



Dijken scherp: hoe gevoelig is het voor beverwerk?

*Kansenkaarten voor primaire en regionale waterkeringen van
Waterschap Rivierenland.*

Anthony Jansen

Titelblad

Type:	Een afstudeerproject in het kader van de Bachelor of Science Diermanagement, major Wildlife management LDM430VNAO4 Graduation Project 2 2024-2025 TO AP2-IN
Titel:	<i>Dijken scherp: hoe gevoelig is het voor beverwerk?</i>
Auteur:	Anthony Jansen anthonyjansen114@gmail.com
Studentnummer:	000028927
Status	Eindrapport
Opleiding:	Diermanagement
Beroepsrol en leeruitkomst:	Adviseur, leeruitkomst 4: Ecologisch advies voor soortbescherming, ruimtelijke ontwikkeling en activiteiten
Opdrachtgever:	Waterschap Rivierenland in samenwerking met Hogeschool Zeeland
Begeleider Waterschap Rivierenland:	Hans Knotter h.knotter@wsrl.nl
Datum:	27 juni 2025
Foto's:	Anthony Jansen Omslag en achterkant: Reparatie bevergraverij Waalbanddijk in de buurt van Dodewaard
Trefwoorden:	Bever, Graverij, Dijk, Risicoanalyse

Voorwoord

Het voorliggende adviesrapport is voortgekomen uit de afstudeerstage voor de opleiding Diermanagement aan Hogeschool Van Hall Larenstein in Leeuwarden. Van februari tot juli 2025 ben ik voor Waterschap Rivierenland bezig geweest met het thema bevergraverij in waterkeringen.

Ik kijk terug op een leerzame periode bij Waterschap Rivierenland. Voor twintig weken heb ik mij bevonden in een inspirerende omgeving waarin ik veel heb geleerd over verschillende aspecten van het werkveld.

Als eerste wil ik Hans Knotter bedanken voor de hulp gedurende mijn stageperiode. Doordat u mij liet kennismaken met de wereld van waterschappers, heb ik veel kunnen leren in het laatste halfjaar van mijn opleiding.

Danny Janssen wil ik bedanken voor de wekelijkse reflectie en voortgangsgesprekken over het project. Ik hoop met dit rapport een goede bijdrage te hebben geleverd aan het RAAK-project 'Dieren in de dijk' en ik wens u veel succes met het vervolg. Ik ben benieuwd naar de uiteindelijke resultaten van het project.

Daan Bos en Kees Schep wil ik bedanken voor het delen van hun kennis over bevers en onderzoek. Bedankt voor het meedenken en feedback geven.

Ter afsluiting wil ik iedereen bedanken die een bijdrage heeft geleverd aan dit afstudeerproject.

Anthony Jansen
Tiel, 27 juni 2025

Inhoud

Samenvatting	5
Abstract	5
1. Introductie	6
2. Onderzoeksgebied en -populatie	9
3. Materiaal en methode	10
3.1. Kansenskaart	10
3.2. Verklarende factoren graverij	11
3.3. Statistisch model	14
4. Resultaten	15
4.1. GIS-Analyse: kansenskaart bevergraverij in waterkeringen	15
4.2. Generalized additive model (GAM)	16
5. Discussie	18
6. Conclusie en aanbevelingen	20
Literatuur	22
Bijlage I. Metadata tabel kanskaart koude fase	26
Bijlage II. Metadata tabel kanskaart warme fase	27
Bijlage III. GIS modelbuilder flowchart kansenskaart koude fase	28
Bijlage IV. GIS modelbuilder flowchart kansenskaart warme fase	31
Bijlage V. Arcpy script lijn splitsen in segmenten	34
Bijlage VI. Arcpy script random lijnsegmenten selecteren voor controlesecties	35
Bijlage VII. Modelbuilder kansenskaart koude fase	36
Bijlage VIII. Kansenskaart koude fase	37
Bijlage IX. Modelbuilder warme fase	38
Bijlage X. Kansenskaart warme fase	39
Bijlage XI. Modeldiagnostiek	40

Samenvatting

Bevers (*Castor fiber*) zijn in de afgelopen jaren sterk in aantal toegenomen in Nederland en conflicten tussen mens-dier belangen komt steeds vaker voor. Met name waterschappen ervaren schade aan waterkeringen door het natuurlijke graafgedrag van het dier. Deze studie heeft als doel om een kanskaart te maken voor normale en hoge waterstanden en het zoeken van verklarende factoren voor bevergraverij in waterkeringen. De kanskaarten zijn opgesteld met twee criteria op basis van expert judgment, te weten de afstand dijk-water en de aanwezigheid van antigraafvoorzieningen. Via GIS is de ruimtelijke data voor de analyse verkregen. Het tweede onderdeel van het onderzoek vergeleek omgevingsfactoren tussen bevergraverijsecties en controlesecties. Met een generalized linear model (GAM) zijn de criteria en andere verklarende factoren geanalyseerd. De kanskaarten staan in bijlage VIII en IX. Er is een significant verschil tussen de verschillende kleurcategoriën in de kanskaart en het voorkomen van bevergraverij ($\chi^2 = 82.1$, $df\ 2$, $p < 0.001$). Het GAM heeft een nauwkeurigheid van 83% in het voorspellen van wel of geen bevergraverij in een sectie. Onze resultaten laten zien dat bij een kleinere water-dijk afstand de kans op bevergraverij significant hoger wordt ($p < 0.001$). Bij een toename van gebouwen neemt de kans op bevergraverij significant af ($p = 0.003$). De 30 meter afstand die in de literatuur wordt geadviseerd en die Waterschap Rivierenland hanteert in de risicoanalyse blijkt uit de statistische analyse een passende vuistregel, waarbuiten graverij vrijwel niet meer op zal treden bij normale waterstanden. De bevindingen van dit onderzoek kunnen worden gebruikt voor het opstellen van een beverrisicokaart waarin de 'kans graverij', 'kans optreden faalmechanismen' en gevolgen samen een beeld geven van de risicogebieden binnen het waterschap.

Abstract

In recent years the population beavers (*Castor fiber*) have greatly increased in the Netherlands, which results in more frequent conflicts between human and animal interests. Water boards in particular experience damage to earthen levees due to the natural digging behavior of the animal. The purpose of this study is to create a beaver burrowing risk map for normal and high water levels and to search for explanatory factors of beaver excavation in levees. The risk map was created using two criteria based on expert judgment: levee-water distance and the presence of anti-burrowing facilities. Through GIS, spatial data for the analyses were obtained. The second part of the research compared environmental factors between beaver excavation sections and control sections. The criteria and environmental factors were analyzed using a generalized linear model (GAM). The beaver burrowing risk maps can be found in Appendix VIII and IX. Our results showed a significant difference between the different categories in the opportunity map and the occurrence of beaver excavation ($\chi^2 = 82.1$, $df\ 2$, $p < 0.001$). The GAM has an accuracy of 83% in predicting whether or not beaver excavation occurs in a section. Our results show that with a smaller water-levee distance, the probability of beaver excavation becomes significantly higher ($p < 0.001$). With an increase in buildings, the probability of beaver digging decreases significantly ($p = 0.003$). The 30 meter distance advised in the literature and used by the Rivierenland Water Board in the risk analysis appears from the statistical analysis to be an appropriate rule of thumb, beyond which burrowing activity is unlikely to occur under normal water levels. The findings of this study can support the development of a beaver risk map, combining the 'probability of burrowing', 'probability of levee failure' and the potential consequences, to identify risk areas within water management agencies.

1. Introductie

Mens-dier conflict is een wereldwijd groeiend probleem voor de overleving van beschermde diersoorten en daarbij in het bijzonder voor grotere zoogdieren (Distefano, 2005). Botsing tussen mensen en dieren ontstaan op het moment dat de aanwezigheid of gedrag van wilde dieren een terugkerende bedreiging vormt voor menselijke belangen of behoeften. De bedreiging leidt tot meningsverschillen tussen groepen mensen en negatieve gevolgen voor mensen en/of wilde dieren (IUCN SSH, z.d.). Hierbij wordt het menselijke welzijn, de gezondheid en veiligheid ondermijnt, daarnaast gaan er economische- en sociale kosten gepaard met het mens-dier conflict (Distefano, 2005). In Europa raken grotere zoogdieren ook in conflict met mensen, waarbij in sommige gevallen beschermde dieren illegaal worden gedood (Distefano, 2005; Geelen, 2025).

Een urgent mens-dier conflict in Nederland is de toenemende dierlijke graverijen in de infrastructuur (Van den Berg, 2022). Voornamelijk Waterschappen en ProRail ervaren schade aan waterkeringen en spoorwegen veroorzaakt door dierlijke graverij (STOWA, 2025). Door de huidige populatiegroei van bevers, worden met name deze dieren gezien als problematische gravers in waterkeringen (Van den Berg, 2022). Het graafgedrag van de bever heeft een hoge impact op de sterkte van een waterkering (Koelewijn et al., 2020). Bijkomende problematiek voor de waterschappen is dat de veiligheid van waterkeringen moeilijk is in te schatten. Het is voor inspecteurs lastig om beverholen te vinden omdat de ingang zich onder het water bevindt (Van den Berg & Noyons, 2024). Naar aanleiding van het beverrisico is er in 2021 een brandbrief gestuurd naar het dagelijks bestuur van Waterschap Rivierenland (Dijkbeheer B&O, oktober 2021). Landelijk is er in 2024 een adviesbrief omtrent invloed van bevergraverij op de waterveiligheid gestuurd naar het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (expertise netwerk waterveiligheid, 2024).

Europese bever

De Europese bever (*Castor fiber*) was in de 19^{de} eeuw uitgestorven in Nederland als gevolg van overbejaging door mensen. In 1988 werd het dier geherintroduceerd in de Biesbosch (Sluiter, 2004). Tegenwoordig zijn er naar schatting tussen de 5000-6000 volwassen individuen verspreid door Nederland (Seljee et al., 2023), alhoewel er schattingen zijn met hogere aantallen (Schip, 2025). Bevers staan bekend als 'ecosysteem engineers' omdat ze door hun geknaag aan bomen en bouwen van dammen gebieden hydrologisch, geomorfologisch en ecologisch veranderen. Hierdoor ontstaan nieuwe biotopen en niches waar andere soorten gebruik van maken (Brazier et al., 2021). Bevers graven holen en bouwen burchten om schuilplekken te creëren. Holen hebben diameters van 90 centimeter en lengtes van enkele meters tot een paar decameter (K. Schip, persoonlijke communicatie, 6 februari 2025; Ulevičius et al., 2009). De bever is beschermd onder de Europese habitatrichtlijn bijlage II. en IV. Dit betekent dat Nederland beschermde gebieden moet aanwijzen en beschermingsmaatregelen moet treffen voor de bever en hun voortplantings- en rustplaatsen (The Habitats Directive, 1992). De habitatrichtlijnsoorten zijn opgenomen in de omgevingswet Artikel 5.2. lid 2. Hier staat dat het is verboden om zonder omgevingsvergunning flora en fauna activiteit te verrichten. Zo mogen de dieren niet opzettelijk worden verstoord, gevangen of gedood (Omgevingswet, 2024).

Water is vereist voor de leefomgeving van bevers. De voorkeur voor waterdiepte ligt op minimaal 50 centimeter. Hierdoor kan de ingang van het hol onder het wateroppervlak worden gegraven (Van den Berg & Noyons, 2024). Andere belangrijke kenmerken zijn smallere rivierbreedtes (ongeveer 15 meter), begaanbare oeverhellingen en zachte oeversubstraten, waarbij zand en rietveldmoeras oevers worden

vermeden (Pinto et al., 2009). De leefomgeving dient een hoge beschikbaarheid van houtige oevervegetatie te hebben met een bedekking gedomineerd door loofbomen (Pinto et al., 2009; Zwolicki et al., 2019). Bevers vermijden liever gebieden met veel menselijke invloed (Zwolicki et al., 2019). Alhoewel bevers zich meer generalistisch gaan gedragen naarmate kernleefgebieden schaars raken (Graham et al., 2020; Vorel et al., 2015). Bij gebrek aan loofbomen wordt naaldbos ook als habitat gebruikt (Rosell & Campbell-Palmer, 2022).

Waterkeringen

Waterkeringen zijn natuurlijke of aangelegde structuren die Nederland beschermen tegen water. Er zijn verschillende typen waterkeringen waaronder (Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.):

- Primaire waterkeringen, die het land beschermen tegen buitenwater uit de zee en grote rivieren.
- Regionale waterkeringen, die het land beschermen tegen binnenwater uit meren, kanalen en kleine rivieren.

Bevers graven in het dijktaalud van waterkeringen die zijn gemaakt van natuurlijke materialen (Tsimopoulou, 2023). Door de graverij kunnen problemen ontstaan in de waterkering waardoor die bezwijkt, dit wordt faalmechanismen genoemd (Koelewijn et al., 2020; Van den Berg, 2022). Het ontstaan van faalmechanismen vormt een risico voor de openbare veiligheid (Waterschap Vallei en Veluwe et al., 2020).

Maatregelen voor beverbeheer

Het risico dat faalmechanismen optreden bij waterkeringen door dierlijke graverij kan worden verkleind door preventiemaatregelen waaronder (expertise netwerk waterveiligheid, 2024):

- Inspecties uitvoeren en repareren van bevergraverij in waterkeringen.
- Antigraverijvoorzieningen.
- Herinrichting van het landschap.
- Zones instellen waar bevers niet zijn toegestaan.
- Alternatieve burcht/hol aanbieden.

De Nationale beveraankpak van Stam et al (In voorbereiding) gaat verder in op dergelijke beheer- en ontwerpmaatregelen. Er wordt in het rapport een onderscheid gemaakt tussen sturende gebiedsinrichting (o.a. watergangen verleggen, talud/oever verflauwen, begroeiing verwijderen), ontwerpmaatregelen normale omstandigheden (antigraverijvoorzieningen: o.a. verticaal gaas, damwand en steenbestorting), ontwerpmaatregelen hoogwatersituatie (hoogwatervluchtplaatsen) en tijdelijke maatregelen (o.a. bever-kerend raster). Dergelijke maatregelen zijn ook goed beschreven in *Kenniscentrum Bever* (z.d.), Niewold & Müskens (2000) en Schwab (2014)

Zowel het expertise netwerk waterveiligheid (2024) en Stam et al. (In voorbereiding) raden aan dat alle beheerders van waterkeringen kwetsbare en niet-kwetsbare gebieden in kaart brengen, door een risicoanalyse graafschade waterkeringen. Het advies van Kuiphof (2025) is om in een dergelijke risicoanalyse vier kans criteria op te nemen, dit zijn:

- Habitatgeschiktheid.
- Kwetsbaarheid graverij op grond afstand tot water met een normale waterstand.

- Kwetsbaarheid graverij op grond afstand tot water met een hoge waterstand.
- Kwetsbaarheid voor graverij op grond aard van de kering.

het rapport van Van de Wouw (2023) en Kuiphof (2025) wordt aanbevolen om informatie over antigraverijvoorzieningen mee te nemen als criterium in de aard van de waterkering, omdat het bevergraverij verhindert.

Koude en warme fase

De koude fase, ook wel normale situatie, betekent dat de waterstand ‘normaal’ of laag is. In de warme fase wordt er gesproken over een hoge waterstand. Niet alle waterkeringen zijn permanent waterkerend. In de koude fase staat bij veel primaire waterkeringen het water verder weg van de kering. Door de grotere afstand tussen het water loopt de kering minder risico op bevergraverij (Dijkbeheer B&O, 31 oktober 2021). Het risico op bevergraverij wordt groter tijdens de warme fase. Het hoge water zorgt ervoor dat meer waterkeringen zwemmend bereikbaar zijn voor de bever. Het vormt ook een veilige plek omdat een waterkering soms het eerste hoge en droge landschapselement is wat bevers tegenkomen (Dijkbeheer B&O, 31 oktober 2021). Daarom wordt tijdens de warme fase meer beverschade geconstateerd in waterkeringen (Van den Berg & Noyons, 2024).

Waterschap Rivierenland

In deze studie concentreren we ons op de primaire en regionale waterkeringen binnen de grenzen van Waterschap Rivierenland. Het waterschap zet zich onder andere in voor de bescherming van miljoenen mensen tegen overstroming door middel van dijken.

Kennislacunes en doelstelling

Het hoofdprobleem is dat er geen overzicht is van risico's voor de veiligheid in relatie tot graverij door bevers. Risico's worden hier gedefinieerd als een product van de “kans op graverij”, de “kans optreden van faalmechanismen door graverij” en de “gevolgen van dijkdoorbraken door graverij”. Onderdeel van het probleem is dat er geen eenduidige en gevalideerde methodologie is om tot een inschatting van kansen op graverij in waterkeringen te komen. Vooral tijdens hoogwater lijkt het graafgedrag van de bever willekeurig (expertise netwerk waterveiligheid, 2024).

Het doel van het onderzoek is om de kans op bevergraverij in primaire en regionale waterkeringen te visualiseren in een kaart. Om de kaart op te kunnen stellen wordt aangesloten bij een bestaande methodologie op basis van expert judgment. Aannames worden gedaan over de relaties tussen kans op graverij (in meerdere klasse), afstand tot water koude fase, afstand tot water warme fase en aanwezigheid antigraverijvoorzieningen, analoog aan bronnen in Kuiphof (2025). Een nevendoeel van de studie is om statistisch te analyseren in hoeverre deze aannames kunnen worden gevalideerd en welke overige factoren de kans op bevergraverij beïnvloeden. Dit heeft als achterliggend doel om de kansenkaart in een latere fase (indien nodig) te kunnen verbeteren.

Het project is onderdeel van het onderzoek ‘Dieren in de dijk’ van Hogeschool Zeeland die samen met andere waterschappen en betrokken partijen, dijkbeheerders willen helpen om dierlijke graverij in waterkeringen effectief te beheren. Landelijk draagt kennis over belangrijke omgevingsfactoren bij aan een beter bever management plan. Voor Waterschap Rivierenland is een overzicht van kansen op bevergraverij een puzzelstuk naar verbeterd preventiebeleid.

2. Onderzoeksgebied en -populatie

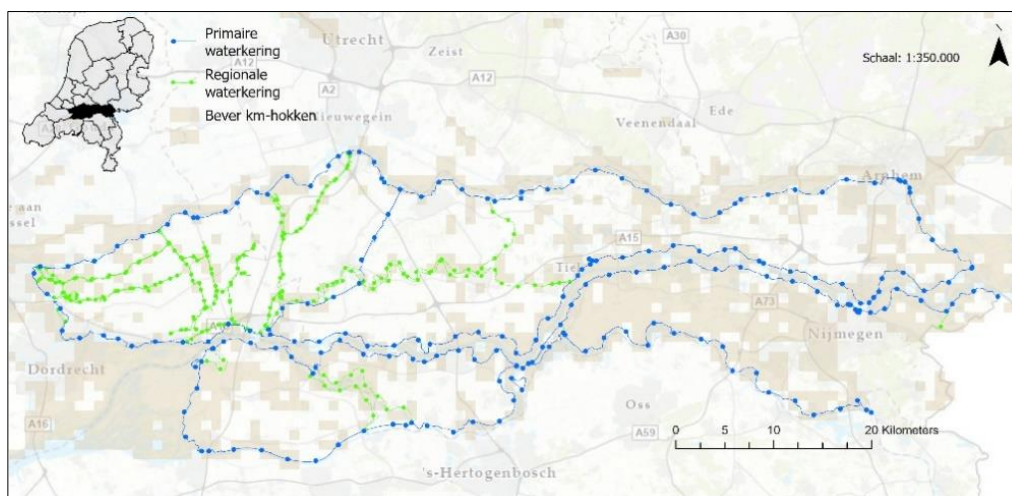
Het onderzoeksgebied valt binnen de grenzen van Waterschap Rivierenland en beslaat vier provincies: Gelderland, Zuid-Holland, Utrecht en Noord-Brabant (totale oppervlakte 2.100 km²). Het gebied ligt tussen twee grote rivieren; aan de noordkant stroomt rivier Neder-Rijn/Lek en aan de zuidkant de Maas met daartussen de Waal (figuur 1).

In totaal beheert en onderhoudt Waterschap Rivierenland ruim 1.000 kilometer aan dijken en kades waaronder 504 kilometer primaire en 363 kilometer regionale waterkeringen (Waterschap Rivierenland, 2019; Waterschap Rivierenland, 2025). De primaire waterkeringen liggen langs de grote rivieren: Waal, Maas en Neder-Rijn/Lek. De regionale waterkeringen liggen langs kleinere wateren (Waterschap Rivierenland, 2025b). Langs alle waterkeringen wordt geïnspecteerd door muskusrattenvangers en dijkbeheerders op dierlijke graverij. De frequentie is afhankelijk van de huidige inspectiekaart.

Tussen de rivier en primaire waterkeringen kan een uiterwaard liggen. De belangrijkste taak van een uiterwaard is bij hoogwater de afvoer en berging van water. Uiterwaarden kunnen een belangrijke ecologische waarde hebben (Waterschap Rivierenland, 2019b). Langs de waterkeringen liggen wielen. Dit zijn waterplassen die ontstaan door dijkdoorbraken. De plassen voegen extra ecologische waarde toe aan het landschap, de bever gebruikt het o.a. als leefgebied (Waterschap Rivierenland, 2024b).

De preventiemaatregelen voor graverij die Waterschap Rivierenland toepast zijn inspecties en reparaties uitvoeren, antigraverijvoorzieningen aanbrengen en herinrichten van het landschap o.a. door het verwijderen van vegetatie (W. Cornelisse, persoonlijke communicatie, 28 mei 2025; H. Knotter, persoonlijke communicatie, 17 februari 2025).

Een deel van het werkgebied van Waterschap Rivierenland overlapt met natuurgebied de Biesbosch waar in 1988 voor het eerst bevers werden geïntroduceerd in Nederland (Sluiter, 2004; Struik, 2022). Inmiddels wordt geschat dat er 2000 bevers in het gebied van Waterschap Rivierenland leven (Waterschap Rivierenland, 2024a). Bevers leven voornamelijk in de uiterwaarden van het rivierengebied, vaak zonder problemen (Waterschap Rivierenland, 2024c).



Figuur 1. Onderzoeksgebied voor het onderzoek bevergraverij in primaire en regionale waterkeringen van Waterschap Rivierenland. Bever km-hokken= beveractiviteit weergegeven in kilometer hokken. Data in de kaart: Waterschap Rivierenland.

3. Materiaal en methode

Om de kaart op te kunnen stellen wordt aangesloten bij een bestaande methodologie van Waterschap Rivierenland op basis van expert judgment (K. Schep, persoonlijke communicatie, 26 maart 2025). Vervolgens worden de daarbij gemaakte aannames gevalideerd. In paragraaf 3.1. wordt uitgelegd hoe de kanskaart is gemaakt. In paragraaf 3.2. wordt het validatieproces beschreven.

3.1. Kanskaart

Expertise netwerk waterveiligheid (2024) en Kuiphof (2025) raden aan om in een kans analyse bij de criteria afstand kering tot water een onderscheid te maken tussen de koude en warme fase. Dit, omdat bevergraverij sterk wordt beïnvloed door deze variabelen. Er zijn daarom twee kanskaarten gemaakt, één voor de koude fase (normale waterstand) en één voor de warme fase (hoge waterstand). De kanskaart werd opgesteld doormiddel van twee criteria in Geografisch Informatie Systeem (GIS) met behulp van ArcGIS Pro (versie 3.4) met coördinatiesysteem RD New (EPSG 28992).

Voor de analyse werden twee criteria meegenomen op basis van expert judgment:

1. *Afstand water <30 meter.*
2. *Aanwezigheid antigraafvoorzieningen.*

Voor de koude fase is de referentielijn 'waterstaatswerk' uit database werkingsgebied vastgesteld van Waterschap Rivierenland gebruikt voor de waterkeringen. Er is een lijn voor het binnen- en buitentalud, die op vier meter afstand van de teen is gelegen. Idealiter zouden de teenlijnen van de waterkeringen gebruikt zijn. Echter was er geen complete dataset die deze lijnen accuraat kon weergeven.

Het model voor de warme fase gebruikt de referentielijn voor de waterkering zoals die staat in het waterkering beheerregister. Er is geen gebruik gemaakt van de teenlijn of waterstaatswerk omdat hoogwater tegen het talud van de dijk staat. Voor de warme fase is één referentielijn genoeg, immers veranderd de waterstand alleen aan de kant van de grote rivieren. Niet alle waterkeringen worden geanalyseerd maar alleen waterkeringen die langs de rivieren liggen en waarvan overstromingsdata beschikbaar was.

De waterkeringen werden met behulp ArcPy (versie 3.11.10) opgedeeld in secties van tien meter, zodat per tien meter kon worden gekeken of aan de criteria werd voldeed voldaan. De lengte is een arbitrair gekozen compromis tussen precisie en toepasbaarheid. Script voor het verdelen van de lijnen is te vinden in bijlage VI. De metadata van de analyse is te vinden in bijlage I en II. Stappenplannen zijn te vinden in bijlage III en IV. De modelbuilder, data en resultaten worden met Waterschap Rivierenland gedeeld via een project package in ArcGIS Pro. In de projectpackage is het model ook als python code beschikbaar.

Criterium afstand water <30 m

Voor de ligging van water tijdens de koude fase is gebruik gemaakt van waterelementen uit de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT). De gegevens geven een gedetailleerd beeld over de waterelementen die bevers gebruiken (Seljee et al., 2023). Doordat de gebruikte referentielijn vier meter van de teenlijn ligt werden de secties 26 meter gebufferd om te kijken of er binnen 30 meter van de teenlijn water bevond.

Voor de warme fase is inundatiedata (overstromingsdata) verkregen van Rijkswaterstaat. In het proces is de keuze gemaakt om een hoogwaterstand te nemen met een herhalingstijd van 25 jaar voor het Pannerdensch Kanaal, Waal, Neder-rijn en Lek. Dit betekent een waterstand van 16 meter boven N.A.P. en een afvoer van 10544 m³/s bij Lobith. Bij gebrek aan overstromingsdata met een gelijke herhalingstijd is voor de Maas een herhalingstijd van 17 jaar gekozen. Bij Bergharen-dorp is de waterstand dan 44,40 meter boven N.A.P. en een afvoer van 2500 m³/s. Deze herhalingstijden zijn bepaald o.b.v. expert judgment in overleg met Waterschap Rivierenland.

Criterion aanwezigheid antigraafvoorzieningen

In het onderzoek onderscheiden we antigraafvoorzieningen die effectief zijn tijdens de koude en/of warme fase. In overleg met dijkbeheerders en experts van Waterschap Rivierenland is bepaald welke antigraafvoorzieningen worden meegenomen in de analyse en in welke fase de antigraafvoorziening effectief is (tabel 1).

Tabel 1. Antigraafvoorzieningen die in de beverkanse analyse zijn gebruikt voor de verschillende fase's. Ja= in de analyse meegenomen, nee= niet in de analyse meegenomen.

	<i>Bevergaas</i>	<i>Wandconstructie</i>	<i>Harde bekleding: beton</i>	<i>Harde bekleding: asfalt</i>	<i>Harde bekleding: steen</i>	<i>Harde bekleding: losgestort steen</i>
<i>Koude fase</i>	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Ja
<i>Warme fase</i>	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee

Schaalverdeling

De kanskaart heeft een schaalverdeling: klein, middelmatig en groot. De criteria zijn als volgt:

- Groen: De kans op graverij is klein wanneer de afstand tussen de waterkering en de watergang >30 m is.
- Oranje: De kans is middelmatig wanneer de afstand tussen de waterkering en de watergang <30 m is en antigraverijvoorzieningen aanwezig zijn in de waterkering.
- Rood: De kans is groot wanneer de afstand tussen de waterkering en de watergang <30 m is en er geen antigraverijvoorzieningen aanwezig zijn in de waterkering.

3.2. Verklarende factoren graverij

Als vervolg op de kanskaart primaire waterkering koude fase worden de factoren gevalideerd en onderzocht of er ook andere verklarende factoren zijn die bevergraverij beïnvloeden. De toegepaste proefopzet is vergelijkbaar met het onderzoek van Compton et al. (2002) en Meisingset et al. (2014). Er werd informatie verzameld over zowel de graafschade als de lokale condities van de waterkering. Deze paragraaf gaat in op de verzamelde gegevens per type data.

Bevergraverij en controlesecties

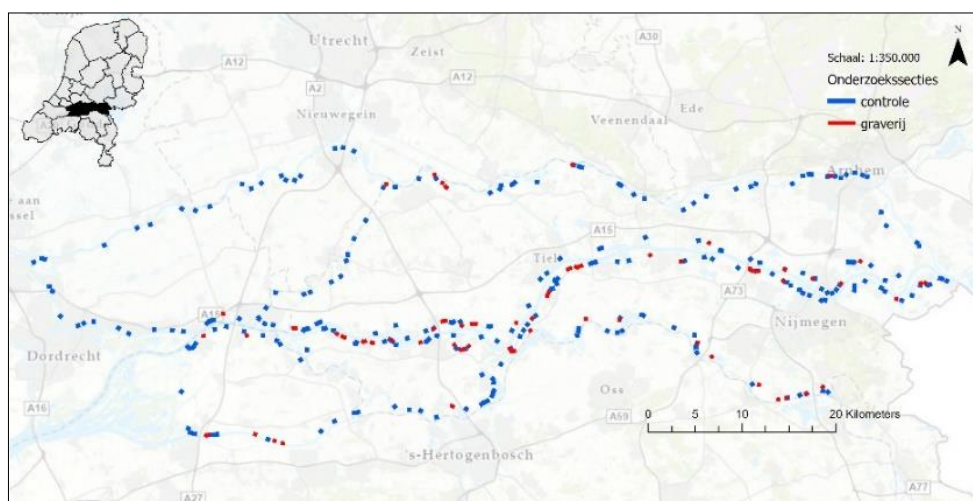
De data over bevers en beversporen is verkregen van Waterschap Rivierenland en verzameld door dijkbeheerders, muskusrattenvangers en de bevercoördinator tijdens inspecties op beverschade aan primaire waterkeringen. Inspecties op of langs de waterkering vindt meerdere keren per jaar plaats. Bij de waarneming wordt de datum en locatie gemeld, eventueel worden opmerkingen toegevoegd. Er

kan vanuit worden gegaan dat de beverholen minstens 1,5 m diep zijn (K. Schep, persoonlijke communicatie, 26 maart 2025).

De analyse wordt beperkt tot primaire waterkeringen tijdens de koude fase omdat hiervan de meeste data beschikbaar was. In totaal bestond de dataset uit ongeveer 2396 gevonden bevergraverijen gevonden in de periode 2019-2025. Dit klopt niet helemaal omdat er ook graverijen tussen zitten van dassen. Er zijn 144 gevallen van graverij geconstateerd in waterkeringen. Daarvan zijn er 6 gegraven door dassen, 15 door bevers tijdens hoogwater in primaire waterkeringen, en ongeveer 10 door bevers in regionale waterkeringen (0,014 graverijen/km dijk). Er blijven daarna nog 115 bevergraverijen over die zijn gegraven tijdens een normale waterstand in primaire waterkeringen (0,04 graverijen/km onderzochte sectie). Sommige gevallen van graverij liggen dicht bij elkaar en omwille van ruimtelijke onafhankelijkheid zijn 38 gevallen van graverij niet meegenomen in de analyse. Er blijven uiteindelijk 77 bevergraverijen over in primaire waterkeringen, tijdens de koude fase die minimaal honderd meter uit elkaar liggen (dit is 53% van alle bevergraverijen die in waterkeringen zijn gevonden). De analyse berust vervolgens op een vergelijking van omstandigheden tussen secties waterkering waarin graverij door bever is geconstateerd met controlesecties, waarin dat niet het geval was.

De koude fase kaart met 10-meter secties (zie 3.1) wordt gebruikt om bevergraverij en controlesecties te identificeren. De laag vertegenwoordigt zowel de binnen- als de buitenteen van de waterkering. In totaal zijn er 102.734 secties van 10 meter. Met een spatial join zijn de 77 bevergraverij punten gekoppeld aan de dichtstbijzijnde sectie. Er worden 250 random controlesecties geselecteerd die minimaal honderd meter uit elkaar liggen. Hier wordt gebruik gemaakt van de ingebouwde random module in Python (bijlage VI). Controlesecties binnen een afstand van 100 meter bij een bevergraverijsectie worden verwijderd. Uiteindelijk blijven er 247 controlesecties over. In de dataset werden bevergraverijsecties een 1 en controlesecties een 0, alle overige secties zijn verwijderd. De secties liggen verspreid over de waterkeringen van Waterschap Rivierenland (figuur 2).

Om rekening te houden met ruimtelijke onafhankelijkheid werd een random factor toegevoegd. De waterkeringen zijn opgedeeld in vijf groepen o.b.v. de rivier waar de secties aan liggen. Secties aan dezelfde rivier vormen een groep. Gemiddeld zitten er 64,8 secties in een groep (SD= 33.5).



Figuur 2. Onderzoekssecties voor het onderzoek bevergraverij in primaire waterkeringen.

Afstand tot water

Voor het meten van de afstand tot het water zijn waterelementen van basisregistratie topografie gebruikt. De data is identiek aan de waterelementen in het model van de koude fase (zie 3.1). In ArcGIS is met de Near-tool de afstand tot het dichtstbijzijnde waterelement gemeten.

Antigraverijvoorzieningen

Voor het criterium aanwezigheid antigraverijvoorzieningen wordt data gebruikt van Waterschap Rivierenland. De dataset geeft informatie over de aanwezigheid van damwanden, harde bekleding en bevergaas. De data is identiek aan de antigraverijvoorzieningen gebruikt in het koude fase model (zie 3.1).

Geschiktheid leefgebied

In dit onderzoek wordt de geschiktheid van het leefgebied voor bevers bepaald aan de hand van het bedekkingspercentage houtige vegetatie in een straal van honderd meter om een sectie (%). In het onderzoek van Nuus (2025) is deze methode al reeds gebruikt met inputdata van LGN2023. In dit onderzoek proberen we de methode te verfijnen door andere inputdata te gebruiken. Hiervoor werd Small woody features (SWF) en Top10NL data laag 'terrein' gebruikt. SWF is een 5x5 meter rasterdataset met lineaire en fragmentarische houtige vegetatie (Copernicus Land Monitoring Service, 2023). Alhoewel het gaat om bomen, struiken en struweel gaat de dataset niet in detail over specifieke soort houtige vegetatie. Top10NL 'terrein' is een data laag van Basisregistratie Topografie (BGT) die beschikt over landgebruik. De data heeft een schaalniveau van 1:5000 en het wordt jaarlijks geactualiseerd (Basisregistratie Topografie, 2025). Types landgebruik die zijn gebruikt voor de houtige vegetatie zijn: bos: gemengd bos, bos: griend, bos: loofbos en populieren (Seljee et al., 2023).

Een buffer van twintig meter om het water extract de houtige vegetatie uit de samengevoegde SWF en Top10NL laag. Dit is het gebied wat de bever voornamelijk gebruikt om te foerageren (Schwab, 2014). Binnen een buffer van honderd meter om een sectie is het bedekkingspercentage uitgerekend. De intersect tool in ArcGIS Pro is gebruikt voor het aantal m² overlapping per buffer.

Gebouwen en wegen

De datalagen 'gebouw' en 'wegdeel' uit de Basisregistratie Topografie (2025) zijn gebruikt als inputdata voor twee onafhankelijke variabelen afstand tot de weg ('afstand weg, m) en bedekkingspercentage met gebouwen (%). De datalagen komen uit dezelfde dataset als de bovengenoemde 'terrein' van Basisregistratie Topografie.

Voor gebouwen wordt het bedekkingspercentage uitgerekend in een straal van honderd meter om een sectie. Het bufferen van de sectie en het uitrekenen van dekkingspercentages is identiek aan de methode die is gebruikt voor houtige vegetatie.

Voor de variabele wegen wordt de afstand van een controle- of bevergraverijsectie tot de dichtstbijzijnde weg gemeten met de Near-tool in ArcGIS Pro. Alle primaire waterkeringen hebben wegen op de dijk liggen. Toch nemen we deze variabele mee om te kijken wat de afstand tot de weg is. De variabele zou aan de hand daarvan kunnen verklaren of er in bredere of smallere dijken wordt gegraven.

3.3. Statistisch model

Om te toetsen of er significant verband bestaat in het voorkomen van graverij tijdens de koude fase in de primaire waterkering is een Pearson's chi-kwadraattoets uitgevoerd. Met de toets is gekeken of er een significant verschil zat in het voorkomen van graverij frequenties in de verschillende categorieën (groen, oranje en rood). De analyse is gedaan in R (versie 4.5.0).

Aan de hand van het protocol van Zuur et al. (2010) werd een dataexploratie gedaan. Outliers werden gedetecteerd met boxplots. Voor verdere analyse zijn drie outliers verwijderd uit de dataset omdat het de modelresultaten verstoortte. Een bevergraverijsectie is verwijderd omdat de afstand tot het water 200 meter bedroeg. Het is onaannemelijk dat dit punt tijdens de koude fase in een primaire waterkering is gegraven. Eén outlier van 'bedekkingspercentage gebouwen' en 'afstand weg' is verwijderd omdat het een aanzienlijke grotere waarde had, wat resulteerde in een 'black box effect'. Schaalvariabelen werden met Pearson correlatiematrix getest op onderlinge correlaties. Tussen de groepvariabelen waren geen correlaties ($r^2 = > -0.7$ maar < 0.7).

In R (versie 4.5.0.) is met de 'mgcv' package (Wood, 2025) een binomial generalized linear model (GAM) als eindmodel gebruikt om de invloed van omgevingsfactoren te kwantificeren tussen secties primaire waterkering waar wel en geen bevergraverij voorkwam. Het model is gekozen omdat 'afstand water' geen lineaire relatie had met graverij ($edf = 2.408$), voor dit variabel is daarom een smoother gebruikt.

Om in het model rekening te houden met ruimtelijke onafhankelijkheid werd een random factor toegevoegd (zie 3.2). De autocorrelatiestructuur in het model houdt rekening met de afhankelijkheid tussen secties langs dezelfde rivier. Deze structuur is toegevoegd omdat het model sterk verbeterde ($\Delta AIC = 73$).

De verklarende variabelen 'aanwezigheid antigravoorzieningen' ($p = 0.755$) en 'afstand weg' ($p = 0.743$) waren statistisch niet significant en hadden een hoge p-waarde. Deze variabelen zijn niet meegenomen in het model omdat het geen significante invloed had op het voorkomen van graverij en het model aanzienlijk verbeterde ($\Delta AIC = 7.295$).

Uiteindelijk waren er drie verklarende variabelen meegenomen (i) afstand tot het water (ii) percentage bedekking met gebouwen in een straal van honderd meter en (iii) percentage bedekking met houtige vegetatie binnen twintig meter van water in een straal van honderd meter.

Grafieken zijn gemaakt met behulp van 'ggeffects' (Lüdtke et al., 2025) en 'ggplot2' (Wickham et al., 2024) packages. Modeldiagnostiek is uitgevoerd met een 'DHARMa' package (Hartig et al., 2024) en de nauwkeurigheid van het model is getest met de 'caret' package (Kuhn et al., 2024).

4. Resultaten

Dit hoofdstuk is verdeeld in twee paragrafen. In de eerste paragraaf wordt de uitkomst van de kanskaart analyse voorgelegd. In de tweede paragraaf worden de resultaten van de statistische analyse gepresenteerd.

4.1. GIS-Analyse: kanskaart bevergraverij in waterkeringen

Er zijn voor twee verschillende situaties een GIS-analyse uitgevoerd met de expert judgment criteria.

Koude fase kanskaart

Voor de koude fase is bij 1.754,37 km dijktaalud (binnen- en buitenzijde) gekeken naar de kans op bevergraverij op basis van aanwezigheid antigraverijvoorzieningen en afstand tot het water. Van het dijktaalud was 1027,2 km primair en 727,17 km regionaal. Per kans categorie (kleur) is uitgerekend om hoeveel kilometer dijktaalud het gaat (tabel 2). De resultaten zijn in een kaart gevisualiseerd, zie bijlage XIII.

Tabel 2. Resultaten uit de analyse koude fase kanskaart o.b.v. expert judgment voor primaire en regionale waterkeringen van Waterschap Rivierenland.

Type waterkering	Koude fase	Lengte km
Primair	Groen	680
Primair	Oranje	105
Primair	Rood	242
Regionaal	Groen	211
Regionaal	Oranje	33
Regionaal	Rood	483

Warme fase kanskaart

Voor de warme fase is bij 421,26 km buitendijkse taluds gekeken naar de kans op bevergraverij op basis van aanwezigheid antigraverijvoorzieningen en afstand water. Per categorie (kleur) is uitgerekend om hoeveel kilometer waterkering het gaat (tabel 3). De resultaten zijn in een kaart gevisualiseerd, zie bijlage X.

Tabel 3. Resultaten uit de analyse warme fase kanskaart o.b.v. expert judgment voor waterkeringen van Waterschap Rivierenland die te maken hebben met hoogwater.

Type waterkering	Warme fase	Lengte km
Primair/regionaal	Groen	24
Primair/regionaal	Oranje	126
Primair/regionaal	Rood	272

4.2. Generalized additive model (GAM)

Er zijn 247 controlesecties (76%) en 77 bevergraverijsecties (24%) op primaire waterkeringen onderzocht. De meeste bevergraverijgevallen, 56%, vond plaats in roodkleurende secties terwijl maar 25% van de dijktafsluitingen in de dataset rood zijn (tabel 4). Het is zeer onwaarschijnlijk dat de verschillen in graverij tussen de kleuren op toeval berusten (er is een statistisch significant verschil in de kans op graverij tussen de groepen Groen, Oranje en Rood $\chi^2 = 82.1$, $df\ 2$, $p < 0.001$).

Tabel 4. Sekties primaire waterkering met de toegekende kleur o.b.v. expert judgment criteria analyse.

Koude fase	'geen graverij' (0)	'graverij' (1)
Groen	186	14
Oranje	24	20
Rood	37	43

De nauwkeurigheid voor het voorspellen van wel of geen bevergraverij was 83% (95% CI= 0.786-0.871). In 68% van de gevallen waren secties met graverij correct voorspeld en in 88% van de gevallen waren secties zonder graverij correct voorspeld.

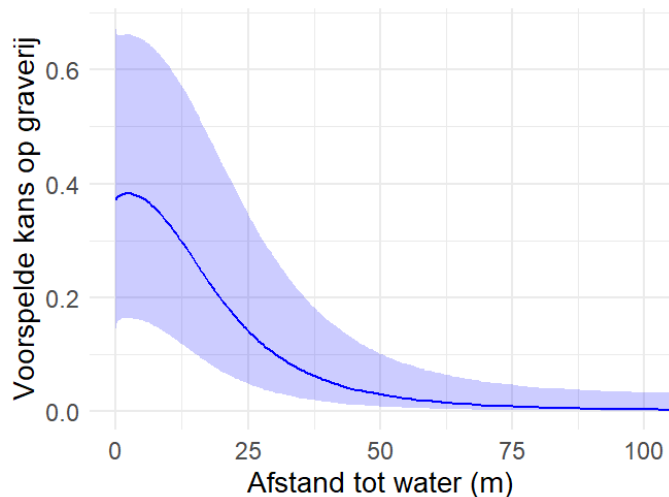
Uit de resultaten van het model kwam dat de gesmoothte 'afstand tot het water' en bevergraverij significant gerelateerd aan elkaar waren ($edf = 2.41$, $f = 16.69$, $p = < 0.001$) (tabel 5). De kans op graverij nam af naarmate de afstand tot het water groter werd (figuur 3).

Het bedekkingspercentage gebouwen had een significant negatief effect op het voorkomen van graverij ($\beta = -0.215$, $SE = 0.072$, $p = 0.003$). Als het percentage gebouwen hoger werd nam de kans op bevergraverij af.

Het bedekkingspercentage houtige vegetatie binnen 20 meter van water had een positieve relatie met het voorkomen van bevergraverij maar was niet-significant gevonden ($\beta = 0.032$, $p = 0.127$).

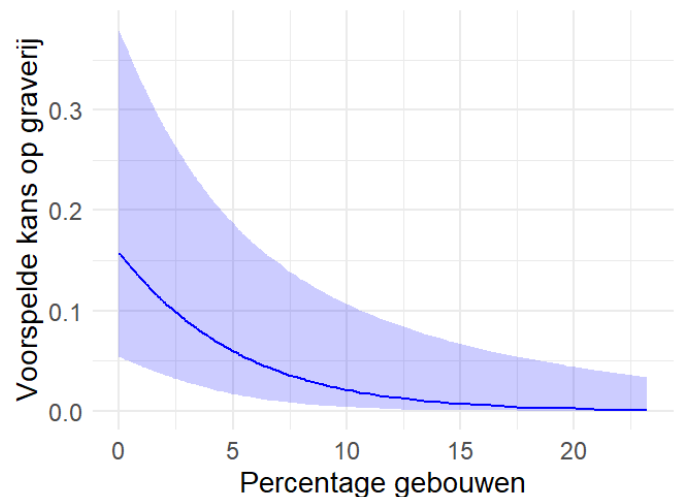
Tabel 5. Resultaten GAM waarin secties met bevergraverij worden vergeleken met controlesecties waar geen bevergraverij is gevonden in Waterschap Rivierenland. Significantie code: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05.

Parametrische coëfficiënten	Schatting	Standaardfout	T-waarde	P-waarde
Houtige vegetatie	0.032	0.677	-3.485	0.127
Percentage gebouwen	-0.215	0.072	-2.972	0.003**
Smooth termen	Edf	Red.df	F-waarde	P-waarde
Afstand water (wortel getransformeerd)	2.408	2.408	16.69	$< 2 \times 10^{-16}$ ***

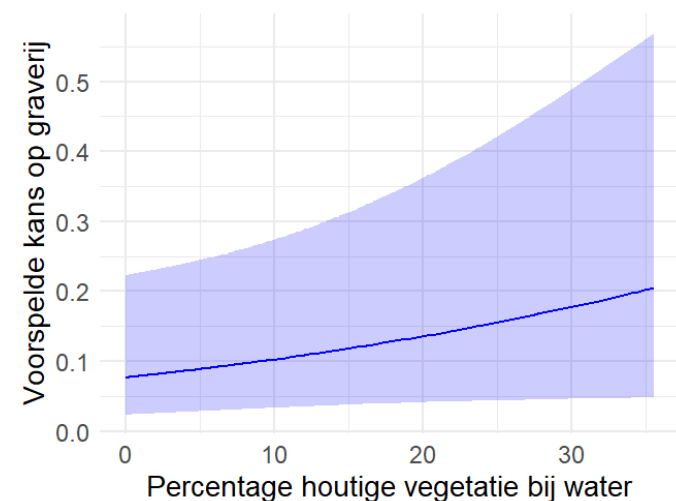


a

*Figuur 3. Per verklarende variabele de voorspelde kans op bevergraverij in waterkeringen rekening gehouden met het gemiddelde van de andere verklarende variabelen. Betrouwbaarheidsinterval= 95%. **a** Afstand waterkering tot water in relatie met voorspelde kans op graverij. Gemiddelde waarde percentage bedekking houtige vegetatie binnen 20 meter van water= 5.67 en percentage bedekking gebouwen= 2.9. **b** Percentage gebouwen in relatie tot voorspelde kans op bevergraverij. Gemiddelde waarde van afstand water = 31.58 en percentage bedekking houtige vegetatie binnen 20 meter van water= 5.67. **c** Percentage bedekking houtige vegetatie binnen 20 meter van water in relatie met voorspelde kans op bevergraverij (niet significant). Gemiddelde waarde van afstand water = 31,58 en percentage bedekking gebouwen= 2.9.*



b



c

Met het R-package Dharma is onderzocht hoe goed het model voldoet aan de aannames van een GAM. De plots zijn de vinden in bijlage XI. Het model vertoont geen sterke tekenen van overdispersion of schending van aannames. De QQ-plot liet een goede overeenkomst zien tussen geobserveerde en verwachte residuen (*KS-test* $p=0.474$). De dispersion test ($p=0.168$) en outlier test (0.474) waren niet significant. Een plot met residuen versus voorspelde waarden liet een kleine afwijking zien, maar de histogram in bijlage XI toont met een uniforme verdeling van de residuen een correct gebruik van het model.

5. Discussie

Dit onderzoek bestond uit het maken van een kansenkaart en het onderzoeken van verklarende factoren die bevergraverij beïnvloeden. Voor de primaire waterkering koude fase vielen de meeste graverijen in 'rode' ofwel hoog risico gebieden en het is statistisch zeer onwaarschijnlijk dat de verschillen in graverij tussen de toegekende kans categorieën op toeval berusten. De GAM laat ook zien dat het graafgedrag van een bever niet volledig arbitrair is, omdat de verklarende variabelen 'afstand water' en 'afstand tot gebouwen' een significant verband hebben met het optreden van graverij.

Waterschap Rivierenland hanteert voor de waterkeringen de regel <30 meter afstand tot water als risicovol voor bevergraverij. Dit is op basis van expert judgment wat o.a. is gebaseerd op veldwaarnemingen en het gegeven dat water een belangrijke component is voor beverhabitat (Graham et al., 2020). Alhoewel de afstand niet uit de lucht is gegrepen worden er binnen verschillende waterschappen andere afstanden gehanteerd. Waterschap Brabantse Delta gebruikt een afstand van 5 meter als hoog risico, 10 meter als risicovol en >10 meter als weinig risico (Herbert, 2025). Voor Waterschap Rivierenland zou dit betekenen dat er veel minder hoog risico gebieden zouden zijn tijdens normale waterstanden. In hoeverre de afstanden die Waterschap Brabantse Delta gebruikt gevalideerd zijn is onbekend. Waterschap Rivierenland gaat mee in het nationale beveraankpak protocol van Stam et al. (In voorbereiding) waar ook wordt gepleit voor een 30 meter afstand tot het water. Dit is consistent met de bevindingen uit statistische analyse (het GAM), waaruit bleek dat de kans op bevergraverij inderdaad kleiner wordt naarmate de afstand tussen het water en de waterkering groter werd. Tussen 10 en 30m neemt de kans behoorlijk af.

Het criterium "geschiktheid leefgebied bever¹" wordt in analoge studies soms met een vuistregel geoperationaliseerd: meestal op basis van de aanwezigheid van water en de aanwezigheid van bos/struweel. Hoe de aanwezigheid van (bos/struweel of) houtige vegetatie wordt gemeten is in voorgaande studies op verschillende manieren uitgerekend. Een gedetailleerdere en voor Engeland reeds gevalideerde methode komt van Graham et al. (2020) met de Beaver Foraging Index (BFI). De index deelt habitat in zes categorieën in op basis van bever voorkeuren. De index wordt berekend met verschillende datasets. In Nederland is de methode van Graham et al. 2020 niet 1:1 toepasbaar omdat datasets die door hen zijn benut voor het Verenigd Koninkrijk in Nederland anders zijn samengesteld. Seljee et al., (2023) hebben een model gemaakt voor Friesland die geïnspireerd is op de BFI. Bij Van de Wouw (2023) gaat het om de nabijheid van houtige vegetatie binnen twintig meter. Voor dit onderzoek is de methode van Nuus (2025) gebruikt waarbij in een straal van honderd meter om een sectie het bedekkingspercentage gebouwen en houtige vegetatie langs oevers werd berekend. Het is een grove manier om de geschiktheid van het leefgebied van bevers te bepalen door de onzekerheid in soortensamenstelling van bos en struweel. Om de methode te verfijnen is geselecteerd op vegetatie dat aantrekkelijk is voor bevers. Daarbij is de small woody features dataset toegevoegd om ook kleine vegetatie elementen mee te nemen. Deze datasets zijn samengevoegd en geselecteerd op twintig meter afstand van water omdat het gedrag van bevers zich hoofdzakelijk daar concentreert (Schwab, 2014).

Uit de statistische analyse blijkt ook dat de kans op bevergraverij kleiner wordt wanneer het percentage gebouwen toeneemt. Dit komt overeen met het natuurlijke gedrag van bevers waarbij ze menselijke

¹ Criterium 4 Van de Wouw (2023)

landschappen vermijden (Zwolicki et al., 2019). Er werd geen negatieve relatie gevonden met wegen. We hebben geen significante relatie gevonden tussen het percentage houtige vegetatie binnen twintig meter van water en bevergraverij. In de literatuur wordt gepubliceerd over het belang van houtige vegetatie voor bevers (Pinto et al., 2009; Zwolicki et al., 2019). En waterschappen (o.a. Waterschap Rivierenland) verwijderen vegetatie om de kans op bevergraverij te verkleinen (W. Cornelisse, persoonlijke communicatie, 28 mei 2025; D. Janssen, persoonlijke communicatie, 2 juni 2025).

De kansenkaarten die zijn voortgekomen uit dit onderzoek zijn op onderdelen gewijzigd t.o.v. de eerdere 'beverrisico' analyse die Waterschap Rivierenland had gemaakt. Verbeteringen zijn:

- Afstand water gemeten t.o.v. de dijkteen.
- Meer vormen van antigraafvoorzieningen worden erkent.
- Voor de warme fase is duidelijk welke waterafvoer wordt gehanteerd.
- De kansenkaart is transparant en reproduceerbaar.

De meeste bevergraverijholen in waterkeringen kwamen voor in primaire keringen. Daarom is gekozen om de analyse te beperken tot bevergraverijholen in primaire waterkeringen. Helaas zorgde dit wel voor een beperking van graverijdata. Een grovere selectie op beverholen, zou kunnen leiden tot problemen vanwege onzekerheid in de geregistreerde gegevens over graverij (zoals besproken in Nuus (2025)). Beverholen zijn namelijk moeilijk te vinden en buiten de primaire keringen is met een andere inzet gezocht en geregistreerd, waardoor het niet is uit te sluiten dat er holten in oevers ontbreken in de bestaande dataset. Voor (primaire) waterkeringen is het belang om elke graverij te vinden groter omdat het een risico kan vormen voor de dijk. Meer datapunten in primaire waterkeringen zou de analyse versterken en verbanden beter naar voren halen. Ondanks de beperking was er nog geen gebrek aan graverijdata. Op basis van 76 secties met bevergraverij, verspreid over het gebied met een minimale afstand van honderd meter uit elkaar, zijn aannemelijke verbanden met de verklarende variabelen 'afstand tot water', 'bedekkingspercentage houtige vegetatie', en 'afstand tot gebouwen'. Daarbij kon ook worden gesteld dat het aantal onderzochte secties een representatief beeld vertoont voor alle waterkeringen. De dataset had namelijk 25% rode secties en in werkelijkheid kleurt 24% rood. De dataset bestond uit 61% groene secties en in werkelijkheid kleurt 66% van de dijktafsluitingen groen.

Er blijft aanleiding de relatie tussen houtige vegetatie en graverij waterkeringen nader te bestuderen. De verklarende variabelen die zijn meegenomen in het onderzoek zijn gebaseerd op het onderzoek van Nuus (2025) en literatuur over natuurlijk gedrag van de bever. In het onderzoek hadden we graag nog meer verklarende variabelen willen meenemen, o.a. oeversteilheid en vrijboord (afstand tussen de kruin van de dijk en het wateroppervlak. Oeversteilheid zou de kans op graverij beïnvloeden (Pinto et al., 2009). Vrijboord is een variabele gebaseerd op expert judgment en zou ook betrekking kunnen hebben op de weinige graverij in regionale waterkeringen (Schep, 2025).

6. Conclusie en aanbevelingen

Dit onderzoek is onderdeel van de beverrisicoanalyse van Waterschap Rivierenland en het RAAK-project 'dieren in de dijk' vanuit Hogeschool Zeeland. Met de resultaten kan Waterschap Rivierenland verder werken aan vervolg analyse waarin de kans op bevergraverij en het optreden van faalmechanismen worden gecombineerd. Dit, inclusief de gevolgen vormt een complete analyse op het beverrisico.

De kansanalyse toonde aan dat de meerderheid van de primaire waterkeringen geen risico vormt voor bevergraverij tijdens de koude fase. Voor de regionale waterkeringen is dit juist andersom en is de grote meerderheid van de waterkeringen hoog risico (483 km). Tijdens de warme fase zijn bijna alle buitentaluds die te maken hebben met hoge rivierwaterstanden gevoelig voor bevergraverij (272 km).

Om antwoord te geven op de vraag *“Welke primaire en regionale waterkeringen van Waterschap Rivierenland zijn op basis van expert judgment m.b.t. de criteria afstand tot water en aanwezigheid antigraverijvoorzieningen gevoelig voor bevergraverij?”* is met behulp van een modelbuilder een kanskaart gemaakt. De topografische data in het model wordt jaarlijks vernieuwd. Om de kanskaart up-to-date te houden wordt aangeraden om de modelbuilder te runnen met de meest recente data als er belangrijke wijzigingen in de topografie zijn opgetreden.

Om antwoord te geven op de vraag *“In hoeverre kunnen de gemaakte aannames over de relaties tussen kans op graverij en de criteria afstand tot water koude fase, afstand tot water warme fase en aanwezigheid antigraverijvoorzieningen worden gevalideerd en welke overige factoren beïnvloeden de kans op bevergraverij?”* hebben we met een generalized additive model de statistische verbanden met een vijftal relevant geachte variabelen getoetst. De afstand tussen het water en de dijk bleek de meeste statistische invloed te hebben en daarna het percentage bedekking gebouwen in een straal van honderd meter om een sectie. De variabelen 'Bedekking houtige vegetatie', 'aanwezigheid antigraafvoorzieningen' en 'afstand weg' waren niet significant bevonden.

Advies kanskaart

Vooralsnog is de huidige keuze om de kanskaart vooral te baseren op basis van het criterium afstand tot water gerechtvaardigd. De 30 meter afstand die Waterschap Rivierenland hanteert lijkt een goede vuistregel. Tussen 10 en 30 meter neemt de kans op bevergraverij snel af, waarna de kans op graverij bij afstanden groter dan 30 meter klein is. Maar ook de aanwezigheid van de juiste graafwerende maatregelen is relevant, want antigraafvoorzieningen zullen ongetwijfeld de kans op graverij verminderen. Met de huidige gegevens is dit echter nog onvoldoende onderbouwd.

De kanskaart kan worden verfijnd door het toevoegen van criteria die bevergraverij beïnvloeden. Voor de regionale waterkeringen lijkt de kans op bevergraverij groot o.b.v. de criteria aanwezigheid anti-graafvoorzieningen en afstand water. In werkelijkheid is er nog maar weinig graverij geconstateerd in regionale waterkeringen. Dit kan komen omdat het graafgedrag van de bever wordt beïnvloed door andere variabelen die nu niet als criteria worden meegewogen in de kansanalyse. Voorzichtige hypothesen zijn dat de populatiedichtheid lager is of dat de aard van de kering minder aantrekkelijk is voor bevers. Om hier in de toekomst betere uitspraken over te kunnen doen, kan de analyse het best op grotere schaal worden georganiseerd.

De kansenkaart kan dienen als uitgangspunt voor het uitvoeren van inspecties. Om een beter beeld te krijgen van de daadwerkelijke risico's van graverij op waterkeringen wordt aanbevolen om de kansenkaart 'bevergraverij' samen te voegen met de 'kans optreden faalmechanismen' en de gevolgen door middel van een multicriteria analyse (MCA). Hierdoor wordt er een beverrisicokaart gecreeërd die nauwer aansluit op de buitensituatie.

Advies verklarende variabelen

Door een gebrek aan voldoende aantal beverholen die zijn gegraven in waterkeringen tijdens hoogwater hebben we niet meer kunnen kijken hoe de kans veranderd tijdens hoog- en laagwater. Door een vaak korte periode van hoogwater is het moeilijk om bruikbare datapunten te vinden. Om aan voldoende datapunten te komen, kan de analyse het best op landelijk schaal worden georganiseerd.

Meer onderzoek naar verklarende variabelen draagt bij aan het verbeteren van kansinschattingen van graverij in waterkeringen. Belangrijke variabelen die, om redenen van tijd, niet zijn meegenomen in dit onderzoek maar wel door experts en literatuur wordt aangeraden mee te nemen in beveronderzoek zijn: vrijboord en oeversteilheid. Ook meer onderzoek naar houtige vegetatie kan mogelijk verbanden verhelderen die niet zijn gevonden in de dataset die is gebruikt voor dit onderzoek. Houtige vegetatie is vanuit de literatuur een hoofdcomponent voor beverhabitat.

Inzicht in bevergedrag tijdens de warme fase helpt om de voorspelbaarheid op graverij te verhogen. In dit onderzoek is gekeken naar statische omgevingsfactoren die vanuit de literatuur belangrijk zijn voor bevers. Of deze variabelen ook belangrijk zijn in het Nederlandse landschap en of het bevergedrag aansluit bij populaties die in natuurlijkere settings leven is onbekend. Mogelijk speelt tijd (jaren van kolonisatie) een rol in de kans op bevergraverij in waterkeringen. Daarbij zijn tijdens de warme fase mogelijk ook meteorologische en hydrologische factoren als temperatuur, windexpositie, stroomsnelheden, de beschikbaarheid van hoogwatervluchtplaatsen van belang voor het optreden van graverij. Om dit te achterhalen is onderzoek aan individueel gemerkte en gezenderde dieren nodig.

Literatuur

- Basisregistratie Topografie. (2025). *Dataset: Basisregistratie Topografie (BRT) TOPNL*. <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/basisregistratie-topografie-brt-topnl>
- 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>
- Compton, B. W., Rhymer, J. M., & McCollough, M. (2002). Habitat Selection by Wood Turtles (*Clemmys insculpta*): An Application of Paired Logistic Regression. *Ecology*, 83(3), 833-843. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0833:HSBWTC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0833:HSBWTC]2.0.CO;2)
- Copernicus Land Monitoring Service. (2023). *Small Woody Features 2018 (raster 5 m), Europe, 3-yearly, May 2023*. EEA geospatial data catalogue. <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/srv/api/records/a8e683b1-2f96-45c8-827f-580a79413018>
- Cornelisse, W. (2025, mei 28). *Vegetatie verwijderen dijken* [Persoonlijke communicatie].
- Dijkbeheer B&O. (2025, mei 28). *Beverrisico* [Persoonlijke communicatie].
- Distefano, E. (2005). *Human-Wildlife Conflict worldwide: Collection of case studies, analysis of management strategies and good practices*. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Sustainable Agriculture and Rural Development Initiative (SARDI). Available from: FAO Corporate Document repository <http://www.fao.org/documents>.
- expertise netwerk waterveiligheid. (2024, september 5). *Advies Invloed van bevergraverij op de waterveiligheid*. <https://www.enwinfo.nl/adviezen/advies-invloed-bevergraverij-waterveiligheid/>
- Geelen, J.-P. (2025, januari 28). Er 'verdwijnen' wolven in Nederland. Experts zien aanwijzingen voor stroperij. *de Volkskrant*. <https://www.volkskrant.nl/wetenschap/er-verdwijnen-wolven-in-nederland-experts-zien-aanwijzingen-voor-stroperij~b860c27d/>
- Graham, H. A., Puttock, A., Macfarlane, W. W., Wheaton, J. M., Gilbert, J. T., Campbell-Palmer, R., Elliott, M., Gaywood, M. J., Anderson, K., & Brazier, R. E. (2020). Modelling Eurasian beaver foraging habitat and dam suitability, for predicting the location and number of dams throughout catchments in Great Britain. *European Journal of Wildlife Research*, 66(3), 42. <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01379-w>
- 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>
- Herbert, J. (2025, april 3). *Graverij bevers WS Brabantse Delta*. NND voorjaarsbijeenkomst bij WS Brabantse Delta, Raamsdonkveer.
- IUCN SSH. (z.d.). *Human-Wildlife Conflict & Coexistence*. IUCN SSH. Geraadpleegd 5 februari 2025, van <https://www.hwctf.org/about>
- Janssen, D. (2025, juni 2). *Houtige vegetatie verwijderen* [Persoonlijke communicatie].

Kenniscentrum Bever. (z.d.). Kenniscentrum Bever. Geraadpleegd 13 december 2023, van <https://www.kenniscentrumbever.nl/>

Knotter, H. (2025, februari 17). *Inspectie dijken* [Persoonlijke communicatie].

Koelewijn, A., Kieftenburg, A., & Hüsken, L. (2020). *Graverij door dieren, Invloed op de veiligheid van waterkeringen* (Nos. 11205235-003-ZWS-0001; p. 25). Deltares. https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/images/9/9c/11205235-003-ZWS-0001_v1.0-Graverij_door_dieren.pdf

Kuhn, M., cre, Wing, J., Weston, S., Williams, A., Keefer, C., Engelhardt, A., Cooper, T., Mayer, Z., Kenkel, B., R Core Team, Benesty, M., Lescarbeau, R., Ziem, A., Scrucca, L., Tang, Y., Candan, C., & Hunt, T. (2024). *caret: Classification and Regression Training* (Versie 7.0-1) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/caret/index.html>

Kuiphof, F. (2025). *ADVIES BEVER RISISCOANALYSE WATERSCHAP AA EN MAAS* [Advies, Hogeschool Van Hall Larenstein]. <https://www.greeni.nl/iguana/www.main.cls?surl=search&p=9d3c19f2-e5ae-4947-907f-72f5bfa1531d#recordId=2.152909&srchDb=2>

Lüdecke, D., Aust, F., Crawley, S., Ben-Shachar, M. S., & Anderson, S. C. (2025). *ggeffects: Create Tidy Data Frames of Marginal Effects for 'ggplot' from Model Outputs* (Versie 2.2.1) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggeffects/index.html>

Meisingset, E. L., Loe, L. E., Brekkum, Ø., & Mysterud, A. (2014). Targeting mitigation efforts: The role of speed limit and road edge clearance for deer–vehicle collisions. *The Journal of Wildlife Management*, 78(4), 679-688. <https://doi.org/10.1002/jwmg.712>

Niewold, F. J. J., & Müskens, G. J. D. M. (2000). *Perspectief van de bever in Nederland; herintroductie in de Gelderse Poort en ontwikkelingen elders van 1994-2000* (No. 159; p.). Alterra. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/312395>

Nuus, E. (2025). *Factoren bepalend bij het optreden van graverij door bevers*. Van Hall Larenstein, Leeuwarden.

Omgevingswet, Pub. L. No. 5.1. lid 2, Wetten.overheid.nl (2024). https://wetten.overheid.nl/BWBR0037885/2024-01-01#Hoofdstuk5_Afdeling5.1_Paragraaf5.1.1_Artikel5.1

Pinto, B., Santos, M. J., & Rosell, F. (2009). Habitat selection of the Eurasian beaver (*Castor fiber*) near its carrying capacity: An example from Norway. *Canadian Journal of Zoology*, 87(4), 317. <https://doi.org/10.1139/z09-015>

Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Waterkeringen* [Webpagina]. Geraadpleegd 5 februari 2025, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen>

Rosell, F., & Campbell-Palmer, R. (2022). *Beavers. Ecology, behaviour, conservation and management* (1ste dr.). Oxford University Press.

Schep, K. (2025, februari 6). *Beverholen* [Persoonlijke communicatie].

- Schep, K. (2025, februari 19). *Bevers*. Bijeenkomst bever communicatie grote rivieren, Tiel.
- Schep, K. (2025, maart 26). *Project bevergraverij in waterkeringen* [Persoonlijke communicatie].
- Schwab, G. (2014). *Handbuch für den Biberberater*. Bund Naturschutz in Bayern.
- Seljee, F., Ward, S. F., Sijtsma, I., & de Jong, R. (2023). *Prognose populatieontwikkeling van de bever in Fryslân. Hoeveel bevers kunnen er op termijn in Fryslân leven?* (No. A&W-rapport 23-073). Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Sluiter, H. (2004). The reintroduction and the present status of the beaver (*Castor fiber*) in the Netherlands: An overview. *Lutra*, 46(2), 129-133.
- Stam, M., Jacobs, D., & Zwikstra, W. (In voorbereiding). *Nationale beveraankpak* (p. 72). TwynstraGudde.
- STOWA. (2025, februari 3). *Factsheets dierlijke graverij. Schade aan infrastructuur*. STOWA. <https://www.stowa.nl/publicaties/factsheets-dierlijke-graverij-schade-aan-infrastructuur>
- Struik, V. (2022, maart 7). *Crisisbestrijdingsplan van Waterschap Rivierenland Watertekort*. Waterschap Rivierenland.
- The Habitats Directive, Pub. L. No. COUNCIL DIRECTIVE 92/43/EEC, Eur-Lex (1992). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01992L0043-20130701>
- Tsimopoulou, V. (2023, juni). *Dieren in de Dijk, Projectvoorstel SIA RAAK-publiek*. Regieorgaan SIA.
- 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 de Wouw, N. (2023). *Kwetsbaarheid van keringen voor graverij door de bever (Castor fiber) binnen de provincie Fryslân*. van Hall Larenstein.
- Van den Berg, F. (2022). *Veiligheidsraamwerk dierlijke graverijen in waterkeringen* (Nos. 11208018-002-GEO-0001; p. 29). Deltares. https://publications.deltares.nl/11208018_002_0001.pdf
- Van den Berg, F., & Noyons, B. (2024). *Beaver digging during highwater with an agent based model* (Nos. 11210269-002-GEO-0001; p. 25). Deltares.
- Vorel, A., Válková, L., Hamšíková, L., Maloň, J., & Korbelová, J. (2015). Beaver foraging behaviour: Seasonal foraging specialization by a choosy generalist herbivore. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(7), 1221-1235. <https://doi.org/10.1007/s00265-015-1936-7>
- Waterschap Rivierenland. (2019a, juli 9). *Dijken in ons rivierengebied* [Pagina]. Waterschap Rivierenland; Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/dijken-in-ons-rivierengebied>
- Waterschap Rivierenland. (2019b, augustus 8). *Waterbeheer buitenpolders* [Pagina]. Waterschap Rivierenland; Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/waterbeheer-buitenpolders>
- Waterschap Rivierenland. (2024a). *Bevers in het rivierengebied: Ze horen hier maar er zijn risico's* [Pagina]. Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/bever>

Waterschap Rivierenland. (2024b, juni 20). *Wiel van Bassa: Grootste doorbraakwiel nu aardkundig monument* [Nieuwsbericht]. Waterschap Rivierenland; Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/wiel-van-bassa-grootste-doorbraakwiel-nu-aardkundig-monument>

Waterschap Rivierenland. (2024c, oktober 1). *Bever in het rivierengebied: Ze horen hier maar er zijn risico's* [Pagina]. Waterschap Rivierenland; Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/bever>

Waterschap Rivierenland. (2025a, januari 27). *Bever opnieuw grootste risico voor dijken in rivierengebied*. Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/bevers-opnieuw-grootste-risico-voor-dijken-in-rivierengebied>

Waterschap Rivierenland. (2025b, februari 24). *Regionale keringen* [Pagina]. Waterschap Rivierenland; Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/regionale-keringen>

Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Hollandse Delta, Waterschap Rivierenland, Hoogheemraadschap De Stichtse, Rijnlanden, Waterschap Amstel, Gooi en Vecht, Rijkswaterstaat, Faunabeheereenheid Gelderland, Faunabeheereenheid Zuid-Holland, Provincie Gelderland, Provincie Zuid-Holland, Unie van Waterschappen, & Zoogdiervereniging. (2020, januari). *Beverprotocol voor de waterbeheerders in de provincies Gelderland en Zuid-Holland*. https://www.waterschaprivierenland.nl/_flysystem/media/beverprotocol.pdf

Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., Dunnington, D., Brand, T. van den, Posit, & PBC. (2024). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics* (Versie 3.5.1) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>

Wood, S. (2025). *mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with Automatic Smoothness Estimation* (Versie 1.9-3) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/index.html>

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>

Zwolicki, A., Pudełko, R., Moskal, K., Świdorska, J., Saath, S., & Weydmann, A. (2019). The importance of spatial scale in habitat selection by European beaver. *Ecography*, 42(1), 187-200. <https://doi.org/10.1111/ecog.03621>

Bijlage I. Metadata tabel kanskaart koude fase

Metadata gebruikt voor het modelleren van de Waterschap Rivierenland kanskaart bevergraverij tijdens de koude fase.

Bestandsnaam	Beschrijving	Format	Schaal	Jaar	Bron
Beheergebiedwaterstaatkundig_WSRL	Werkgebied Waterschap Rivierenland	Vector (Polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
Waterstaatswerk waterkering Primair	Waterkeringen primair uit data van werkingsgebieden vastgesteld	Vector (polygon)	1:24.000	2025	Waterschap Rivierenland
Waterstaatswerk waterkering Regionaal	Waterkeringen regionaal uit data van werkingsgebieden vastgesteld	Vector (polygon)	1:24.000	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.Kwelscherm	Kwelschermen uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.WS_K_Verbeteringsconstructie	Bevergaas en antigraafschermen uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polygon)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.Wandconstructie	Damwanden uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
Top10NL_Waterdeel_vlak	Waterelementen vlak	Vector (Polygon)	1:500	2025	Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT)
Top10NL_Waterdeel_Lijn	Waterelementen lijn	Vector (Polyline)	1:500	2025	Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT)
DAMO_W.WS_VW_LOSGEST ORTMAT	Harde bekleding uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polygon)	None	2025	Waterschap Rivierenland

Bijlage II. Metadata tabel kanskaart warme fase

Metadata gebruikt voor het modelleren van de Waterschap Rivierenland kanskaart bevergraverij tijdens de warme fase.

Bestandsnaam	Beschrijving	Format	Schaal	Jaar	Bron
Referentielijn Primair Beheerregister	Waterkeringen primair uit data van Waterkeringen Beheerregister	Vector (polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
Referentielijn Regionaal Beheerregister	Waterkeringen regionaal uit data van Waterkeringen Beheerregister	Vector (polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.Kwelscherm	Kwelschermen uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.Wandconstructie	Damwanden uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polyline)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.WS_VW_TOPLAA GASFALT	Harde bekleding uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polygon)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.WS_VW_TOPLAA GBETON	Harde bekleding uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polygon)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.WS_VW_TOPLAA GSTEENZETTING	Harde bekleding uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polygon)	None	2025	Waterschap Rivierenland
DAMO_W.WS_VW_TOPLAA GVERPAKTESTEENZET	Harde bekleding uit J:\GeoData\Databaseconnecties_SDE	Vector (Polygon)	None	2025	Waterschap Rivierenland
Dn_Q8310	Inundatie Waal, Pannerdens Kanaal en de Neder-Rijn & Lek met een afvoer van 8310 m3/s bij Lobith. Herhalingstijd 6 jaar.	Vector (Polygon)	None	2025	Rijkswaterstaat
Inundatie_Q2100	Inundatie Maas met een afvoer van 2100 m3/s bij Bergharen-dorp. Herhalingstijd 7 jaar.	Vector (Polyline)	None	2025	Rijkswaterstaat

Bijlage III. GIS modelbuilder flowchart kansenkaart koude fase

Flowchart van het modelleren Waterschap Rivierenland kansenkaart bevergraverij tijdens de koude fase.

STAP	INPUT	BRON	HANDELING	TOOL	INSTELLINGEN	OUTPUT
Waterkering lijnen primair						
1	Werkingsgebied Vastgesteld -> Waterstaatswerk Waterkeringen Primair	Waterschap Rivierenland (2025)	Data uit het beheerregister exporteren	Export Features	Selecteer gewenste geodatabase (standaard default gdb.)	Waterstaatswerk waterkeringPrimairVastgesteld
2	WaterstaatswerkwaterkeringPrimairVastgesteld		Polygon -> polyline	Polygone To Line		WaterkeringPrimairLijn
3	WaterkeringPrimairLijn		Zorgen dat er een beperkt aantal features is om de lijn te verdelen in segmenten van 10 meter.	Dissolve	Dissolve Fields: Dissolve all input features into a single feature	WaterkeringPrimairLijnDissolve
4	WaterkeringPrimairLijnDissolve		De waterkering opdelen in segmenten van 10 meter.	Arcpy script bijlage I.		WaterkeringPrimair_secties10m
5	WaterkeringPrimair_secties10m		Veld toevoegen voor onderscheid tussen typen waterkeringen		Voeg een veld toe met de naam Type_waterkering in de attributenlijst. Selecteer dan de kolom en druk dan op calculate. Type_waterkering=Primair	WaterkeringPrimair_secties10m
Afstand water						
6	WaterkeringPrimair_secties10m		Afstand teen tot water 30 meter dus lijn buffer 26 meter (waterstaatswerk ligt 4 meter van de teen). Alleen 'Left' om overlapping tegen te gaan en water mee te nemen wat buiten de dijk ligt.	Buffer	Buffer: 26 meters Side type: Left End type: Round No dissolve	WaterkeringPrimair_Secties_Buffer
7	main.top10nl_waterdeel_lijn	Basisregistratie topografie (2025)	Knippen naar grenzen Waterschap Rivierenland Vastgesteld	Clip	Clip = Beheergebiedwaterstaatkundig_WSRL	top10nl_waterdeel_lijn_Clip_wsrl

8	main.top10nl_waterdeel_vlak	Basisregistratie topografie (2025)	Knippen naar grenzen Waterschap Rivierenland Vastgesteld	Clip	Clip = Begrenzing Waterschap Rivierenland	top10nl_waterdeel_vlak_Clip_wsrl
9	Top10NL_waterdeel_lijn		Relevante features selecteren -> alle features selecteren die geen greppel of droge sloot zijn.	Select By Attributes	Where 'type water' is not equal to 'greppel, droge sloot'.	top10nl_waterdeel_lijn_Clip_
10	top10nl_waterdeel_lijn_Clip_		Polyline -> Polygon door buffer om de lijn te maken.	Buffer	Buffer: 0.5 meters Dissolve all output features into a single feature.	top10nl_waterdeel_lijn_Buffer05
11	top10nl_waterdeel_vlak_Clip_wsrl top10nl_waterdeel_lijn_Buffer05		Water lijn en water vlak combineren	Merge	Automatically generate fields consolidated from all inputs	top10nl_waterdeel_Merge
12	WaterkeringPrimair_Secties_Buffer		Het water koppelen aan de buffer	Spatial Join	Intersect	WaterkeringPrimair_Wa_SpatialJoin
13	WaterkeringPrimair_Wa_SpatialJoin		Veld toevoegen in de attributentabel	Add Field	Field Name: Aanwezigheid_water Field Type: Text Field Alias: Aanwezigheid water <30 m	WaterkeringPrimair_Wa_SpatialJoin
14	WaterkeringPrimair_Wa_SpatialJoin		Veld uitrekenen en omvormen van binair naar ja/nee waarde	Calculate Field	Field Name: Aanwezigheid water <30 m Expression type: Python Aanwezigheid_water = "Ja" if !Join_Count! > 0 else "Nee"	WaterkeringPrimair_Wa_SpatialJoin
15	WaterkeringPrimair_secties10m		De tabel toevoegen aan de originele lijnen	Join Field	Join feature: WaterkeringPrimair_Wa_SpatialJoin Join table: Aanwezigheid water <30 m	WaterkeringPrimair_secties10m
Aanwezigheid antigraviteitsvoorzieningen						
16	Damo_W.Wandconstructie		Relevante features selecteren -> houten en kunststoffen materialen eruit halen.	Select By Attributes	Where 'WS_MATERIAALWAND is not equal to '10' Or '13'.	Wandconstructie_Layer
17	Damo_W.Kwelscherm		Relevante features selecteren -> damwanden	Select By Attributes	Where 'TYPEKWELSCHERM is equal to '1'.	Kwelscherm_Layer
18	Damo_W.WS_K_Verbeteringsconstructie		Relevante features selecteren -> antigraviteitscherm en	Select By Attributes	"Where 'WS_SOORTVERBETERING is equal to 'Antigraviteitscherm' Or 'Beverwerende constructie'.	WS_K_Verbeteringsconstructie_Layer

			beverwerende constructie			
19	Damo_W.Wandconstructie		Polyline -> Polygon door buffer om de lijn te maken.	Buffer	Buffer: 0,2 meters Side type: Full End type: Flat No dissolve	Kwelscherm_Layer_Buffer
20	Damo_W.Kwelscherm		Polyline -> Polygon door buffer om de lijn te maken.	Buffer	Buffer: 0,2 meters Side type: Full End type: Flat No dissolve	Kwelscherm_Layer_Buffer
21	Kwelscherm_Layer_Buffer Kwelscherm_Layer_Buffer WS_K_Verbeteringsconstructie_Layer DAMO_W.WS_VW_L OSGESTORTMAT		Samenvoegen van de anitgraverijvoorzieningen	Merge	Field Matching Mode: Use the field map to reconcile field differences Field Map edit: WS_Typewand samenvoegen met WS_SOORTVERBETERING	Wandconstructie_Layer__Merge1
22	WaterkeringPrimair_secties10m		Buffer voor koppelen met anti-graverijvoorzieningen	Buffer	Buffer: 25 meter Side type: Full' End type: Round Dissolve type: No dissolve	Primair__Buffer25m
23	Primair__Buffer25m		Herhaal stap 11 t/m 14 om de output van de anti-graaf voorzieningen te koppelen aan WaterkeringPrimair_secties10m. Pas namen aan waar nodig.			
Voor regionale waterkeringen						
Herhaal de stappen 1 t/m 21 voor de regionale waterkeringen. Input: Werkingsgebied Vastgesteld -> Waterstaatswerk Waterkeringen Primair (Waterschap Rivierenland, 2025). LET OP: de buffer die in stap 17 en 21 worden gebruikt moet bij regionaal worden vervangen door een buffer van 10 meter!						
Kansenkaart						
24	WaterkeringPrimair_secties10m WaterkeringRegionaal_secties10m		Samenvoegen primaire en regionale waterkeringen	Merge	Field Matching Mode: Automatically generate fields consolidated from all inputs	Waterkeringen_Merge
25	Waterkeringen_Merge		Features netter maken	Dissolve	Dissolve Fields: koude_fase Type_Waterkering	

Bijlage IV. GIS modelbuilder flowchart kansenkaart warme fase

Flowchart voor het modelleren Waterschap Rivierenland kansenkaart bevergraverij tijdens de warme fase.

STAP	INPUT	BRON	HANDELING	TOOL	INSTELLINGEN	OUTPUT
Waterkering lijnen						
1	Waterkeringen Beheerregister -> Referentielijn Primair Beheerregister	Waterschap Rivierenland (2025)	Data uit het beheerregister exporteren naar geodatabase	Export Features	Selecteer gewenste geodatabase (standaard default gdb.)	Primair
2	Waterkeringen beheerregister -> Referentielijn Regionaal Beheerregister	Waterschap Rivierenland (2025)	Data uit het beheerregister exporteren naar geodatabase	Export Features	Selecteer gewenste geodatabase (standaard default gdb.)	Regionaal
3	Primair, Regionaal		Waterkering opsplitsen in segmenten van 10 meter.	Arcpy script bijlage I.		WaterkeringPrimairLijnDissolve
4	Primair, Regionaal		Selecteer niet relevante segmenten (segmenten die niet langs rivieren liggen waarvan inundatie data is).	Select	Delete geselecteerde segmenten.	Primair, Regionaal
5	Primair, Regionaal		Samenvoegen tot 1 laag	Merge	Automatically generate fields consolidated from all inputs	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge
Afstand water						
6	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Afstand tot het water bepalen	Near	Near features: dn_Q8310, Inundatie_Q2100	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge
7	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Veld toevoegen met afstand tot water minder dan 30 m.	Add Field	Field name: Aanwezigheid_water Field type: Text Field Alias: Afstand water <30 m	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge
8	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Berekenen welke dijksegmenten op 30 meter of minder van water liggen.	Calculate Field	Field name: Afstand water <30 m Expression Type: Python Aanwezigheid_water= "Ja" if !NEAR_DIST! <= 30 else "Nee"	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge
Aanwezigheid anti-graafvoorzieningen						
16	Damo_W.Wandconstructie		Relevante features selecteren ->	Select By Attributes	Where 'WS_MATERIAALWAND is not equal to '10'.	Wandconstructie_Layer

			houten materialen eruit halen.			
17	Damo_W.Kwelscherm		Relevante features selecteren -> damwanden	Select By Attributes	Where 'TYPEKWELSCHERM is equal to '1'.	Kwelscherm_Layer
19	Damo_W.Wandconstructie		Polyline -> Polygon door buffer om de lijn te maken.	Buffer	Buffer: 0,2 meters Side type: Full End type: Flat No dissolve	Kwelscherm_Layer_Buffer
20	Damo_W.Kwelscherm		Polyline -> Polygon door buffer om de lijn te maken.	Buffer	Buffer: 0,2 meters Side type: Full End type: Flat No dissolve	Kwelscherm_Layer_Buffer
21	Kwelscherm_Layer_Buffer Kwelscherm_Layer_Buffer DAMO_W.WS_VW_T OPLAAGVERPAKTEST EENZET DAMO_W.WS_VW_T OPLAAGVERPAKTEST EENZET DAMO_W.WS_VW_T OPLAAGVERPAKTEST EENZET DAMO_W.WS_VW_T OPLAAGVERPAKTEST EENZET		Samenvoegen van de anitgraverijvoorzieningen	Merge	Field Matching Mode: Use the field map to reconcile field differences	Antigraafvoorzieningen_HW_Merge
22	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Buffer om te kunnen koppelen met antigraafvoorzieningen	Buffer	Buffer: 25 meter Side type: Full End type: Round Dissolve type: No dissolve	Waterkering1lijn_hoog_Buffer
23	Waterkering1lijn_hoog_Buffer		Buffer koppelen met water	Spatial Join	Join features: Antigraafvoorzieningen_HW_Merge Join operation: Join one to one Match Option: Intersect	Waterkering1lijn_SpatialJoin
24	Waterkering1lijn_SpatialJoin		Veld toevoegen voor aanwezigheid antigraafvoorzieningen	Add Field	Field name: Aanwezigheid_antigraafvoorzieningen Field type: Text Field Alias: Aanwezigheid antigraafvoorzieningen	Waterkering1lijn_SpatialJoin
25	Waterkering1lijn_SpatialJoin		Veld berekenen door te kijken welke segmenten antigraafvoorzieningen hebben	Calculate Field	Field name: Aanwezigheid antigraafvoorzieningen Expression type: Python Aanwezigheid_antigraafvoorzieningen= "Ja" if !Join_Count! > 0 else "Nee"	Waterkering1lijn_SpatialJoin

Kansenkaart

26	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Kolom van aanwezigheid antigraafvoorzieningen toevoegen aan laag.	Join Field	Input Field: OBJECTID Join Table: Waterkering1lijn_SpatialJoin Join Field: ORIG_FID Transfer method: Select transfer method Trnsfer Fields: Aanwezigheid antigraafvoorzieningen	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge
27	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Veld toevoegen om kleur te bepalen	Add Field	Field name: Warme_fase Field type: Text Field Alias: Warme fase	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge
28	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge		Veld berekenen om kleur te bepalen	Calculate Field	Field name: Warme fase Expression type: Python Warme_fase=Reclass(!Aanwezigheid_water!, !Aanwezigheid_antigraafvoorzieningen!) Code Block: def Reclass(Aanwezigheid_water, Aanwezigheid_antigraafvoorzieningen): if Aanwezigheid_water == "Ja" and Aanwezigheid_antigraafvoorzieningen == "Ja": return "Oranje" elif Aanwezigheid_water == "Ja" and Aanwezigheid_antigraafvoorzieningen == "Nee": return "Rood" elif Aanwezigheid_water == "Nee": return "Groen" else: return "Onbekend"	Waterkering1lijn_hoogwater_Merge

Bijlage V. Arcpy script lijn splitsen in segmenten

Code gegenereerd met OpenAI. (2025). ChatGPT (15 april versie) [Large language model]. chat.openai.com/chat.

```
import arcpy

# Set de werkruimte en invoerlaag
arcpy.env.workspace = r"C:/Users/ANJA/OneDrive - Waterschap
Rivierenland/Documenten/Bevergraverij_Waterkeringen_WSRL/kansenkaart_bevergraverij_waterkeringen/kan
senkaart_bevergraverij_waterkeringen.gdb" # Pas aan naar jouw geodatabase
input_layer = "WaterkeringRegionaalLijnDissolve" # De originele polyline laag
output_layer = "WaterkeringRegionaal_secties10m" # De nieuwe opgesplitste laag
split_length = 10 # Lengte van elk segment in meters

# Zorg ervoor dat de outputlaag niet bestaat
if arcpy.Exists(output_layer):
    arcpy.Delete_management(output_layer)

# Maak een lege feature class aan voor de output
sr = arcpy.Describe(input_layer).spatialReference # Behoud de originele spatial reference
arcpy.CreateFeatureclass_management(arcpy.env.workspace, output_layer, "POLYLINE", input_layer,
"SAME_AS_TEMPLATE", "SAME_AS_TEMPLATE", sr)

# Open een cursor om de invoerlagen te lezen en de gesplitste lijnen te schrijven
with arcpy.da.SearchCursor(input_layer, ["SHAPE@"]) as search_cursor, \
    arcpy.da.InsertCursor(output_layer, ["SHAPE@"]) as insert_cursor:

    for row in search_cursor:
        line_geom = row[0] # De polyline-geometry

        # Meet de totale lengte van de lijn
        total_length = line_geom.length
        current_length = 0

        while current_length < total_length:
            # Bepaal het eindpunt van het segment (maximaal 10m of tot einde lijn)
            next_length = min(current_length + split_length, total_length)

            # Snijd de lijn van het huidige startpunt tot het eindpunt
            split_part = line_geom.segmentAlongLine(current_length, next_length)

            # Voeg het segment toe aan de nieuwe feature class
            insert_cursor.insertRow([split_part])

            # Update de startpositie voor het volgende segment
            current_length = next_length

print(f"✅ Lijn succesvol opgesplitst in secties van {split_length} meter!")
```


Bijlage VI. Arcpy script random lijnsegmenten selecteren voor controlesecties

Code gegenereerd met OpenAI. (2025). ChatGPT (15 april versie) [Large language model]. chat.openai.com/chat.

```
import arcpy
import random

# Specificeer het pad naar de feature class of tabel
feature_class = r"WaterkeringPrimair_sec_Merge"

# Specificeer de naam van de kolom waar de waarde 0 moet zijn (in dit geval 'bevergraverij')
field_name = "Aanwezigheid_bevergraverij"

# Maak een zoekcursor om de rijen te doorlopen waar de waarde van 'bevergraverij' 0 is
rows_with_zero = []
with arcpy.da.SearchCursor(feature_class, ["OID@", field_name]) as cursor:
    for row in cursor:
        if row[1] == 2: # Controleer of de waarde van 'bevergraverij' 0 is
            rows_with_zero.append(row[0]) # Voeg de OID (Object ID) toe aan de lijst

# Bepaal het aantal willekeurige rijen dat je wilt selecteren
num_rows_to_select = 789 # Pas dit aan naar het aantal rijen dat je willekeurig wilt selecteren

# Selecteer een willekeurige subset van rijen (zonder herhalingen)
selected_oids = random.sample(rows_with_zero, num_rows_to_select)

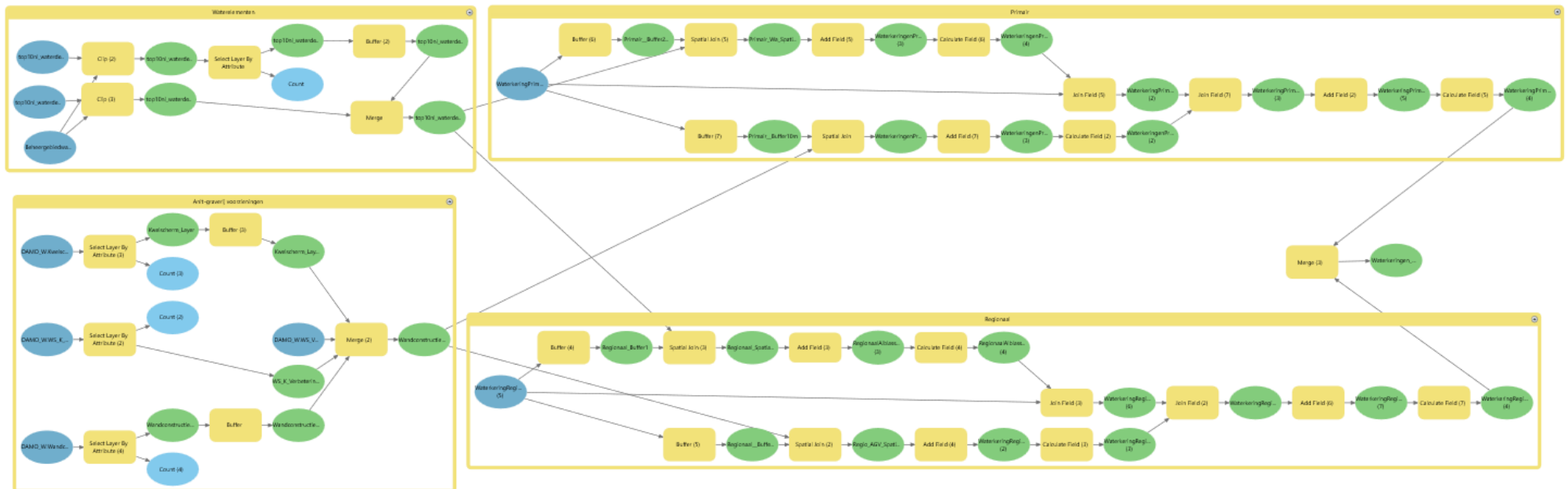
# Maak een SQL-query om de geselecteerde rijen op te halen
oid_query = " OR ".join([f"OBJECTID = {oid}" for oid in selected_oids])

# Maak een nieuwe selectie met de geselecteerde rijen
arcpy.management.SelectLayerByAttribute(feature_class, "NEW_SELECTION", oid_query)

# Optioneel: je kunt de geselecteerde rijen opslaan in een nieuw bestand of tabel
# arcpy.management.CopyFeatures(feature_class, r"C:\pad\naar\je\nieuwbestand.shp")
```

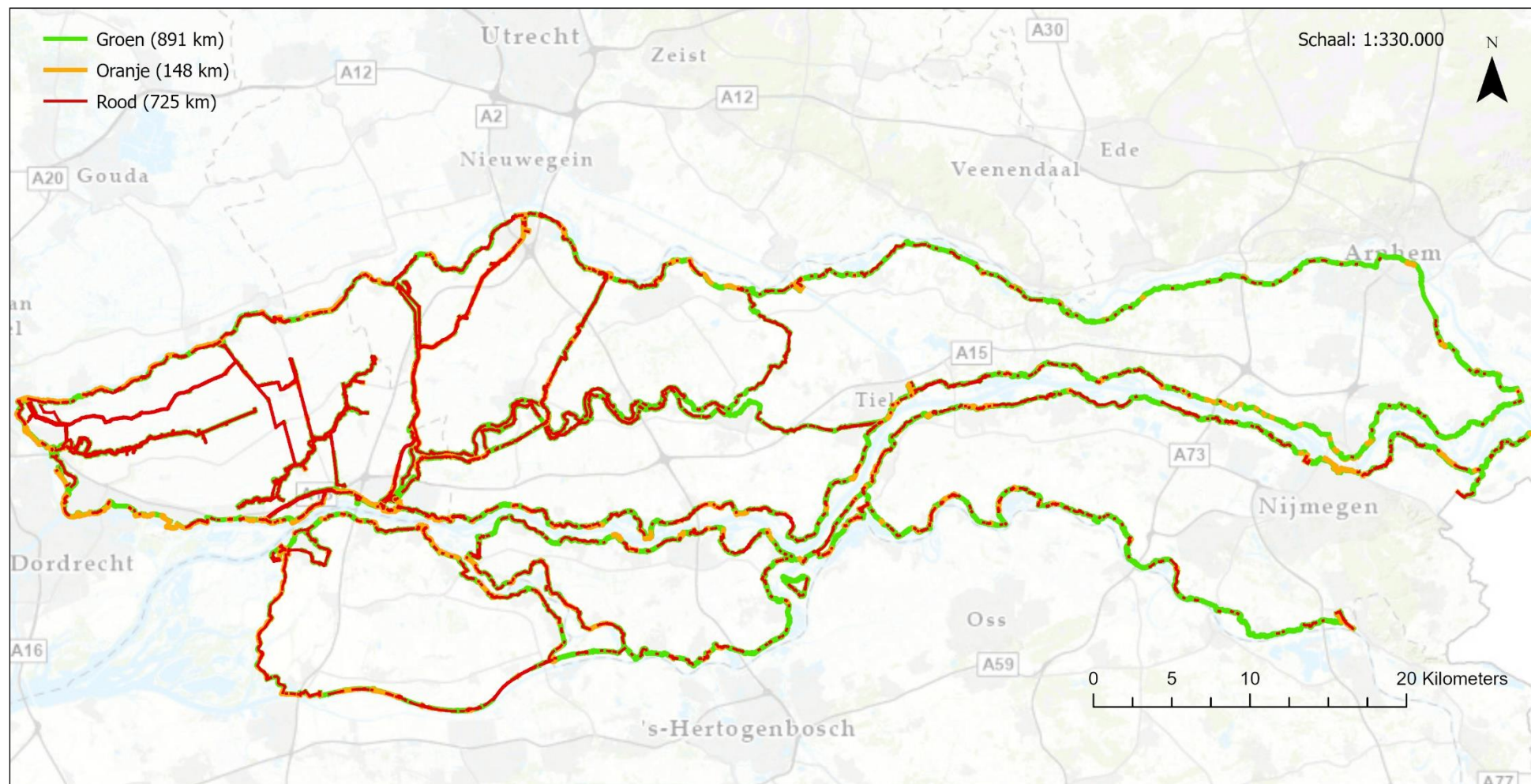
Bijlage VII. Modelbuilder kansenkaart koude fase

Modelbuilder van de koude fase kaart in ArcGIS Pro. Donkerblauw= rauwe inputdata, groen= outputdata en geel= tool. De modelbuilder is ook als python script beschikbaar in het ArcGIS pro project.



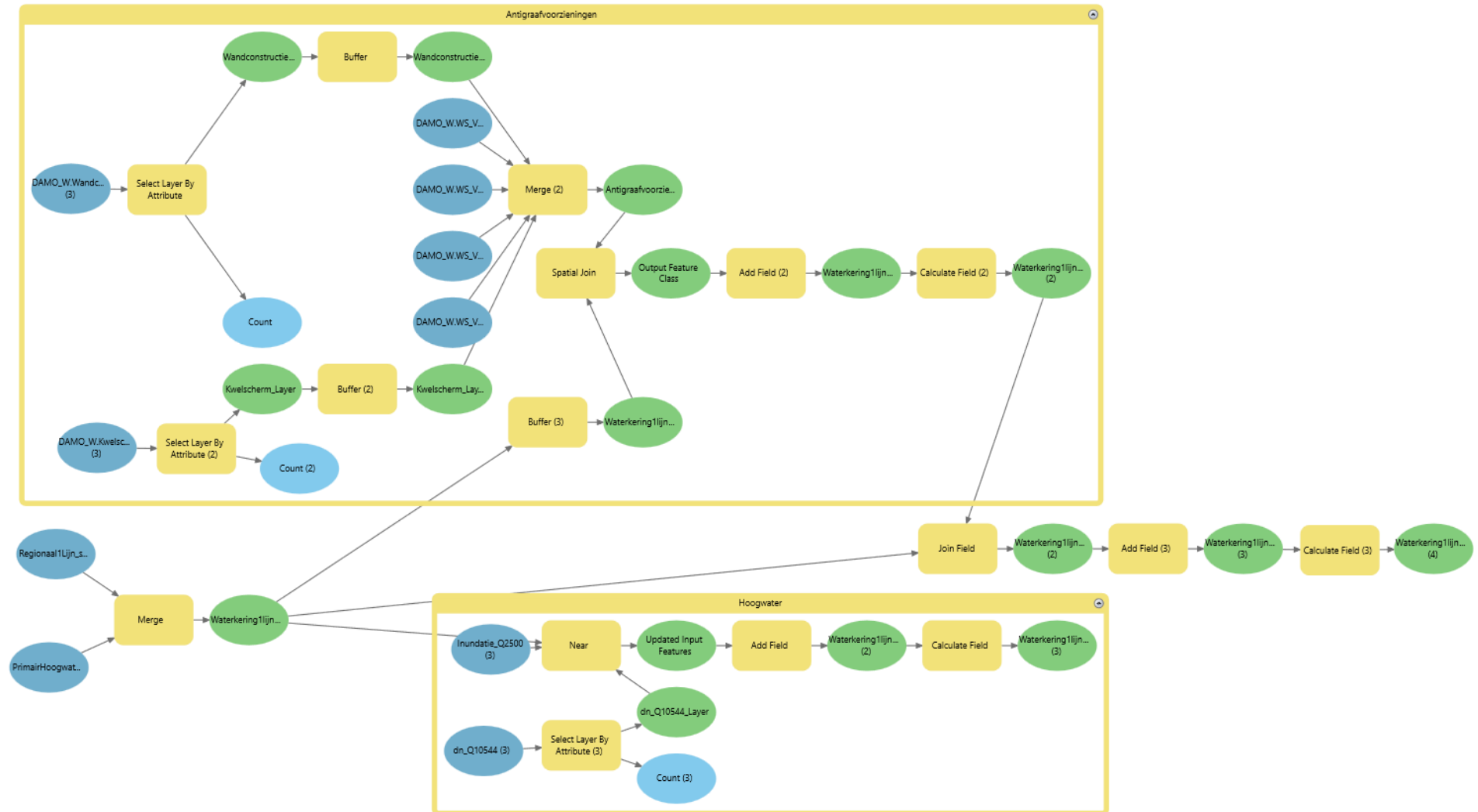
Bijlage VIII. Kansenkaart koude fase

Kansenkaart koude fase gemaakt door Anthony Jansen voor Waterschap Rivierenland.



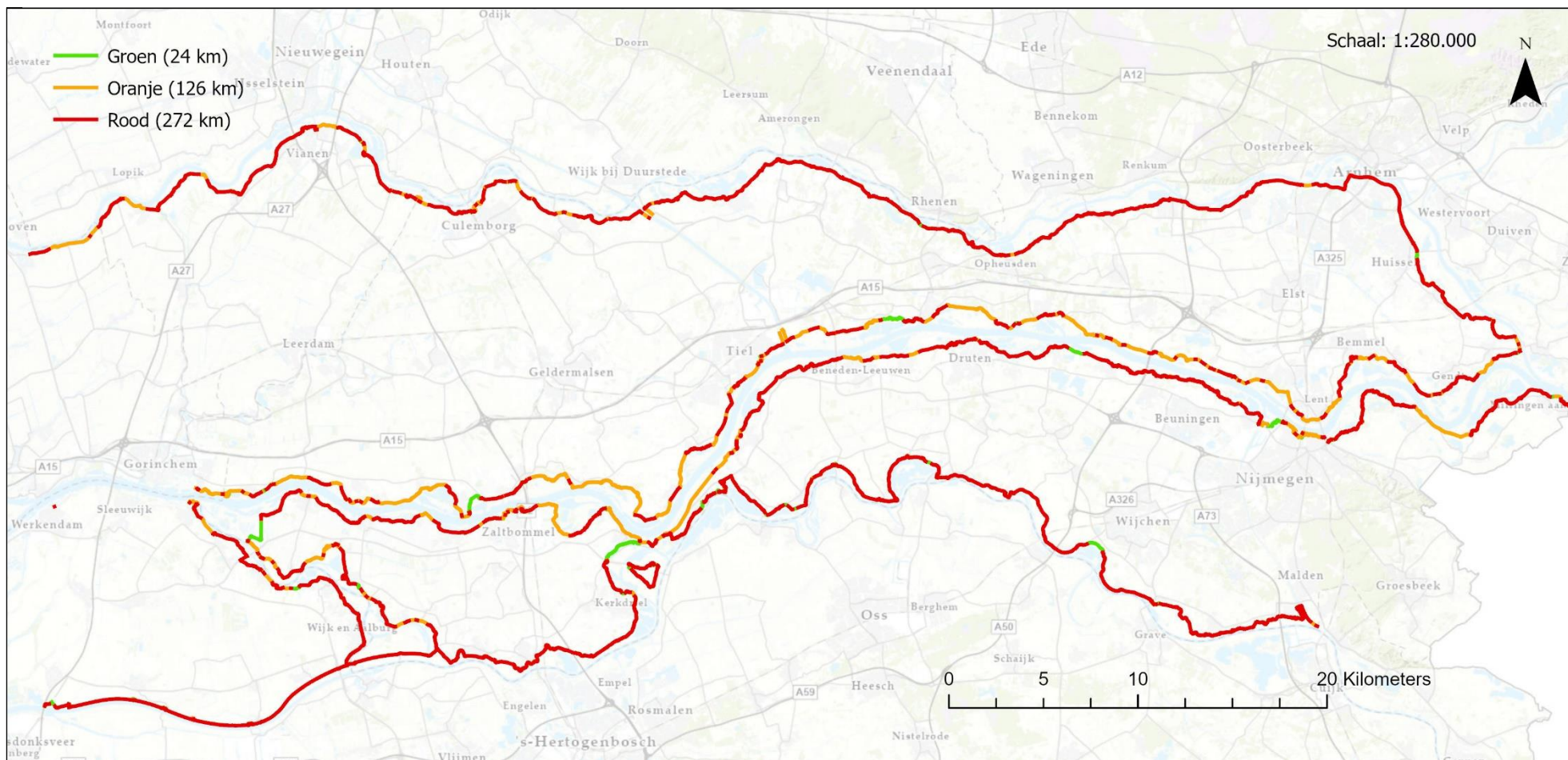
Bijlage IX. Modelbuilder warme fase

Modelbuilder van de warme fase kaart in ArcGIS Pro. Donkerblauw= rauwe inputdata, groen= outputdata en geel= tool. De modelbuilder is ook als python script beschikbaar in het ArcGIS pro project.

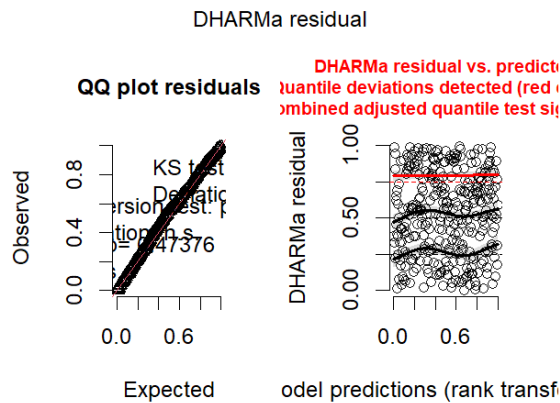


Bijlage X. Kansenskaart warme fase

Kansenskaart warme fase gemaakt door Anthony Jansen voor Waterschap Rivierenland. Warme fase gebaseerd op scenario afvoer Lobith 10544 m³/s en Bergharen-dorp 2500 m³/s.

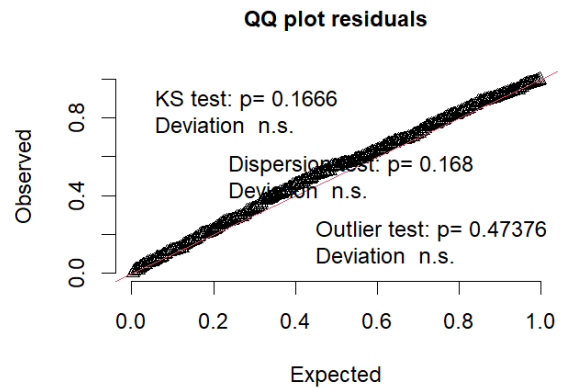


Bijlage XI. Modeldiagnostiek

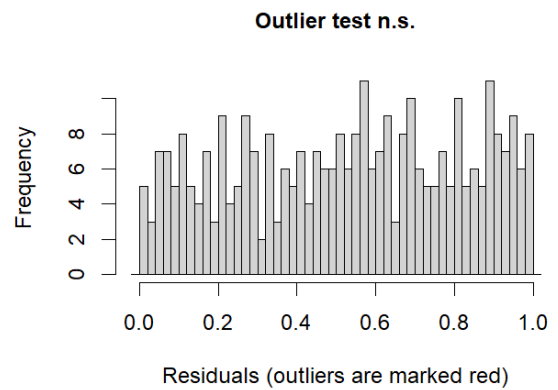


a

*Dharma validatie GAM. **a** QQ-plot en DHARMA-residuen plot (KS-test- $p = 0.474$) **b** QQ-plot van residuen met een goede overeenkomst met de verwachte verdeling. Geen significant verschil in de Kolmogorov-Smirnov test ($p = 0.167$). Dispersion test ($p = 0.168$) en outlier test ($p = 0.474$) ook niet significant. **c** Histogram met de residuen toont een normale verdeling.*



b



c

