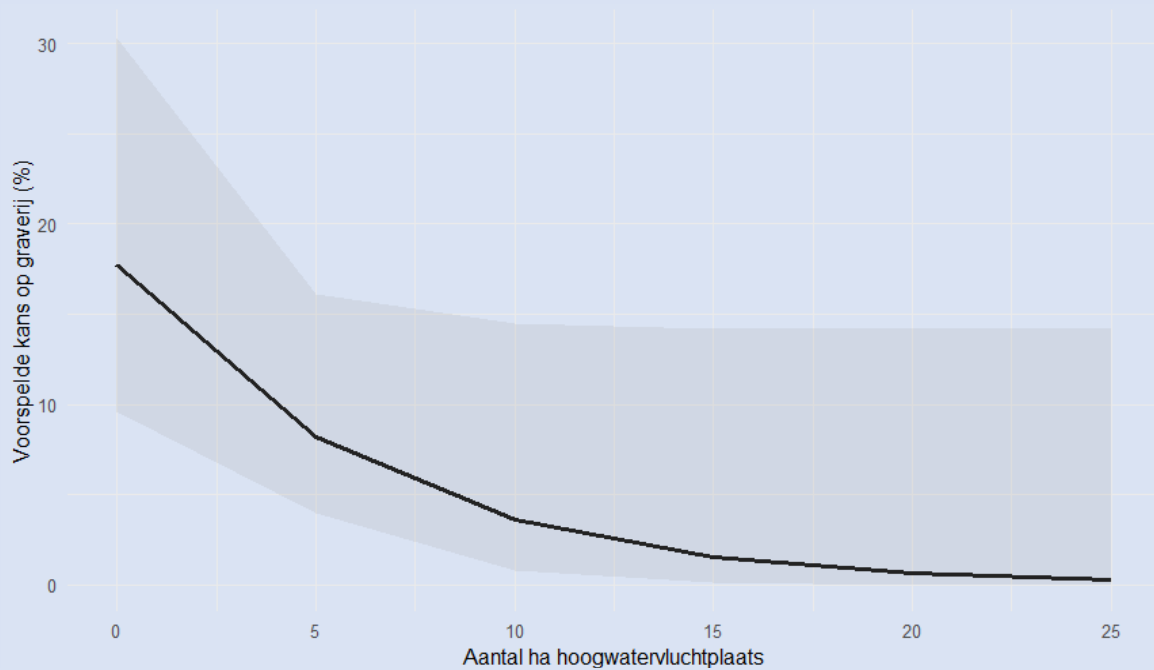
Omdat het model met HVP-oppervlakte de hypothese het duidelijkst ondersteunt, zijn deze resultaten als leidend gehanteerd in de interpretatie van de bevindingen.

Mijn resultaten uit het HVP model suggereren dat hoe kleiner het oppervlak aan beschikbare HVP's, hoe groter de kans dat bevergraverijen voorkomen in primaire keringen (marginaal significant $Z = -1.916$, $df = 128$, $p = 0.055$) (Tabel 5). Vooral bij kleine HVP-oppervlakten (tot 5 Ha) lijkt de kans op graverij relatief sterk af te nemen per Ha(Figuur 2). Bovendien was de kans op het optreden van bevergraverij groter bij hogere aantallen burchten ($Z = 3.051$, $df = 128$, $p = 0.0023$) (Tabel 5; Figuur 3).

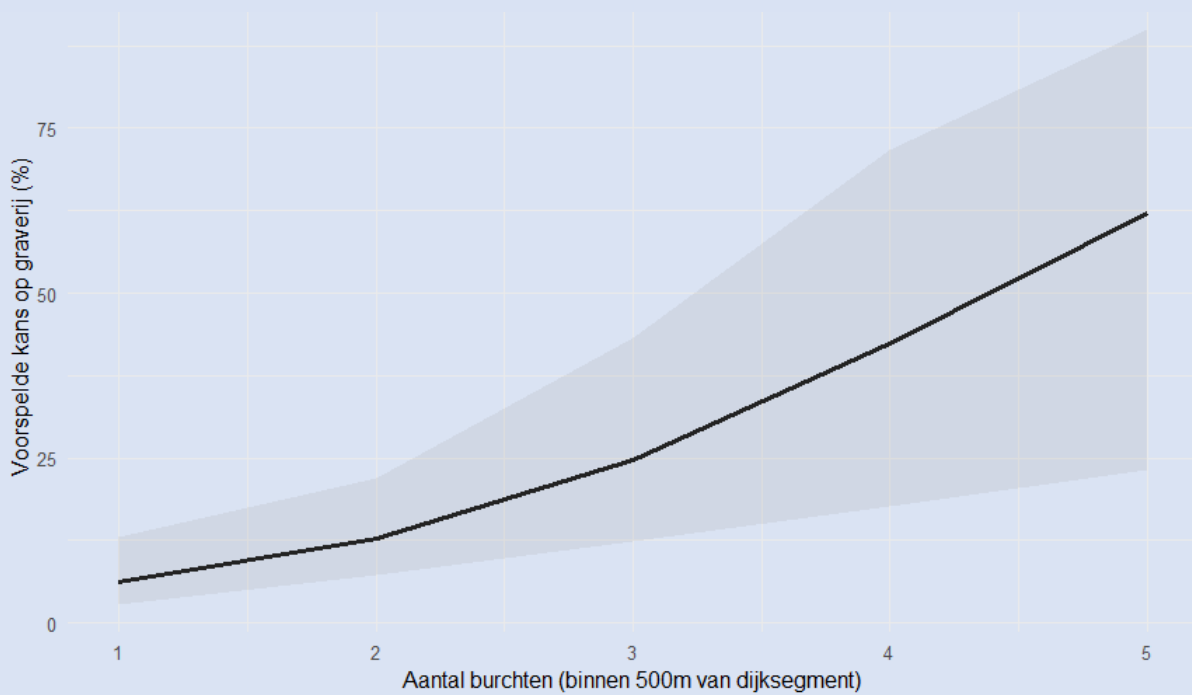
Tabel 5: Eindmodel van de binaire regressie voor de relatie van HVP's en het aantal burchten met de kans op graverij door bevers in een dijksegment binnen Nederland. Zowel het percentage bomen als de oriëntatie van de kering had geen relatie met de graverij ($p^{boom}=0.194$ en $p^{wind} > 0.13$).

Gebied ID	Variantie 3.00×10^{-9} / $SD < 0.001$	β^1 (Schatting)	SE	Z-waarde	P-waarde
Intercept		-2.794	0.605	-4.621	<0.001
<i>Hoogwatervluchtplaats (Ha)</i>		-0.176	0.092	-1.916	0.055
<i>Aantal burchten</i>		0.804	0.264	3.051	0.002

¹Beta zijn gestandaardiseerd. Marginale R^2 waarde van 0.263.



Figuur 2: De gemiddelde ($\pm$ 95% CI) (marginal means) kans op graverij door bever op de Y-as En het oppervlakte (ha) in hoogwater vluchtplaatsen op de X-as



Figuur 3: De gemiddelde ($\pm$ 95% CI) (marginal means) kans op graverij door bever op de Y-as En het aantal burchten binnen 500 meter van het dijksegment op de X-as

Het model met de HVP oppervlakte verklaarde 26,3% van de variantie in graverij (marginale $R^2 = 0.263$), dat wil zeggen dat 73.7% van de variatie in de kans op graverijen niet wordt verklaart.

Het model waarin vegetatiebedekking is opgenomen, laat een vergelijkbaar effect zien van het aantal burchten op de graverijkansen ($Z = 3.255$, $df = 128$, $p = 0.00114$). Daarnaast blijkt dat bij toenemende vegetatiebedekking de kans op bevergraverij afneemt, waarbij deze afname het sterkst is bij de eerste hectare vegetatie ($Z = -2.194$, $df = 128$, $p = 0.02822$). Dit model verklaart 42,2% van de variatie in het voorkomen van graverij (marginale $R^2 = 0.442$); de resterende 57,8% wordt niet verklaard door de meegenomen variabelen. De volledige modelresultaten zijn terug te vinden in Bijlage 1.

Discussie

Bevergraverij vormt een risico voor de waterveiligheid, vooral tijdens hoogwater, wanneer keringen een essentiële rol spelen in de bescherming van het achterland. Binnen waterschappen is er behoefte aan meer kennis over het graafgedrag van bevers tijdens hoogwater, om zo gericht maatregelen te kunnen nemen ter voorkoming van schade (Berg, 2022; Bos et al., 2020; Dorst et al., 2024; Hokken & Wolfs, 2012). Eén van de meest genoemde maatregelen is het aanleggen of behouden van hoogwatervluchtplaatsen (Wolters et al., 2025). Het doel van dit onderzoek was inzicht krijgen in de relatie tussen het oppervlak hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) en de kans op graverijen door bever in primaire keringen tijdens hoogwater.

Relatie tussen HVP's en bevergraverij

Zoals verwacht neigen de resultaten naar een effect van HVP's. Met een toenemend oppervlakte aan HVP's neemt de kans op bevergraverij af. Dit sluit aan bij eerdere vermoedens en bevindingen uit het veld (Tielen, 2025). Dijkstra et al. (2022) en veldobservaties (W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024) suggereren dat bevers sneller geneigd zijn om in keringen te graven wanneer er onvoldoende geschikte HVP's beschikbaar zijn.

Andere soorten laten vergelijkbare gedragingen zien. Bijvoorbeeld, muskusratten zoeken massaal schuilplekken op tijdens overstromingen op de nog droge stukken land, en graven hier nieuwe holen (Yeager & Anderson, 1944). Het is bekend dat in Azië en Australië in gebieden waar overstromingen plaatsvinden dieren hogere plekken opzoeken in de vorm van termieten heuvels (Junk et al., 2006). Bij een toename van overstroomde gebieden wordt er naast een toename in de sterfte van grotere zoogdieren (Wuczyński & Jakubiec, 2013), waargenomen dat zowel grote als kleine zoogdieren droge plekken gebruiken als vlucht mogelijkheid (Jones et al., 2019). De verwachting dat bevers ook gebruik maken van deze droge plekken is aannemelijk, gekeken naar het gedrag van andere dieren en de resultaten uit dit onderzoek.

De beperkte steekproefomvang ($n = 131$) kan de marginale significantie deels verklaren, doordat de kans op graverij uitgerekend is met behulp van de aanwezigheid of afwezigheid van graafsporen (binomiale variabele) (Boraud et al., 2017; Concato et al., 1996). Een grotere dataset zou de statistische kracht van een binomiale regressie vergroten en mogelijk tot sterkere conclusies leiden.

Niet van alle waterschappen waren volledige gegevens beschikbaar over de gehele periode van 2021 tot 2025. In sommige gevallen, zoals bij één waterschap, zijn alleen gegevens uit 2023 en 2024 meegenomen. Hierdoor is het mogelijk dat bevergraverijen uit andere jaren niet zijn geregistreerd, wat invloed kan hebben gehad op de volledigheid van de dataset.

In slechts één gebied (27 segmenten waarvan 1 met graverij) kon de HVP-kaart gevalideerd worden met veldwaarnemingen. Daarbij bleek bij het segment met graverij 55,1% van de berekende HVP-oppervlakte ongeschikt als vluchtplaats door overstroming. Een nauwkeuriger bepaling van de daadwerkelijk bruikbare HVP-oppervlakte zou de betrouwbaarheid van de analyse verder kunnen verbeteren.

Relatie tussen vegetatie bedekking en bevergraverijen

De resultaten uit het model waarbij vegetatie bedekking is meegenomen laten zien dat een grotere vegetatiebedekking samenhangt met een lagere kans op bevergraverij. Bij de interpretatie van dit effect moet echter rekening worden gehouden met de sterke correlatie tussen vegetatiebedekking en

de oppervlakte van hoogwatervluchtplaatsen (HVP's). Het gevonden effect kan (deels) voortkomen uit deze samenhang en kan dus niet los worden gezien van de HVP-oppervlakte. Deze correlatie is verklaarbaar doordat in de analyse alleen vegetatie op HVP's is meegenomen, overige vegetatie staat tijdens hoogwater onder water en biedt dan geen beschutting voor bevers.

Aantal burchten als verklarende factor

Dat het aantal burchten de kans op graverij tijdens hoogwater vergroot is in lijn met het territoriale gedrag van bevers: meerdere burchten binnen een gebied kunnen duiden op meerdere territoria, wat de kans op graverij vergroot (Campbell et al., 2005; Mayer, 2017).

Hoewel bevers doorgaans territoriaal zijn, suggereren sommige veldobservaties dat groepen van tot wel acht individuen samen een HVP delen (Campbell-Palmer & Rosell, 2022; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024). De relatie tussen het aantal burchten en HVP's was echter niet significant ($p = 0.69$). Doordat er bij de dataverzameling per familie één burcht is meegenomen kan dit ook worden vertaald naar de afwezigheid van een relatie tussen familie aantallen en HVP's.

Mogelijk vertonen bevers tijdens hoogwater minder territoriaal gedrag, zoals gesuggereerd door Dijkstra et al. (2022). In dit onderzoek is niet verder gekeken naar losliggende HVP's en het gebruik hiervan per familie. In vervolgonderzoek kan er worden gekeken naar het gedrag richting elkaar op HVP's met hoogwater, en of dat gedrag samenhangt met het voorkomen van graverij.

Conclusie

De toename van oppervlakte aan hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) in de uiterwaarden verlaagd de kans dat bevergraverij voorkomt in primaire waterkeringen tijdens hoogwater (marginale significante invloed). In combinatie met het aantal burchten verklaart dit model een deel van de ruimtelijke spreiding van graverij. Ook een toename de vegetatie bedekking van HVP's verlaagd de kans op graverij, dit verband hangt mogelijk samen met de oppervlakte van de HVP's en zal verder onderzocht moeten worden om hier conclusies uit te trekken.

Deze kennis maakt het mogelijk om risicolocaties langs de grote rivieren beter in kaart te brengen (Pieterse et al., 2010), waardoor waterschappen gerichter maatregelen kunnen nemen om schade aan keringen te voorkomen en prioriteiten kunnen stellen in beheer en onderhoud. De relatie toont aan dat tussen 0 en 5 hectare de kans op graverij sterk afneemt bij een toename van het oppervlakte, deze oppervlakte kan worden gerealiseerd met de relatief nieuwe techniek van kunstmatige HVP's (Wolters et al., 2025). Bij de selectie van de locatie waar deze HVP geplaatst wordt kan gekeken worden waar deze de kans op graverij het sterkst verlaagd. In gebieden met weinig HVP's heeft de kunstmatige HVP het meeste effect. Een aanvulling hierop kan zijn door de gebieden met meer burchten te prioriteren omdat de kans op graverij hier hoger is.

In het model wordt 26.3% van het voorkomen van graverij verklaard door de aanwezigheid van de HVP en de burchten. 73.7% van de graverij wordt verklaard door variabelen welke niet meegenomen zijn door dit onderzoek. Vervolgonderzoek waarbij de weersomstandigheden worden meegenomen kan mogelijk een deel van deze 73.7% verklaren, dit kan ook gecombineerd worden met de windrichting. Bij kouder en slechter weer zitten bevers liever beschut en lijkt er meer graverij plaats te vinden (Bartra Cabré et al., 2020; W. Evers & K. Schep, persoonlijke communicatie, 19 november 2024). Ook de eerder genoemde tolerantie naar andere families tijdens hoogwater kan deze 73.7% mogelijk verder verklaren. Wanneer de HVP-oppervlakte in het model wordt vervangen door

vegetatiebedekking op HVP's, stijgt de verklaarde variantie naar 42,4%. Aangezien vegetatie en HVP-oppervlakte sterk gecorreleerd zijn, is het zinvol om in vervolgonderzoek te onderzoeken of een gecombineerde benadering van beide variabelen leidt tot een hogere verklarende waarde van het model.

Dit onderzoek is het eerste dat zich specifiek richt op de relatie tussen omgevingsfactoren en bevergraverij tijdens hoogwater. Het biedt een belangrijke stap in de verbetering van voorspellende risicomodellen (Warmer et al., 2025). Het draagt bij aan een beter begrip van de factoren die het risico op graverij beïnvloeden en biedt waardevolle inzichten voor het toekomstig beheer van waterkeringen en beverpopulaties.

Bronnenlijst

- Aparicio Estalella, C., Windels, S. K., Rosell, F. N., & Mayer, M. (2020). Landscape structure and population density affect intraspecific aggression in beavers. *Ecology and Evolution*, 10(24), 13883-13894. <https://doi.org/10.1002/ece3.6980>
- Bartra Cabré, L., Mayer, M., Steyaert, S., & Rosell, F. (2020). Beaver (*Castor fiber*) activity and spatial movement in response to light and weather conditions. *Mammalian Biology*, 100(3), 261-271. <https://doi.org/10.1007/s42991-020-00029-7>
- Beek, R. van, Brinkkemper, O., & Jehee, L. (2011). *Cultuurhistorische Atlas van de Vecht*. https://www.academia.edu/4477069/Neefjes_J_O_Brinkkemper_L_Jehee_W_van_de_Griendt_red_2011_Cultuurhistorische_Atlas_van_de_Vecht_Biografie_van_Nederlands_grootste_kleine_rivier_W_Books_Zwolle_Chapter_5_Late_Post_Middle_Ages_
- Bekhuis, J., & Kurstjens, G. (2003). *Adaptation of beavers (Castor fiber) to extreme water level fluctuations and ecological implications*.
- Bendel, R. B., & Afifi, A. A. (1977). Comparison of Stopping Rules in Forward 'Stepwise' Regression. *Journal of the American Statistical Association*, 72(357), 46-53. <https://doi.org/10.2307/2286904>
- Berg, F. van den. (2022). *Veiligheidsraamwerk dierlijke graverijen in waterkeringen* (11208018-002-GEO-0001; p. 29). Deltares.
- Berg, F. van den, & Natarajan, A. (2023). *Beaver behaviour during high water regarding burrows in levees* (1000679-001-OA-0002). Deltares.
- Bij12. (2017). *Kennisdocument Bever* (01). Bij12. <https://www.bij12.nl/wp-content/uploads/2023/11/Kennisdocument-Bever.pdf>
- Bivand, R. S., & Wong, D. W. S. (2018). Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. *TEST*, 27(3), 716-748. <https://doi.org/10.1007/s11749-018-0599-x>
- Boraud, T., Button, K. S., Dumas-Mallet, E., Gonon, F., & Munafò, M. R. (2017). Low statistical power in biomedical science: A review of three human research domains. *Royal Society Open Science*, 4(2), 160254. <https://doi.org/10.1098/rsos.160254>
- Bos, D., de Jong, R., van Hemert, H., Dijkstra, V., & Kurstjens, G. (2020). *Beverbeheerplan Groningen en Drenthe 2021-2025* (p. 98). Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv.
- Brazier, R. E., Puttock, A., Graham, H. A., Auster, R. E., Davies, K. H., & Brown, C. M. L. (2021). Beaver: Nature's ecosystem engineers. *WIREs Water*, 8(1), e1494. <https://doi.org/10.1002/wat2.1494>
- Brooks, M. E., Kristensen, K., Benthem, K. J. van, Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Mächler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, 9(2), 378-400.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (Red.). (2004). *Model Selection and Multimodel Inference*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b97636>
- Campbell, R. D., Rosell, F., Nolet, B. A., & Dijkstra, V. A. A. (2005). Territory and group sizes in Eurasian beavers (*Castor fiber*): Echoes of settlement and reproduction? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 58(6), 597-607. <https://doi.org/10.1007/s00265-005-0942-6>

- Campbell-Palmer, R., & Rosell, F. (2022). *Beavers: Ecology, Behaviour, Conservation, and Management*. Oxford University Press, Incorporated.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/vhluniversity/detail.action?docID=6836914>
- Concato, J., Peduzzi, P., Kemper, E., Holford, T. R., & Feinstein, A. R. (1996). A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 49(12), 1373-1379. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(96\)00236-3](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(96)00236-3)
- Dijkstra, V. (2016). *Bescherming primaire waterkering tegen bevers Meinerswijk* [Mitigatieplan]. Zoogdiervereniging. <https://zoogdiervereniging.nl/sites/default/files/2019-10/2016.06%20Mitigatieplan%20bevers%20Meinerswijk.pdf>
- Dijkstra, V., Popelier, T., & Wesley, O. (2022). *Bever & Das in het dijkverbeteringstraject Cuijk-Ravenstein* (2022.07). Zoogdiervereniging.
https://www.zoogdiervereniging.nl/sites/default/files/2023-04/2022.07_bever_en_das_cuijk_ravenstein_def.pdf
- Dorst, M. van, Linden, J. van der, & Groot, S. (2024). *Risicoanalyse en maatregelen bever en das* (059-23-BWZ). BWZ Ingenieurs.
- Eerden, W. van. (2024). *Stage besprekingen* [Persoonlijke communicatie].
- Esri Nederland. (2023). *AHN3 DTM* [Map].
<https://ahn.maps.arcgis.com/home/item.html?id=9039d4ec38ed444587c46f8689f0435e>
- Evers, W., & Schep, K. (2024, november 19). *Informatie uitwisseling hoogwater bever observaties* [Persoonlijke communicatie].
- Expertise Netwerk Waterveiligheid. (2024). *Water tegen de dijk Het functioneren van waterkeringen tijdens het winterhoogwater 2023/2024* [1.0]. | Expertise Netwerk Waterveiligheid.
<https://www.stowa.nl/nieuws/enw-adviezen-hoogwater-en-graverij-door-bevers>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2011). *An R Companion to Applied Regression*. SAGE.
- GDN. (2025). *Ondergrondgegevens | DINoloket*. <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Graf, P., Mayer, M., Zedrosser, A., Hackländer, K., & Rosell, F. (2016). Territory size and age explain movement patterns in the Eurasian beaver. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2016.07.046>
- Hartig, F., Lohse, L., & leite, M. de S. (2024). *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models* (Versie 0.4.7) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/index.html>
- Herr, J., & Rosell, F. (2004). Use of space and movement patterns in monogamous adult Eurasian beavers (*Castor fiber*). *Journal of Zoology*, 262(3), 257-264.
<https://doi.org/10.1017/S0952836903004606>
- Hokken, M., & Wolfs, M. (2012). *Beverprotocol Waterschap Zuiderzeeland* (Versie 1.1).
- Jones, P., Strickland, B., Demarais, S., McKinley, W., Ernst, J., & Klassen, J. (2019). Seasonal Flooding Effects on Deer in the Mississippi River Batture. *The Journal of Wildlife Management*, 83. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21680>

- Junk, W. J., Brown, M., Campbell, I. C., Finlayson, M., Gopal, B., Ramberg, L., & Warner, B. G. (2006). The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: A synthesis. *Aquatic Sciences*, 68(3), 400-414. <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0856-z>
- Kurstjens, G. (2024, oktober 3). *Telefonisch contact bever* [Persoonlijke communicatie].
- Lee, A. van der. (2020). *Bevertelling Flevoland 2020* (LBF-2020-047; p. 6). landschapsbeheer Flevovland. <https://www.landschapsbeheerflevoland.nl/images/Publicaties/fauna/Rapport-beverburchten-2020-website.pdf>
- Mayer, M. (2017). *Territoriality and life history strategies of the Eurasian beaver* [Doctoral thesis, University College of Southeast Norway]. <https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/handle/11250/2482443>
- Niewold, F. (2007). *Graverij van bevers in rivierdijken in de Gelderse Poort* (Alterra-rapport 1604). Alterra. <https://edepot.wur.nl/34686>
- Niewold, F. (2022). *Monitoring bever* [Notities].
- Pieterse, N., Knoop, J., Nabielek, K., & Tennekkes, J. (2010). *Overstromingsrisicozonering in Nederland* (166). <https://www.pbl.nl/publicaties/overstromingsrisicozonering-in-nederland>
- Potter, R. (2025, april 23). *Toelichting dijken rond Stevensweert* [Persoonlijke communicatie].
- Rijkswaterstaat. (2025). *Waterbeheer—Rijkswaterstaat Waterinfo*. Waterinfo. <https://waterinfo.rws.nl/thema/Waterbeheer>
- Rijkswaterstaat Oost-Nederland. (2023). *Betrekkinglijnen 2022 Rijntakken* [Excel].
- RIVM. (2024). *Boomhoogte in Nederland* [Map]. <https://data.rivm.nl/meta/srv/api/records/3659cae2-29bf-49af-bd8d-737a0bb3dd42>
- Sarabia, L. A., & Ortiz, M. C. (2009). 1.12—Response Surface Methodology. In S. D. Brown, R. Tauler, & B. Walczak (Red.), *Comprehensive Chemometrics* (pp. 345-390). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00083-1>
- Schloerke, B., Cook, D., Larmanange, J., Briatte, F., Marbach, M., Thoen, E., Elberg, A., Toomet, O., Crowley, J., Hofmann, H., & Wickham, H. (2024). *GGally: Extension to 'ggplot2'* (Versie 2.2.1) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/GGally/index.html>
- Smit, A. (2025, april 14). *Toelichting dijken binnen Waterschap Vallei&Veluwe* [Persoonlijke communicatie].
- Tielen, G. (2025). *Verspreidingskaart bevers in Limburg tijdens hoogwater* [Ongepubliceerd]. Van Hall Larenstein.
- Ulevičius, A., Jasiulionis, M., Jakštienė, N., & Žilys, V. (2009). Morphological alteration of land reclamation canals by beavers (*Castor fiber*) in Lithuania. *Estonian Journal of Ecology*, 58(2), 126. <https://doi.org/10.3176/eco.2009.2.06>
- Van Dorst, M., Van der Linden, J., & Groot, S. (2024). *Risicoanalyse en maatregelen bever en das. Rijkswaterstaat kanalen Noord-Brabant en Limburg* (059-23-BWZ; p. 94). BWZ ingenieurs.
- Warmer, F. E. M., Vellekoop, S., Biersteker, L., Duijvendijk, G., & Jansman, H. a. H. (2025). *Monitorings- en preventiebeleid bevers en dassen*. <https://doi.org/10.18174/689758>

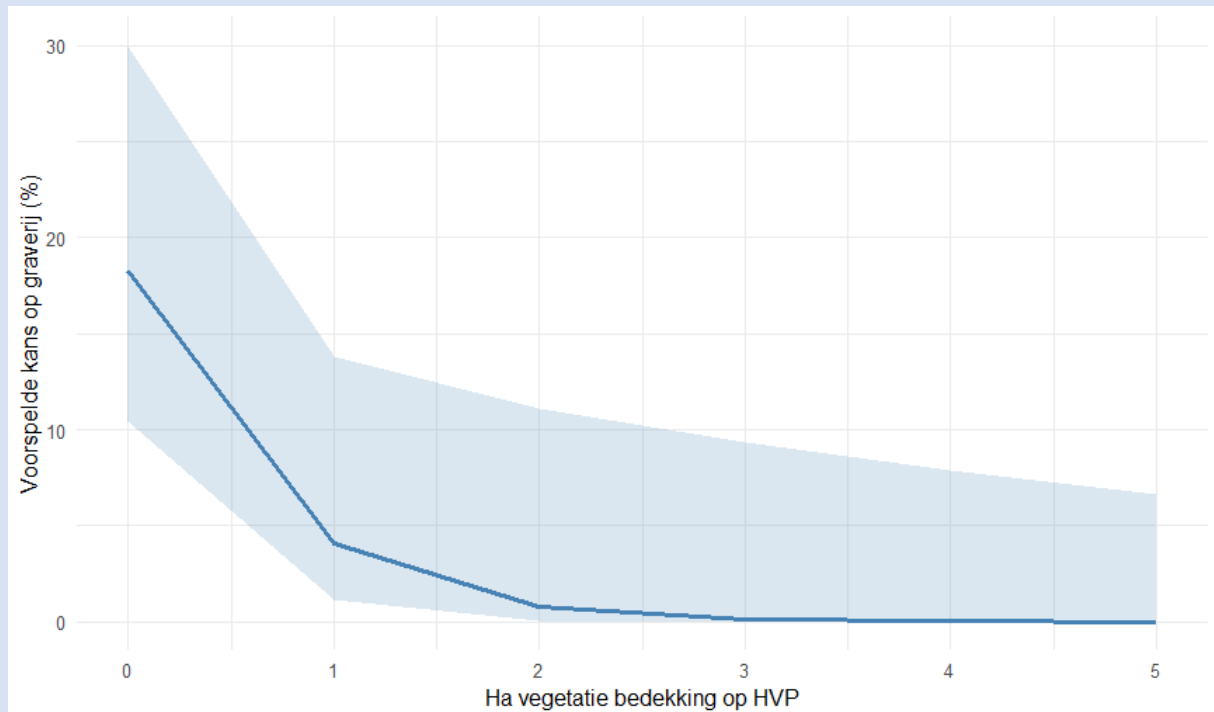
Wolters, R., Schep, K., Dijkstra, V., & Polman, E. (2025). *Bescherm je Dijk! Hoogwatervluchtplaatsen voor bevers* (Handreiking 1.0). https://www.kenniscentrumbever.nl/sites/default/files/2025-04/handreiking_hvps_bevers.pdf

Wuczyński, A., & Jakubiec, Z. (2013). Mortality of game mammals caused by an extreme flooding event in south-western Poland. *Natural Hazards*, 69(1), 85-97. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0687-x>

Yeager, L. E., & Anderson, H. G. (1944). Some Effects of Flooding and Waterfowl Concentration on Mammals of a Refuge Area in Central Illinois. *The American Midland Naturalist*, 31(1), 159-178. <https://doi.org/10.2307/2421388>

Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3-14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>

Bijlage 1:ondersteunende grafieken en tabellen



Figuur 4: De gemiddelde ($\pm$ 95% CI) (marginal means) kans op graverij door bever op de Y-as. Het aantal Ha vegetatie bedekking van de HVP's binnen 500 meter van het dijksegment op de X-as

Tabel 6: Eindmodel van de binaire regressie voor de relatie van HVP's en het aantal burchten met de kans op graverij door bevers in een dijksegment binnen Nederland.

Gebied ID	Variantie 4.13e-09/ SD= <0.001	β^1 (Schatting)	SE	Z-waarde	P-waarde
Intercept		-2.886	0.584	-4.946	<0.001
Vegetatie-oppervlakte (Ha)		-1.648	0.751	-2.194	0.028
Aantal burchten (500m)		0.886	0.272	3.255	0.001

¹Beta zijn gestandaardiseerd. Marginale R^2 waarde van 0.442. Zowel het percentage bomen als de oriëntatie van de kering had geen relatie met de graverij ($p_{boom}=0.194$ en $p_{wind}= >0.13$).

Variabele	Effect op graverij	Categorie	Aantal	Percentage (%)
Samenstelling	X Nee	Zandkern met kleilaag	59	45.0%
		Kleidijk	65	49.6%
		Zanddijk	7	5.3%
Windrichting	X Nee	N	24	18.3%
		NO	12	9.2%
		NW	24	18.3%
		O	21	16.0%
		W	20	15.3%
		Z	18	13.7%
		ZO	6	4.6%
		ZW	6	4.6%
Tijdsduur	X Nee	5 dagen	114	87.0%
		Minder dan 1 dag	17	13.0%

Tabel 7: weergave van de verdeling van de factorvariabele welke meegenomen zijn in het onderzoek

Bijlage 2: lijst met contactpersonen

Addie Kolbach	<i>Waterschap Rivierenland/Muskus en beverratten bestrijder</i>
André Smeets	<i>Waterschap Limburg/ Dijken specialist</i>
Anna Wegner	<i>Waterschap Rijn en IJssel</i>
Anne Kerkhoven	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/Beleidsondersteunend medewerker waterkwantiteit</i>
Anthony Jansen	<i>Hogeschool van Hall Larenstein/student</i>
Arjan Krikke	<i>Waterschap Rivierenland/Hoogwater specialist adviseur crisisbeheersing</i>
Arnout Smit	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/Technisch adviseur waterveiligheid</i>
Bert van de Berg	<i>Waterschap Rivierenland/Muskus en beverratten bestrijder</i>
Carina Otte	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/ Accountmanager TBO's en landgoederen</i>
Daan Bos	<i>Hogeschool van Hall Larenstein/Leraar Wildlife management</i>
Edith Dorsman	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/ Beleidsadviseur ecologie</i>
Emiel Nuus	<i>Hogeschool van Hall Larenstein/student</i>
Ernst van Muiswinkel	<i>Waterschap Rivierenland/ Muskus en beverratten bestrijder</i>
Hans Knotter	<i>Waterschap Rivierenland/Assetbeheerder Waterkeringen</i>
Henry Kuijpers	<i>Hogeschool van Hall Larenstein/Leraar Statistiek</i>
Herman van Burgsteden	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/ Muskus en beverratten bestrijder</i>
Jan Tielen	<i>Waterschap Limburg/Hydroloog</i>
Jan van der Baan	<i>Waterschap Hollandse Delta/ Bever coördinator</i>
Jan van Maastricht	<i>Waterschap Rivierenland/ Muskus en beverratten bestrijder</i>
Jasper Haije	<i>Waterschap Drents Overijsselse Delta/ Muskus en beverratten bestrijder</i>
Johan Merckx	<i>Waterschap Brabantse Delta/Adviseur Onderhouden</i>
Kees Schep	<i>Waterschap Rivierenland/ Bever coördinator</i>
Koen Brummel	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/Muskus en beverratten bestrijder</i>
Lidewij van Disbergen	<i>Zoogdiervereniging/ Project leider</i>
Loek Versluijs	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/ Teamleider Muskus en beverratten bestrijding</i>
Maarten Hoetmer	<i>Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden</i>
Marc Rothengatter	<i>Waterschap Hunze en Aa/ Teamleider Muskus en beverratten bestrijding</i>
Ohran Adolfse	<i>Waterschap Rivierenland/ Muskus en beverratten bestrijder</i>

Paul van Breukelen	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/ Gebiedscoördinator</i>
Reindert Stellingwerff	<i>Rijkswaterstaat/Adviseur waterkeringen</i>
Rien Koeling	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/ Gebiedscoördinator</i>
Rinus Potter	<i>Waterschap Limburg/ Dijken specialist</i>
Ronald Wolters	<i>Waterschap Aa en Maas/Dijkenspecialist</i>
Ruud Smeets	<i>Waterschap Limburg/ Muskus en beverratten bestrijder</i>
Stefan Buitenhuis	<i>Waterschap Vallei en Veluwe/Muskus en beverratten bestrijder</i>
Wiet van Bragt	<i>Waterschap Aa en Maas/beleidsadviseur natuur en recreatie</i>
Wijnand Evers	<i>Waterschap Drents Overijsselse Delta/ Dijk inspecteur</i>
Wiljo van Eerden	<i>Waterschap Limburg/ Bever specialist</i>