

# ➔ Risk Assessment of Infrastructure

Reindert Stellingwerff, flood defense specialist

Rijkswaterstaat, department of Waterworks, Mobility and Environment

[Reindert.Stellingwerff@rws.nl](mailto:Reindert.Stellingwerff@rws.nl)

2026



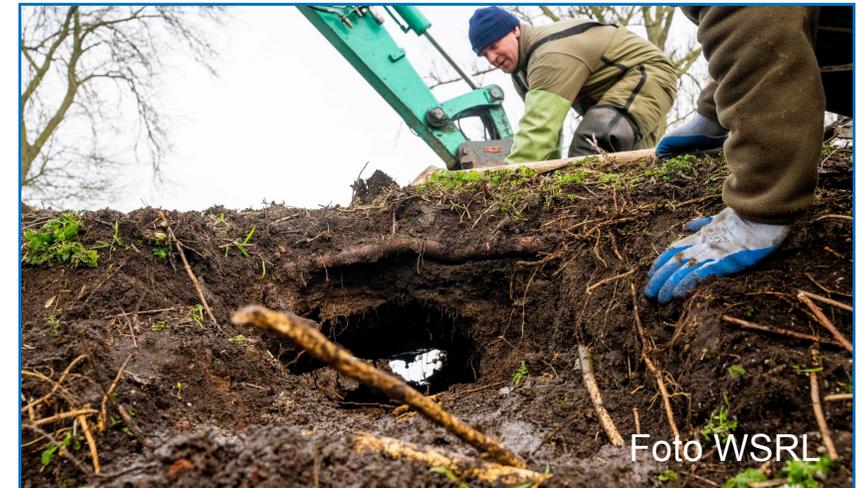
Failure of embankment of Apeldoorn Channel.  
Foto: Vallei and Veluwe regional water authority

# Burrows in flood defenses

Risk analysis for infrastructure, where is the beaver welcome?



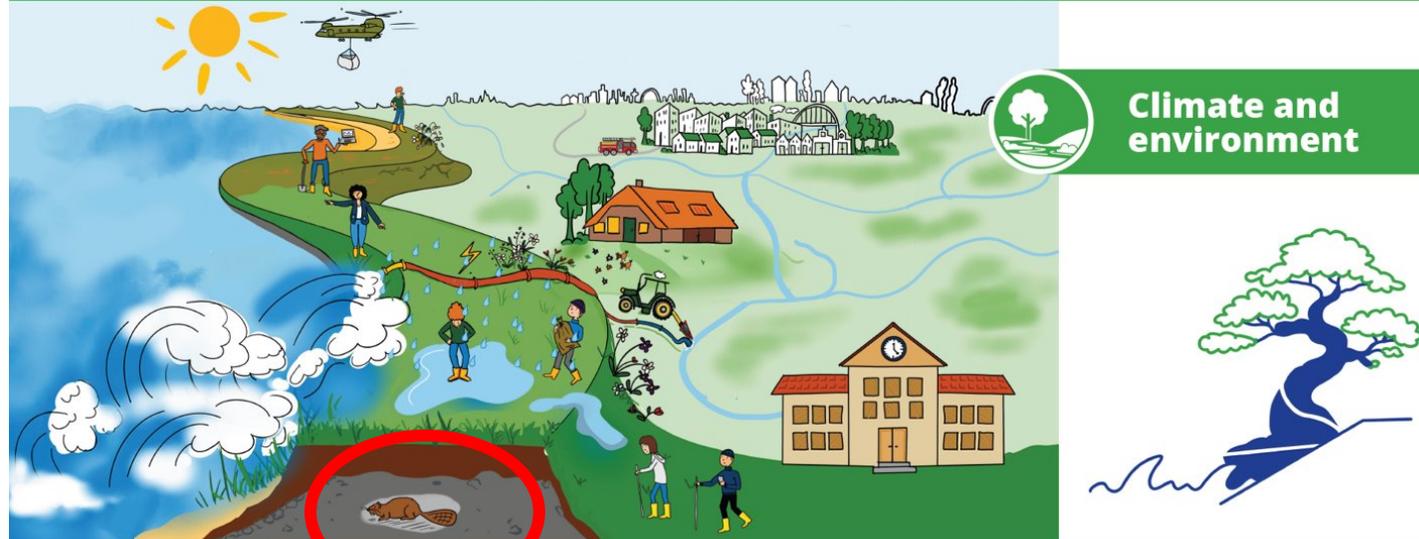
Different types of flood defenses



# International approach

Bonsai

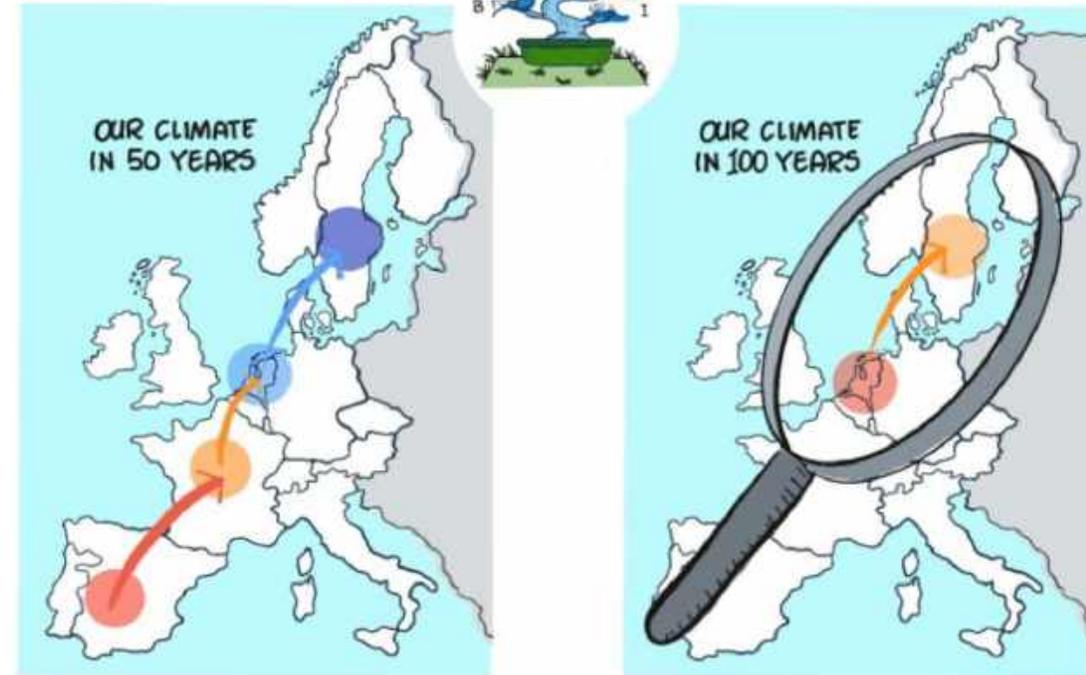
## Boosting flood resilience in estuarine systems anticipating shifting climate zones



**17** partners from BE, DE, FR & NL  
Cooperating from 2024 - 2029

EU funding  
**€6,4 million**

Total project budget  
**€10,7 million**



D.2.1.5 Risk profiling approach for evaluation of the sensitivity of levees to animal effects

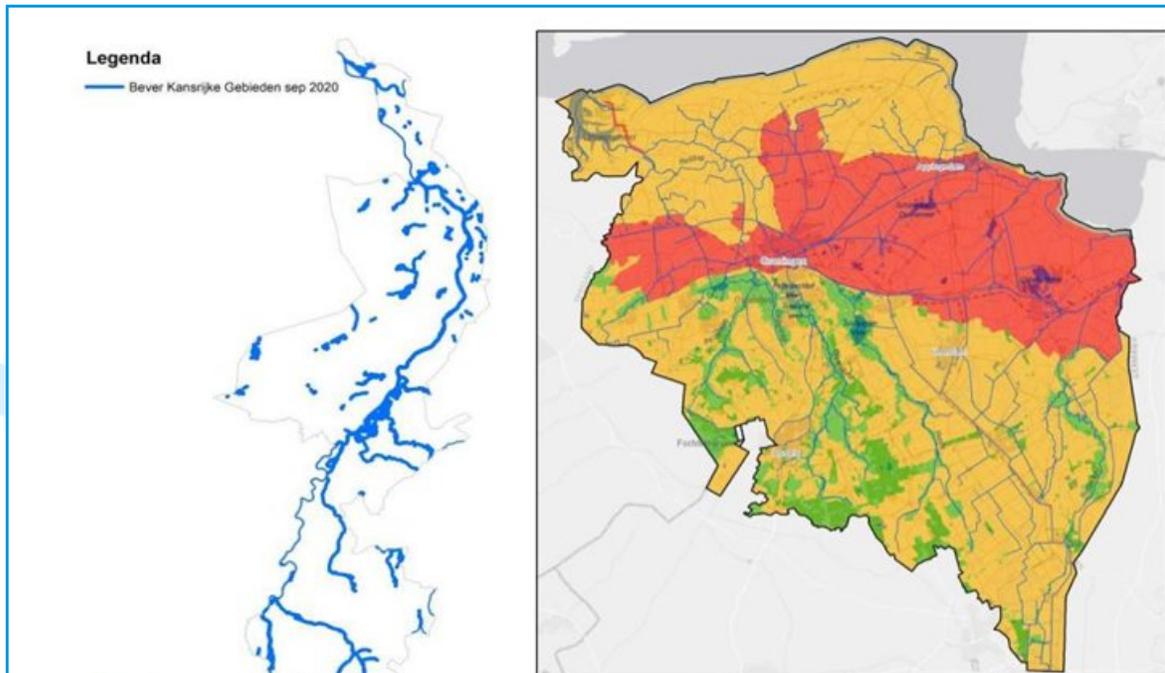
Develop a risk profiling approach for geotechnical failure (f.i animal activity) per levee segment/region.

Lead: DVW, supported by RWS, DMOW, ULille, HZ



# National Approach

- Living together with the beaver
- Sustainable healthy beaver population
- Protection of critical infrastructure
- Zoning based on risk profiles for specific infra
- Zoning helps asset owners



Example:  
two  
provinces  
with  
different  
zoning  
approaches

RAPPORT DEFINITIEF

## Nationale beveraanpak

In opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat  
Versie 20-02-2025

Martine Stam (Sweco)  
Daan Jacobs (Daan Jacobs natuur | management | advies)  
Wieger Zwijkstra (TwynstraGudde)

TwynstraGudde  
60 jaar impact op morgen

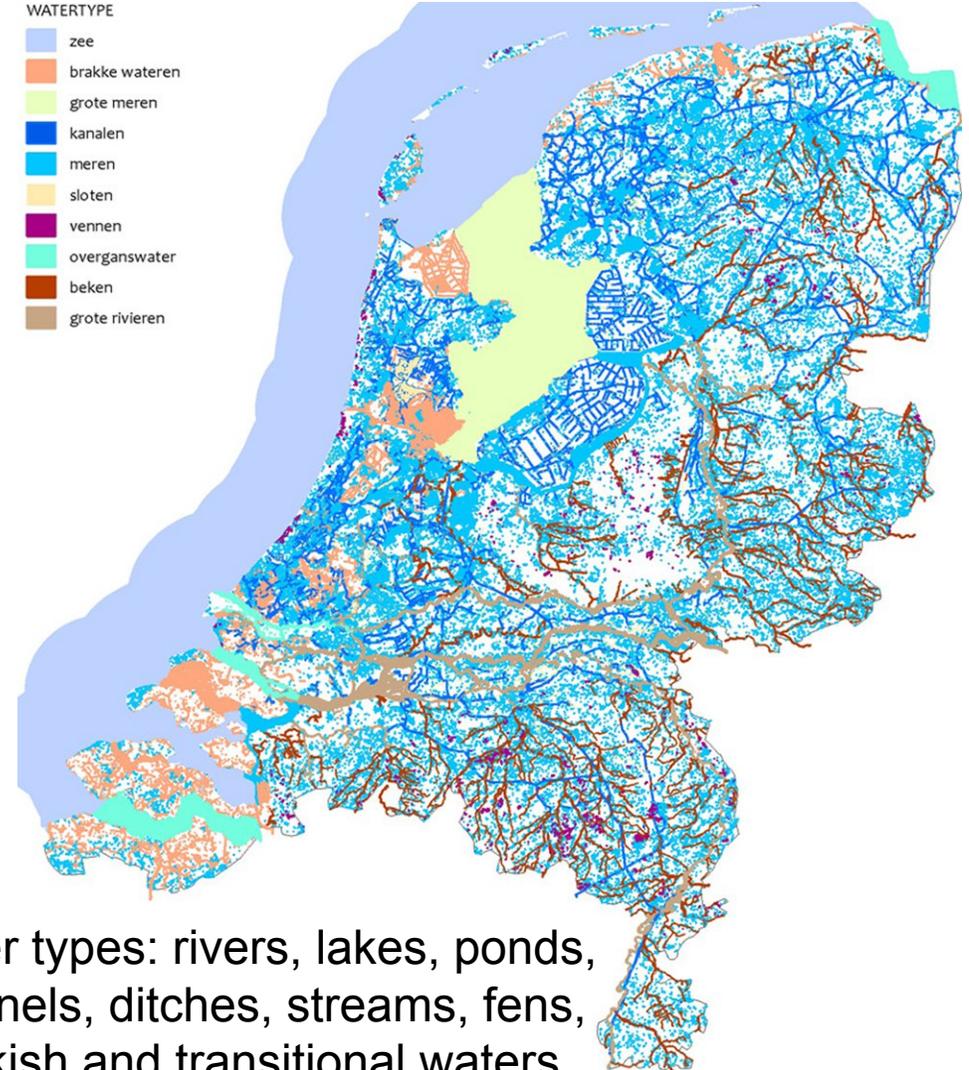
SWECO

Daan Jacobs  
natuur | management | advies

# Challenge



Main water system



Water types: rivers, lakes, ponds, channels, ditches, streams, fens, brackish and transitional waters

# Risk definition



**Hazard: A dangerous phenomenon**, substance, human activity or condition **that may cause** loss of life, injury or other health impacts, property damage, loss of livelihoods and services, social and economic disruption, or environmental **damage**.

**Vulnerability: The characteristics** and circumstances **of a** community, **system** or asset that make it **susceptible to the** damaging **effects** of a hazard

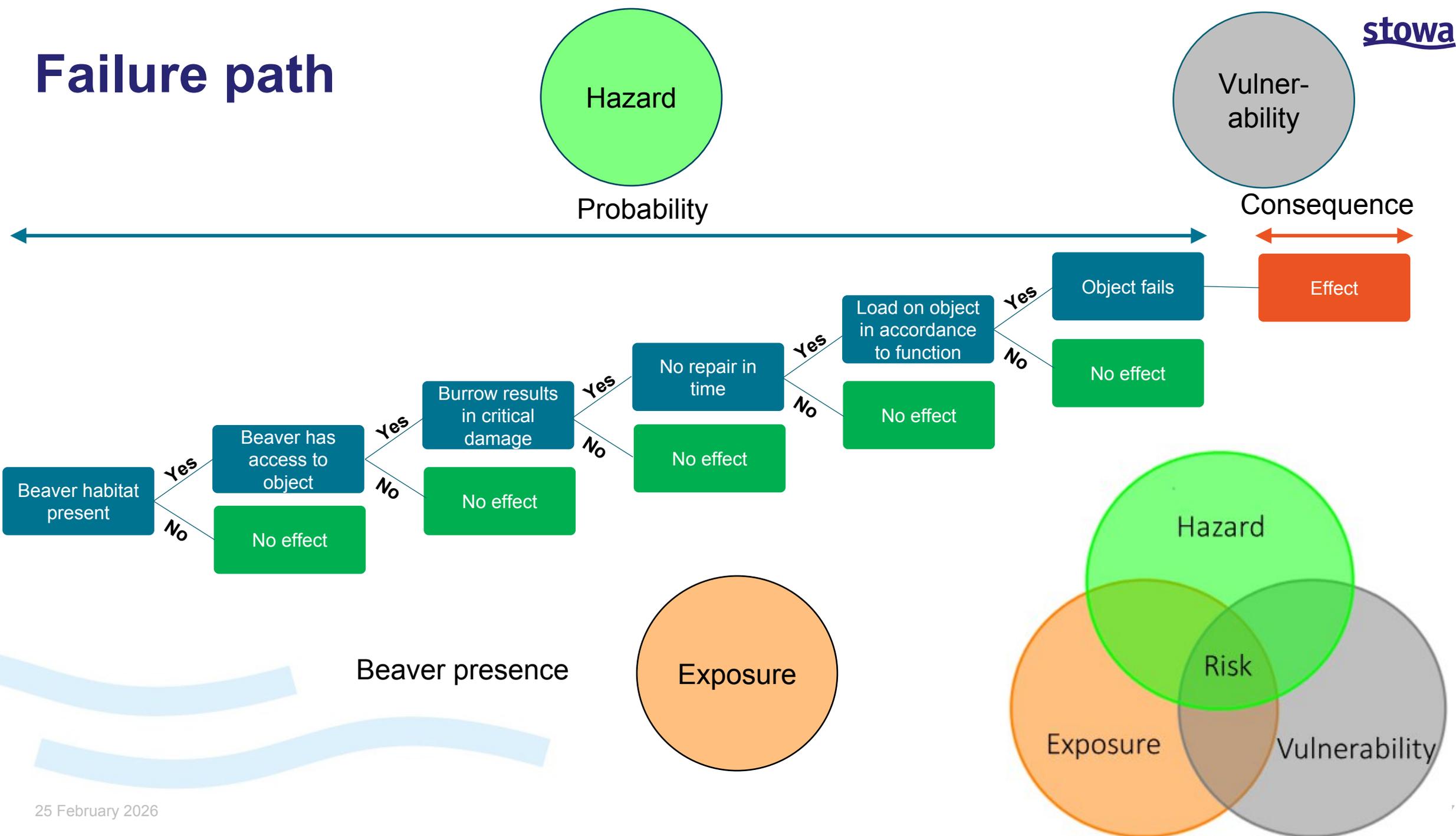
**Exposure: People, property, systems, or other elements present in hazard zones** that are thereby subject to potential losses.

Definitions are different for:

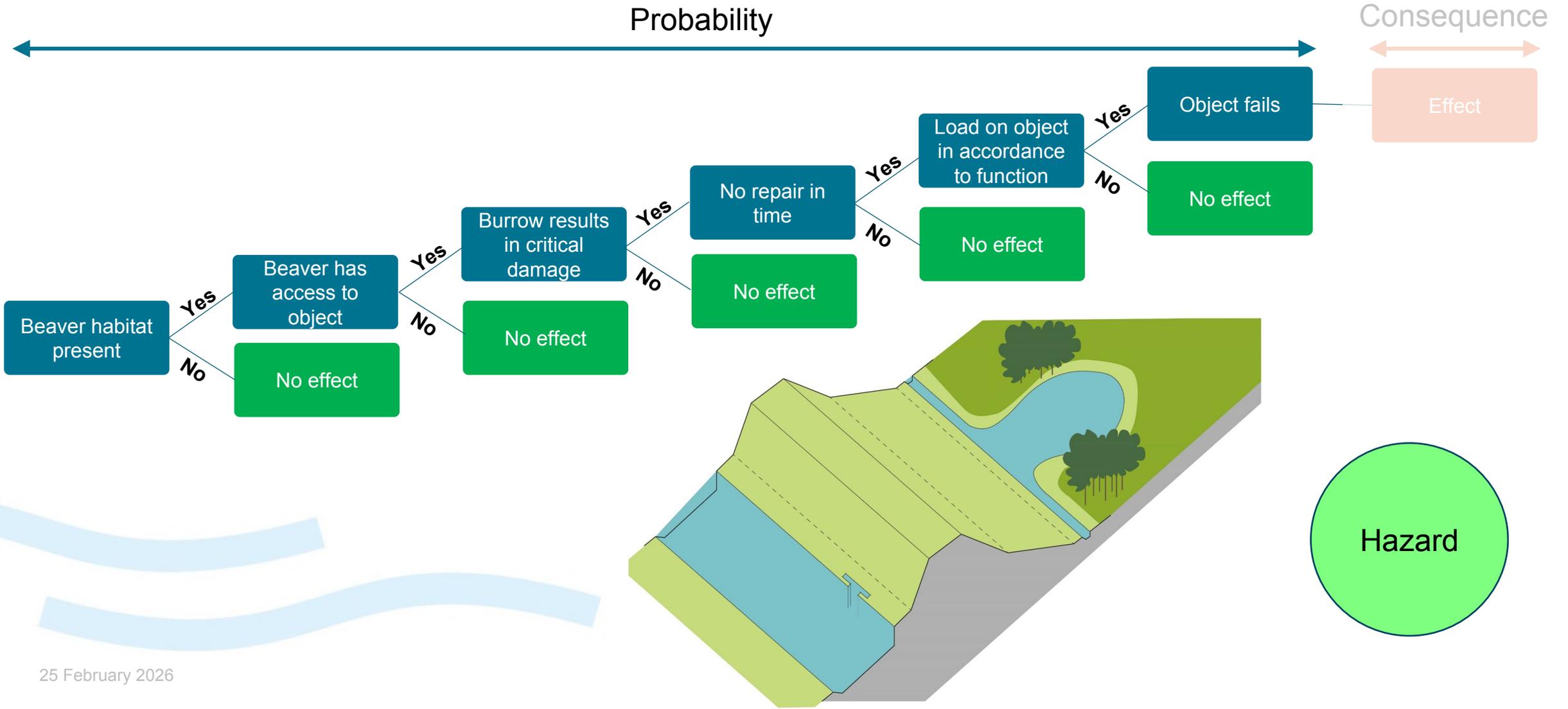
- Economics
- Project management
- Health and occupation
- Infrastructure and engineering
- Social and environment

Robert Lanzafame (TuDelft)

# Failure path



# Spatial analysis of the chance





# Valuating impact

ISO-55001 Asset management risk matrix

Risk classification

Negligible
Low
Medium
High
Very High
Extremely High
Exceptional

Likelihood	Improbable
	A Rare
	B Unlikely
	C Possible
	D Likely
	E Almost certain
F Very often	

Consequence	1 Negligible
	2 Minor
	3 Moderate
	4 Significant
	5 Severe
	6 Very serious Catastrophic

KANS a.g.v. een gebeurtenis of uitvoering van een strategie							
	Wel eens gebeurd in de wereld	Wel eens gebeurd in noordwest Europa	Wel eens gebeurd bij RWS/NL	Meerdere malen gebeurd bij RWS	Een tot enkele malen per jaar bij RWS	Een tot enkele malen per maand bij RWS	Meerdere malen per week bij RWS
	Kleiner dan 1/100.000 kans per jaar of voldoet aan wettelijke norm (= politiek-bestuurlijk geaccepteerd risico)	ca. 1/1000 kans per jaar	ca. 1/100 kans per jaar	ca. 1/10 kans per jaar	ca. 1 keer per jaar of treedt op binnen een jaar	ca. 10 keer per jaar	ca. 100 keer per jaar
	(< 10 <sup>-5</sup> per jaar)	(3*10 <sup>-4</sup> tot 3*10 <sup>-2</sup> per jaar)	(0,003 tot 0,03 per jaar)	(0,03 tot 0,3 per jaar)	(0,3 tot 3 per jaar)	(3 tot 30 per jaar)	(30 tot 300 per jaar)
	Zeer onwaarschijnlijk	Zelden	Mogelijk	Waarschijnlijk	Geregeld	Vaak	Zeer vaak
		A	B	C	D	E	F
Klein 1	V	V	V	V	V	L	M
Beperkt 2	V	V	V	V	L	M	H
Gemiddeld 3	V	V	V	L	M	H	ZH
Groot 4	V	V	L	M	H	ZH	EH
Ernstig 5	V	L	M	H	ZH	EH	EH
Zeer ernstig 6	V	M	H	ZH	EH	EH	EH
Catastrofaal	PBG	UH	UH	UH	UH	UH	UH

# Probability

## Likelihood

KANS a.g.v. een gebeurtenis of uitvoering van een strategie						
<i>Wel eens gebeurd in de wereld</i>	<i>Wel eens gebeurd in noordwest Europa</i>	<i>Wel eens gebeurd bij RWS/NL</i>	<i>Meerdere malen gebeurd bij RWS</i>	<i>Een tot enkele malen per jaar bij RWS</i>	<i>Een tot enkele malen per maand bij RWS</i>	<i>Meerdere malen per week bij RWS</i>
Kleiner dan <b>1/100.000</b> kans per jaar of voldoet aan wettelijke norm (= politiek-bestuurlijk geaccepteerd risico)	ca. <b>1/1000</b> kans per jaar	ca. <b>1/100</b> kans per jaar	ca. <b>1/10</b> kans per jaar	ca. <b>1</b> keer per jaar of treedt op binnen een jaar	ca. <b>10</b> keer per jaar	ca. <b>100</b> keer per jaar
(< 10 <sup>-5</sup> per jaar)	(3*10 <sup>-4</sup> tot 3*10 <sup>-3</sup> per jaar)	(0,003 tot 0,03 per jaar)	(0,03 tot 0,3 per jaar)	(0,3 tot 3 per jaar)	(3 tot 30 per jaar)	(30 tot 300 per jaar)
<b>Zeer onwaarschijnlijk</b>	<b>Zelden</b> <b>A</b>	<b>Mogelijk</b> <b>B</b>	<b>Waarschijnlijk</b> <b>C</b>	<b>Geregeld</b> <b>D</b>	<b>Vaak</b> <b>E</b>	<b>Zeer vaak</b> <b>F</b>

Improbable

Rare

Unlikely

Possible

Likely

Almost certain

Very often

# Consequence

## Effect category:

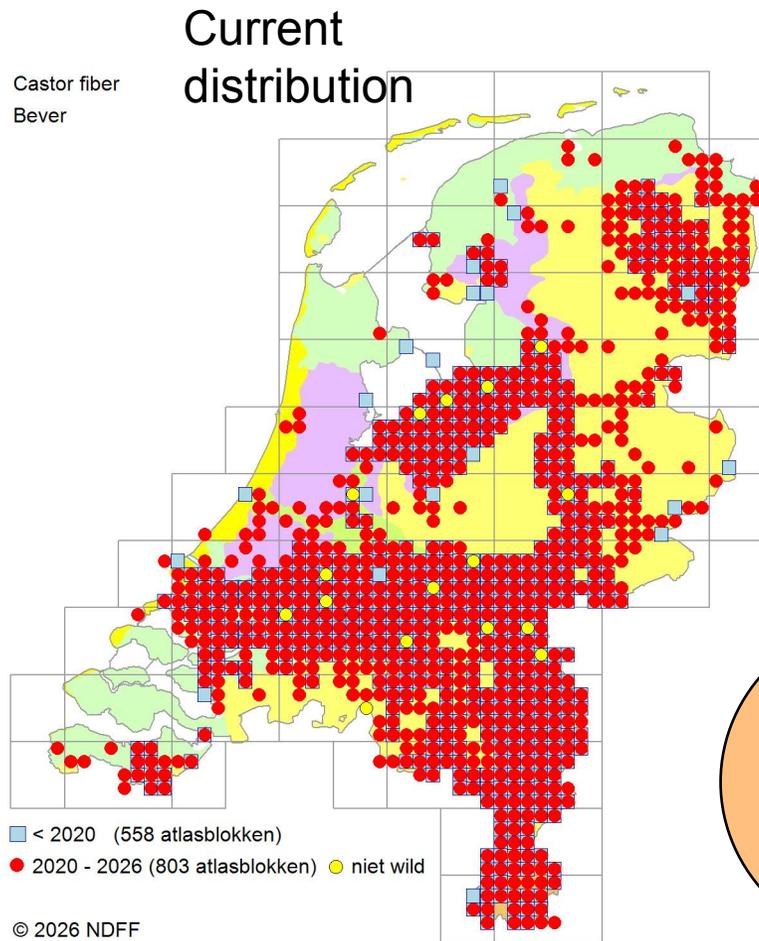
- Safety and health
- Environmental quality
- Sustainability
- Accessibility
- Social impact
- Reliability of government

## Indicators:

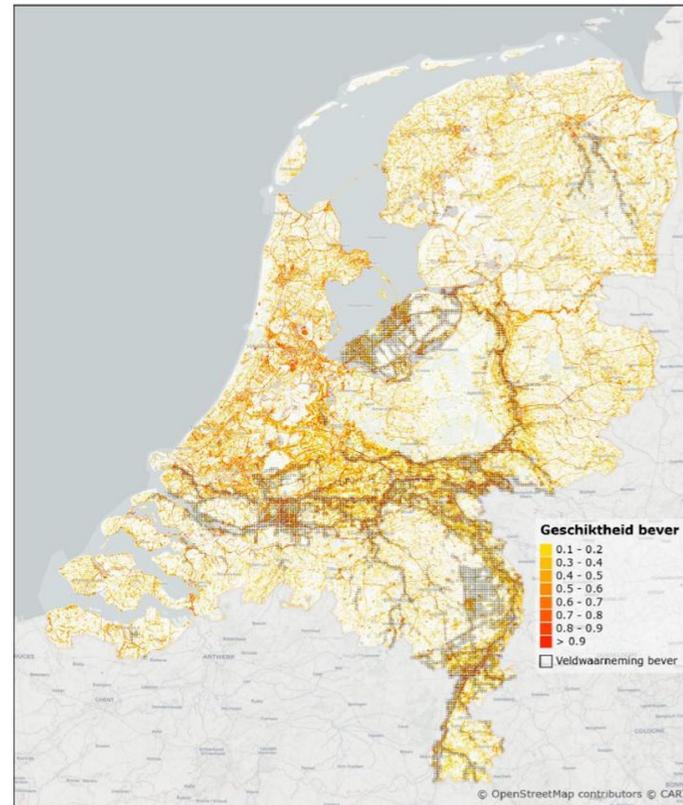
- 1 Negligible
- 2 Minor
- 3 Moderate
- 4 Significant
- 5 Severe
- 6 Very serious
- Catastrophic

		Bedrijfswaarden							
V2.2		Veiligheid	Leefbaarheid	Duurzaamheid	Bereikbaarheid	Maatschappelijke impact	Betrouwbare overheid (publieke waarde)		
Toelichting		Veiligheid van omgeving, veiligheid van mensen en gezondheid	Kwaliteit leefomgeving: direct effect op kwaliteit van leven van mens en dier: hier en nu waarneembaar. 8 domeinen: geluid, lucht-, water- en bodemkwaliteit, ruimtelijke kwaliteit/cultureel erfgoed*, zwerfafval/microplastics*, natuur/biodiversiteit, gezondheid/actieve mobiliteit.	Duurzaamheid: indirect effect op kwaliteit van leven van mens en dier: elders of later waarneembaar. 3 domeinen: klimaatneutraal (besparing/vergroening), circulariteit, klimaatrobuust.	Onvoorzien geen gebruik van infrastructuur (aantal mensen dat er per dag geen gebruik van maken)	Ongeplande / onverwachte monetaire kosten voor I&W, Rijkswaterstaat of maatschappij	Ernst van commotie en/of aansprakelijkheid		
Indicatoren	a	Letselschade [aantal personen met letsel]	Geluidshinder [aantal bewoners met hoge mate van hinder]	Klimaatneutraliteit (op basis van CO2-emissie) [aantal ton CO2]	Verloren gebruikersdagen weg (1 verloren gebruikersdag weg staat voor ca. 1 VVU weg) [aantal verloren gebruikersdagen]	Impact derden [€]	Mate van commotie		
	b	Overlijden (individueel) [aantal doden]	Luchtkwaliteit [aantal meetpunten boven de norm]	Circulariteit (op basis van de milieukostenindicator) [€]	Verloren gebruikersdagen vaarweg (1 verloren gebruikersdag vaarweg staat voor ca. 10 VVU's vaart) [aantal verloren gebruikersdagen]	Evacuatiedag woning [aantal evacuatiedagen x woningen]	Meldingen van hinder/klachten [aantal]		
	c	Gezondheid [verkortings levensmaanden uitgedrukt in QALY]	Waterkwaliteit en natuur [m2 zeer ernstig aangetast oppervlak met herstelduur > 10.000 dagen]	-	-	Bewoners overlast dagen (BOD) [aantal mensen x dagen van overlast door stank en hinder]	Veroordeling en/of toezicht Politieke consequenties		
	d	Overlijden (groepsrisico) [groeps grootte]	Bodemkwaliteit [m2 verloren woonfunctie als gevolg van slechte bodemkwaliteit]	-	-	Langdurig geen basisvoorzieningen (o.b.v. aantal getroffen en i.c.m. tijdsduur) [aantal & tijdsduur]	-		
Per effectcategorie (klein t/m zeer ernstig) zijn de effecten met elkaar uitgelijnd middels monetarisering. De effecten per bedrijfswaarde zijn hiermee horizontaal vergelijkbaar.									
Effectcategorie (gevolg / consequentie)	Klein		EHBO / letsel geen doden < 5 QALY maanden	< 100 bewoners met hoge mate van geluidshinder < 1 meetpunt dreigende overschrijding 1 tot 10 m² permanent aangetast 1 tot 10 m² verloren woonfunctie	CO2-emissie 50 tot 100 ton MKI €5.000 tot €50.000	Verloren gebruikersdagen weg 500 tot 5.000 Verloren gebruikersdagen vaart 1 tot 10	Gevolgschade €5.000-€50.000 Evacuatiedagen 5-50 5.000-50.000 BOD	Lokale commotie 50 tot 500 klachten Waarschuwing / onderzoek Boete 4e categorie	Klein
	Beperkt		Gewond (tijdelijk letsel) < 10 geen doden 5 tot 50 QALY maanden	100 tot 1.000 bewoners met hoge mate van hinder 1 tot 10 meetpunten dreigende overschrijding 100 tot 1.000 m² permanent aangetast 10 tot 100 m² verloren woonfunctie	CO2-emissie 500 tot 5.000 ton MKI €50.000 tot €500.000	Verloren gebruikersdagen weg 5.000 tot 50.000 Verloren gebruikersdagen vaart 10 tot 100	Gevolgschade €50.000 tot €500.000 Evacuatiedagen 50-500 50.000-500.000 BOD	Regionale commotie 500 tot 5.000 klachten Aanwijzing Boete 5e categorie	Beperkt
	Gemiddeld		Ernstig gewond (blijvend letsel) < 10 geen doden 50 tot 500 QALY maanden	1.000 tot 10.000 bewoners met hoge mate van hinder 1 tot 10 meetpunten boven norm 1.000 tot 10.000 m² permanent aangetast 100 tot 1.000 m² verloren woonfunctie	CO2-emissie 5.000 tot 50.000 ton MKI €0,5 miljoen tot €5 miljoen	Verloren gebruikersdagen weg 50.000 tot 500.000 Verloren gebruikersdagen vaart 100 tot 1.000	Gevolgschade €0,5 miljoen tot €5 miljoen Evacuatiedagen 500 tot 5.000 0,5 miljoen tot 5 miljoen BOD	Provinciale commotie 5.000 tot 50.000 klachten Dwangbevel Boete 6e categorie	Gemiddeld
	Groot		Ernstig gewond 10 tot 100 1 tot 10 doden 500 tot 5.000 QALY maanden	10.000 tot 100.000 bewoners met hoge mate van hinder 10 tot 100 meetpunten boven norm 1 tot 10 ha permanent aangetast 1.000 tot 10.000 m² verloren woonfunctie	CO2-emissie 50.000 tot 500.000 ton MKI €5 miljoen tot €50 miljoen	Verloren gebruikersdagen weg 0,5 miljoen tot 5 miljoen Verloren gebruikersdagen vaart 1.000 tot 10.000	Gevolgschade €5 miljoen tot €50 miljoen Evacuatiedagen 5.000 tot 50.000 5 miljoen tot 50 miljoen BOD	Nationale commotie 50.000 tot 500.000 klachten Audientie bij Minister / Motie van afkeuring	Groot
	Ernstig		Ernstig gewond 100 tot 1.000 10 tot 100 doden 5.000 tot 50.000 QALY maanden	100.000 tot 1 miljoen bewoners met hoge mate van hinder 100 tot 1.000 meetpunten boven norm 10 tot 100 ha permanent aangetast 1 tot 10 ha verloren woonfunctie	CO2-emissie 0,5 miljoen tot 5 miljoen ton MKI €50 miljoen tot €500 miljoen	Verloren gebruikersdagen weg 5 miljoen tot 50 miljoen Verloren gebruikersdagen vaart 10.000 tot 100.000	Gevolgschade €50 miljoen tot €500 miljoen Evacuatiedagen 50.000 tot 500.000 50 miljoen tot 5 miljard BOD	Europese commotie 0,5 miljoen tot 5 miljoen klachten Strafzaak HD/DG, Curatele Motie van wantrouwen kabinet	Ernstig
	Zeer ernstig		Ernstig gewonden 1.000 tot 10.000 100 tot 1.000 doden (individueel risico) 50.000 tot 500.000 QALY maanden 10 tot 100 doden (groepsrisico)	1 miljoen tot 10 miljoen bewoners met hoge mate van hinder > 1.000 meetpunten boven norm > 100 ha permanent aangetast > 10 ha verloren woonfunctie	CO2-emissie 5 miljoen tot 50 miljoen ton MKI > €500 miljoen	Verloren gebruikersdagen weg 50 miljoen tot 500 miljoen Verloren gebruikersdagen vaart > 100.000	Gevolgschade €0,5 miljard tot €5 miljard Evacuatiedagen > 0,5 miljoen > 5 miljard BOD	Wereldwijde commotie Meer dan 5 miljoen klachten Aftreden kabinet	Zeer ernstig
	Catastrofaal		> 10.000 ernstige gewonden > 1.000 doden (individueel risico) > 500.000 QALY maanden 100 tot 1.000 doden (groepsrisico)	- - - -	- - - -	- - - -	Gevolgschade > €5 miljard - - - >100.000 en >1 mnd of veel meer dan 10.000 >1 jaar geen basisvoorzieningen	- - - -	Catastrofaal

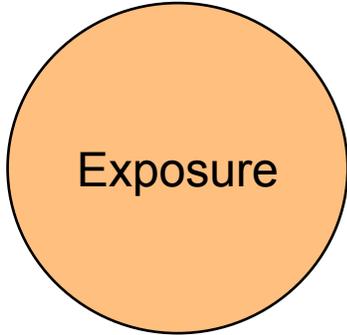
# Exposure map



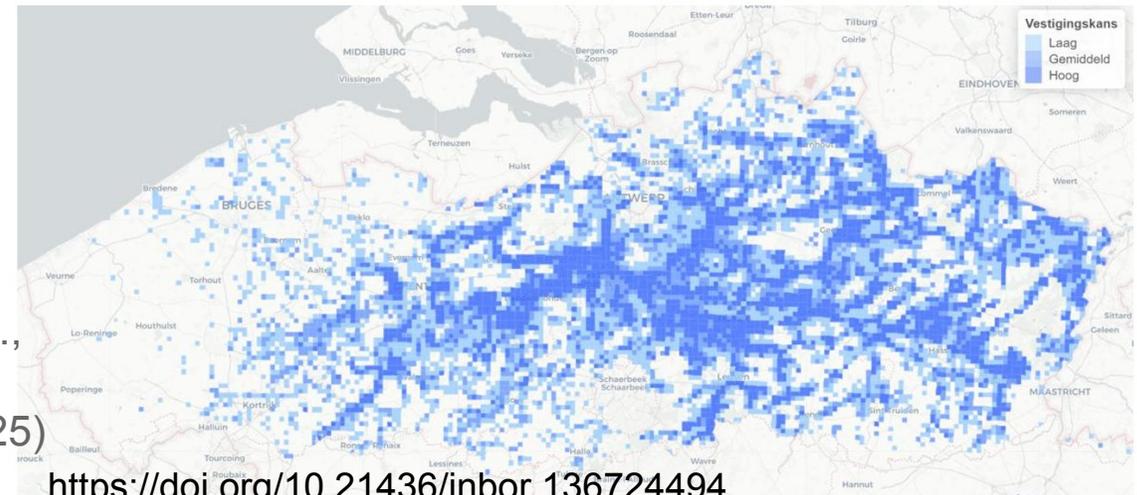
Potential habitat map



Figuur 2.10 Habitatgeschiktheidskaart bever met geschikt habitat in dieporanje/rood. Veldwaarnemingen van bevers zijn er als kilometerhokken overheen gelegd (Warmer e.a., 2025:23).



Future expansion probability



Huysentruyt, F., Dockx, R., & Rutten, A. (2025)

<https://doi.org/10.21436/inbor.136724494>

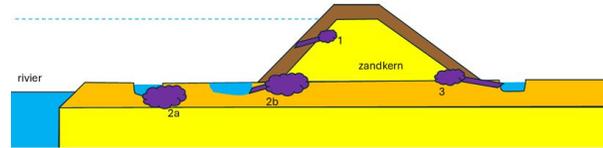
# Generic risk assessment methodology



**Deltares**

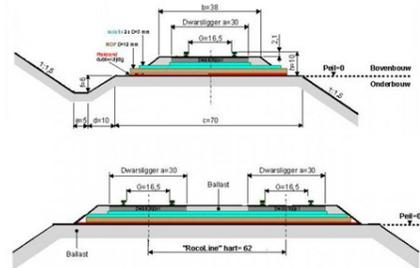
**Risicoanalyse bevergraverijen**  
Versterking onderzoek waterveiligheid 2025

enabling delta life

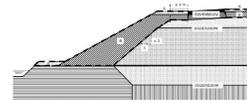


Figuur 3.1 Locaties van potentieel gevaarlijke bevergraverij (Kanning & Van Dam, 2025:6).

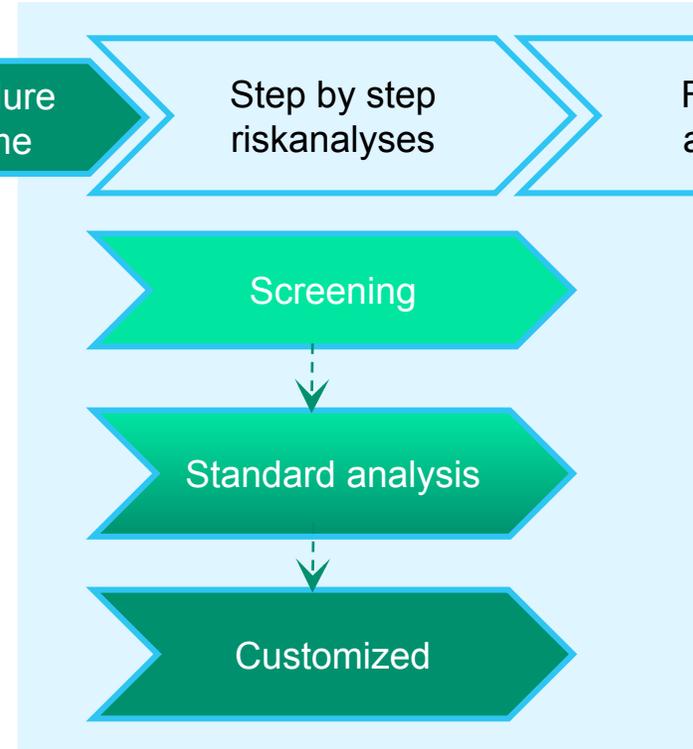
## Archetype levee



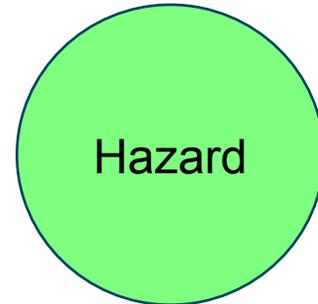
## Archetype railroad



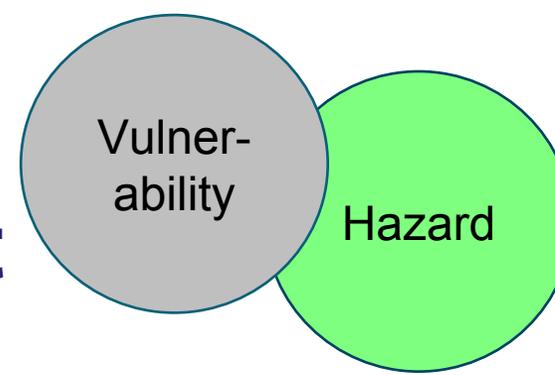
## Archetype road



Koelewijn, 2025



# GIS result levee risk assessment

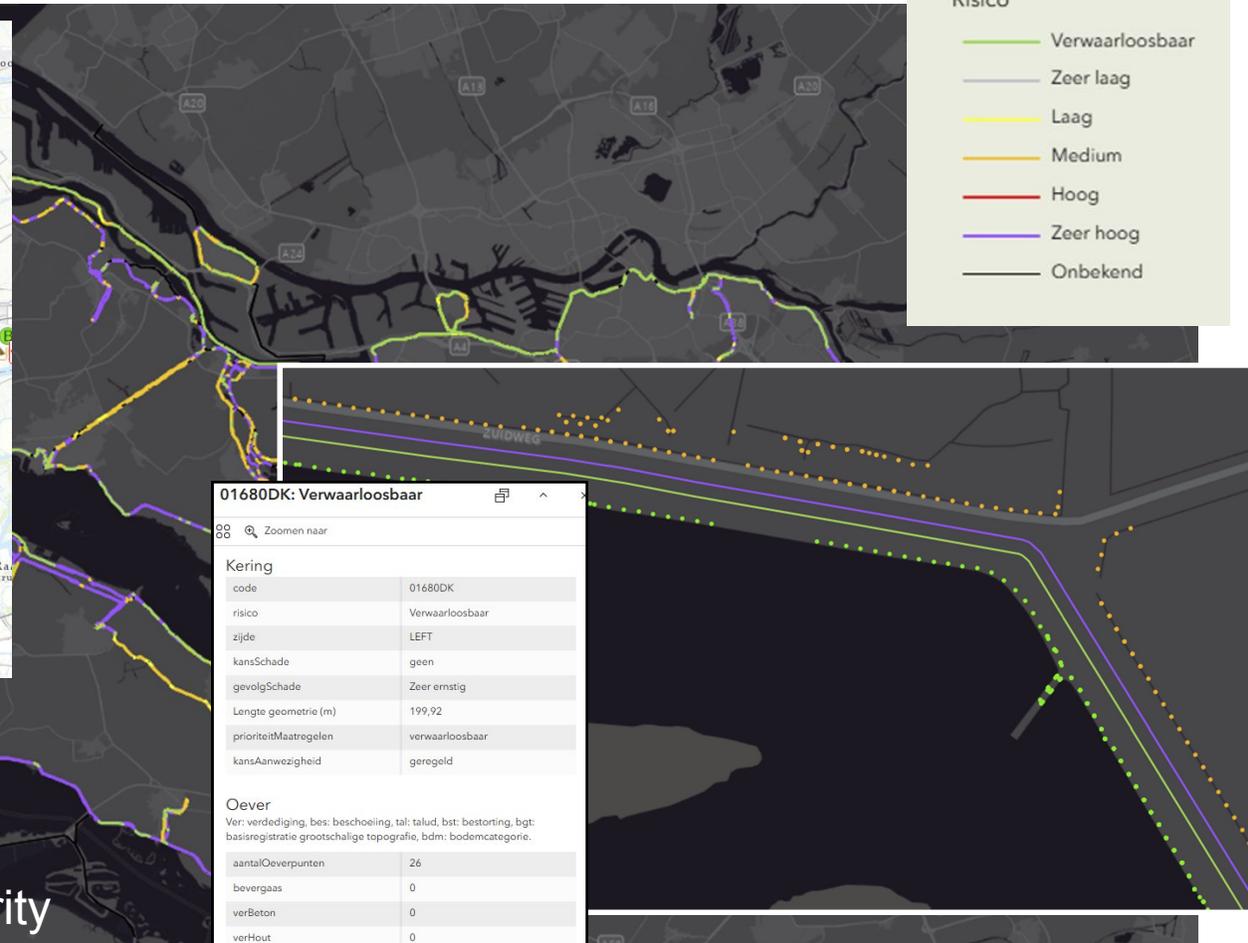
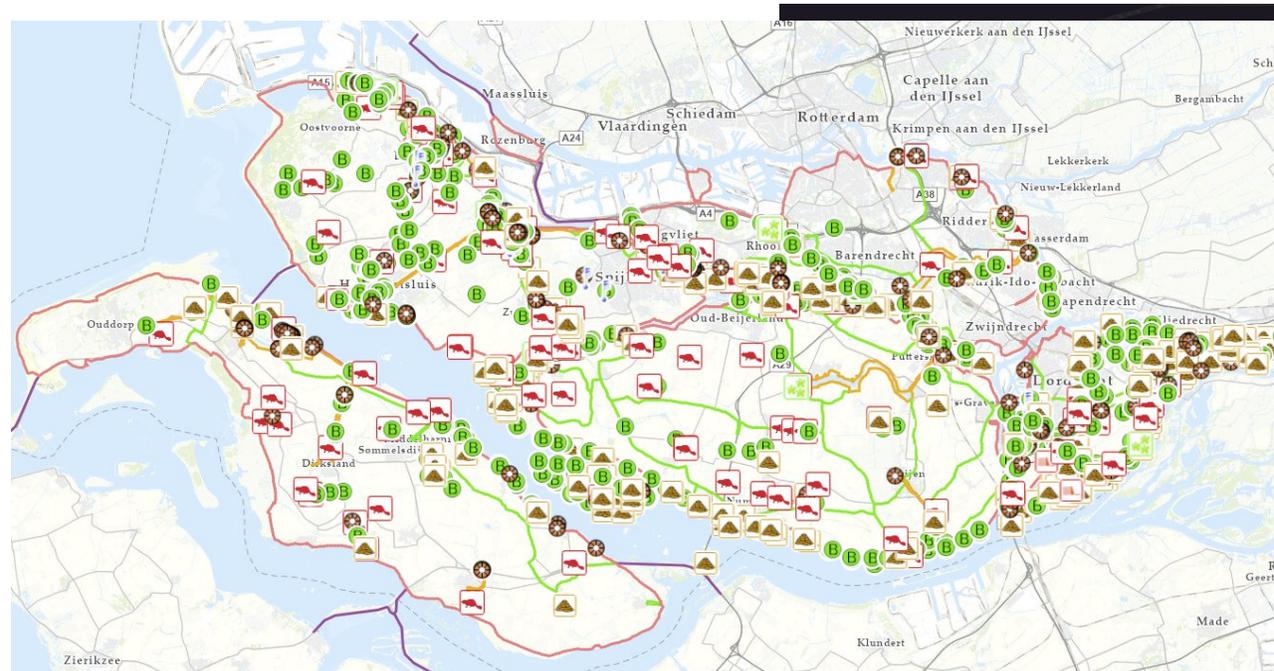


**Beverschade**

**Risico**

Risico

- Verwaarloosbaar
- Zeer laag
- Laag
- Medium
- Hoog
- Zeer hoog
- Onbekend



Exposure

Jacob Noordam  
Hollandse Delta  
Regional Waterauthority

# Concluding

Learn from other fields of practice

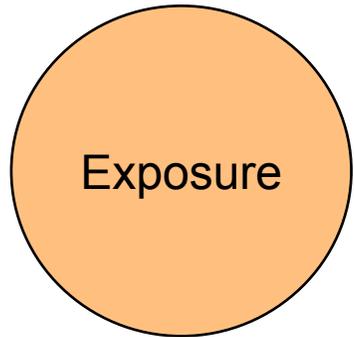
Learn from other countries

“Be aware of the definition of risk you use”.

A lot of steps take place, before potential failure of an object,  
and after this failure, all kinds of consequences may occur,  
that only can happen, when the beaver is active.



# GIS result ProRail Risk assessment Badger & Beaver

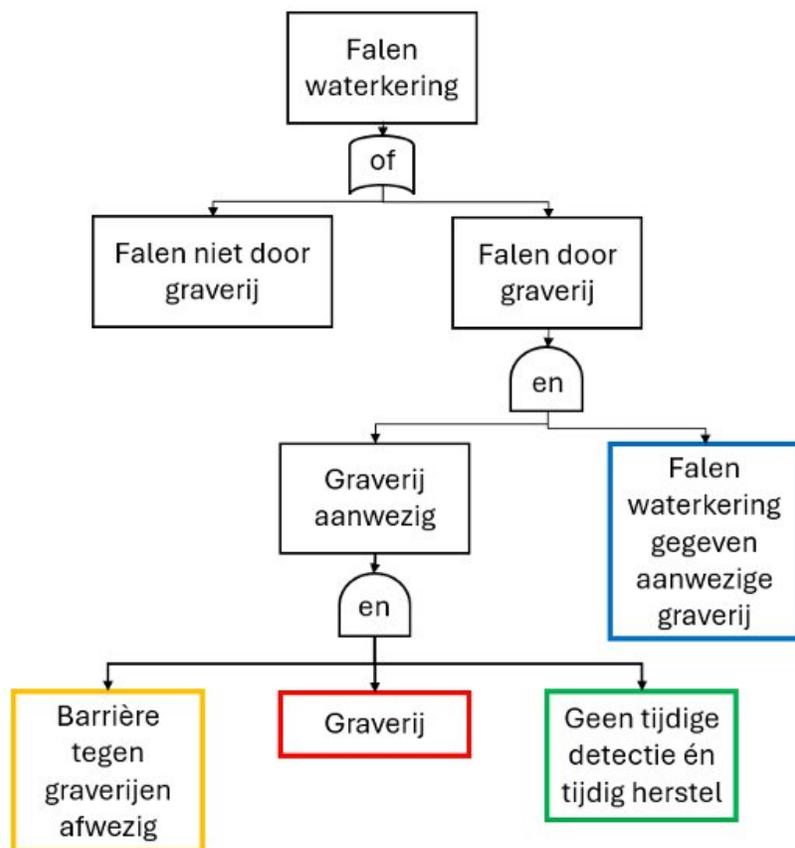
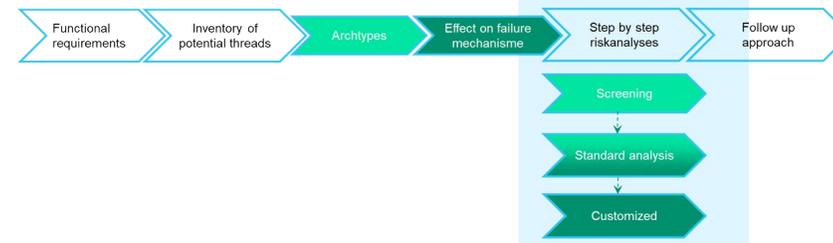


The first results of 1000 km field survey are expected summer 2025.

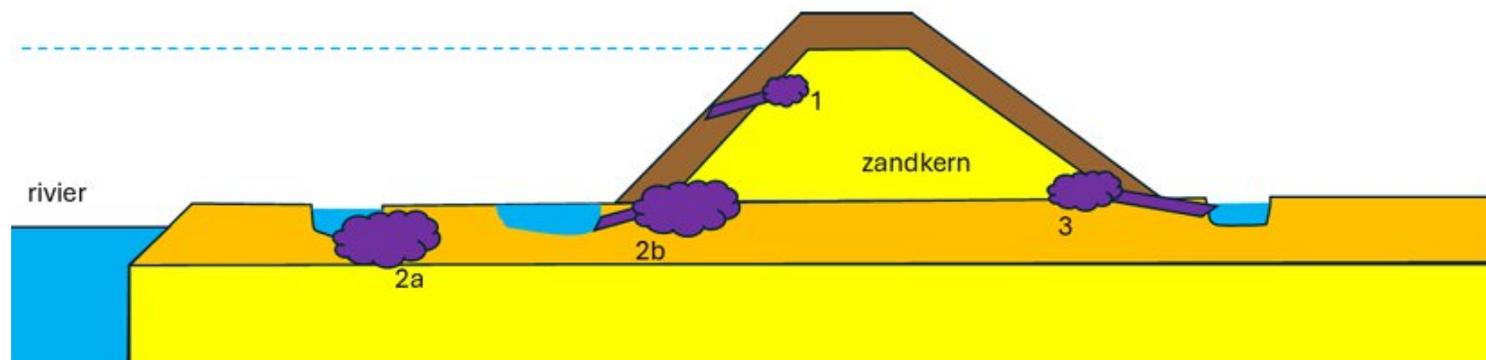




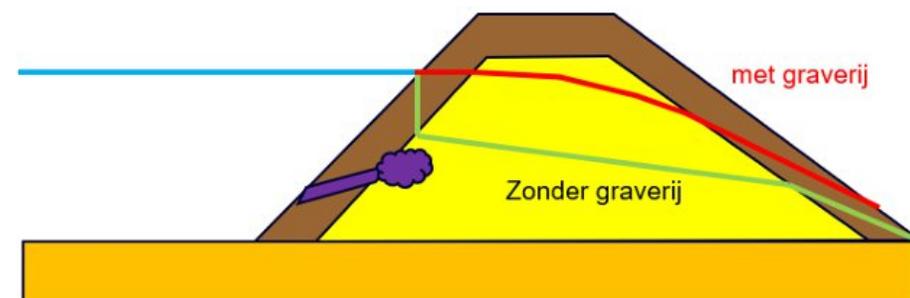
# Inventory of potential threats



Figuur 3.5 Foutenboom voor het falen van een waterkering, met focus op dierlijke graverijen (naar Kanning & Van Dam, 2025:3).



Figuur 3.1 Locaties van potentieel gevaarlijke bevergraverij (Kanning & Van Dam, 2025:6).

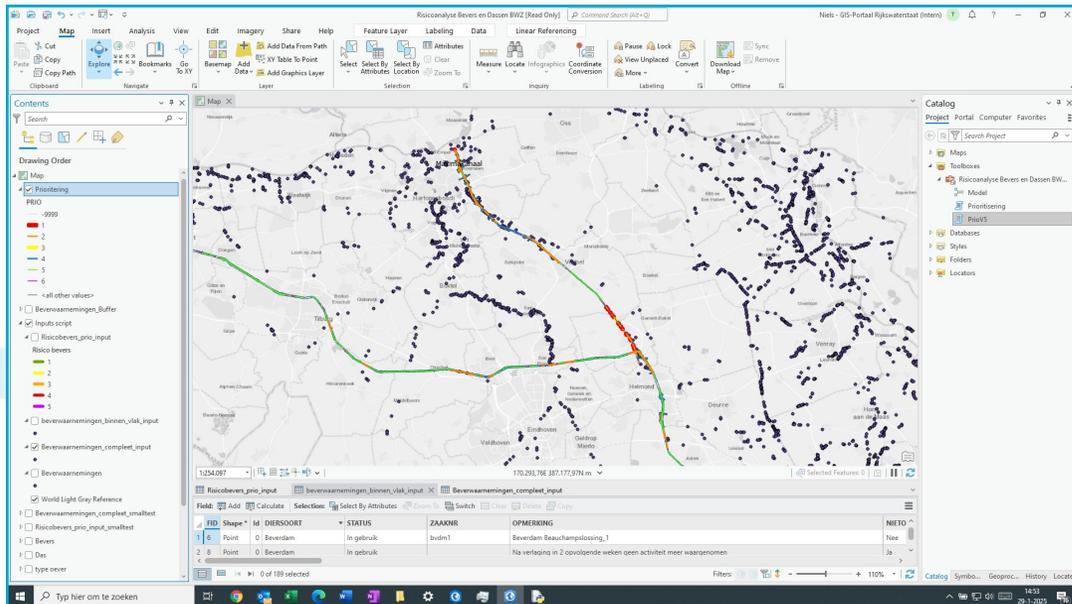
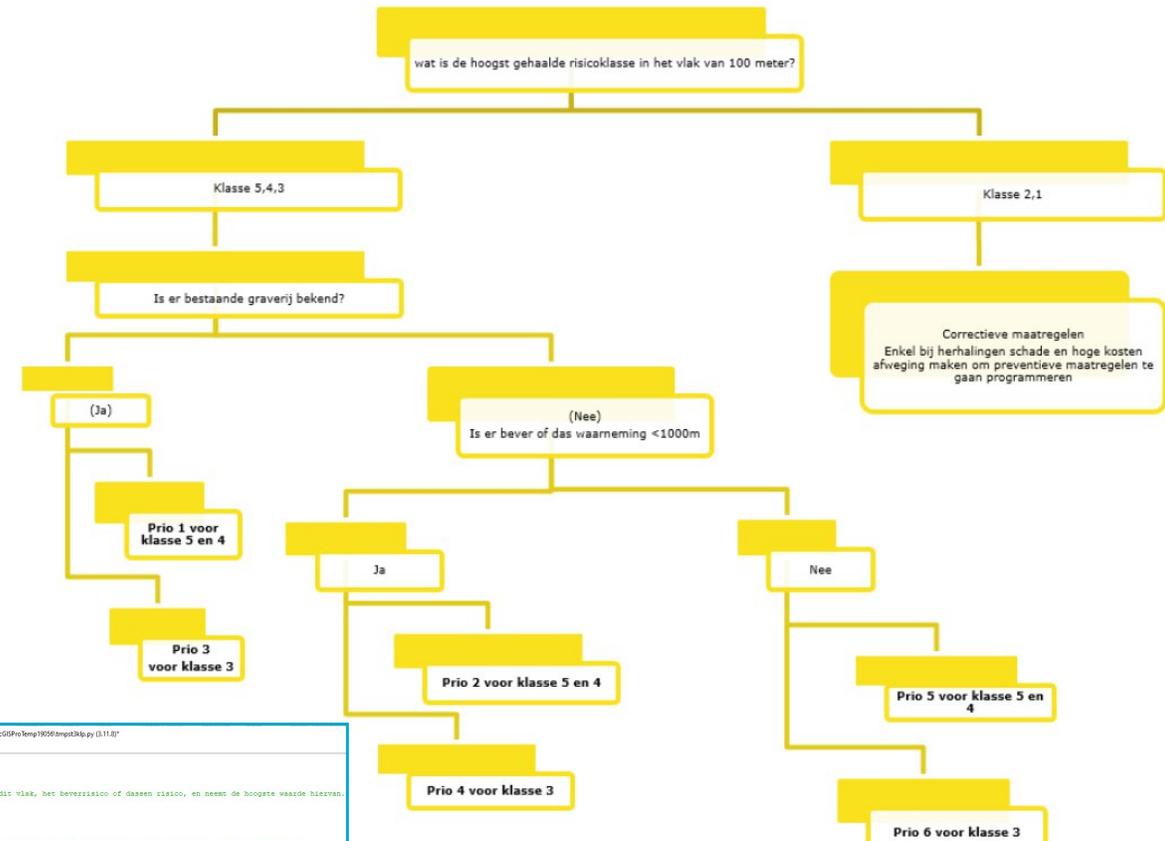


Figuur 3.7 Invloed van bevergraverij in buitentalud op freatisch vlak, principe (Kanning & Van Dam, 2025:8).

# To develop Rijkswaterstaat: Prioritisation

## What infras to start with:

- Decision tree (logic) with prio 1-5
- Scripting for analysis
- GIS viewer
- Programming



```

def calculate_prio(score):
    """
    Dit stuk code bepaalt de Prioriteitsklasse van 1 t/m 6. Dit vertaalt de score als uitkomst van de beslboom
    naar interpreteerbare categorieën van 1 t/m 6.
    """
    if score in [104, 105]:
        return 1
    elif score in [14, 15]:
        return 2
    elif score == 103:
        return 3
    elif score == 13:
        return 4
    elif score in [4, 5]:
        return 5
    elif score == 3:
        return 6
    else:
        return -9999 # No priority

def script_tool(input_fc, graverij_fc, waarnemingen_fc, output_fc):
    """
    Dit is het main gedeelte van een script, waarin alle scores worden berekend aan de hand van de beschikbare data.
    """
    arcpy.AddMessage("Starting script...")

    # Validate inputs
    if not all(arcpy.Exists(fc) for fc in [input_fc, graverij_fc, waarnemingen_fc]):
        arcpy.AddError("One or more input feature classes do not exist.")
        return

    # Copy input to output
    arcpy.CopyFeatures_management(input_fc, output_fc)
    arcpy.AddMessage("Copied input FC to output FC")

    # Add necessary fields if not present
    fields_to_add = ["prio_score", "PRIORITY", "PRIORITY"]
    for field_name, field_type in fields_to_add:
        if field_name not in [f.name for f in arcpy.ListFields(output_fc)]:
            arcpy.AddField_management(output_fc, field_name, field_type)

    # Buffering input to 50 meters
    arcpy.Buffer_analysis(input_fc, input_buffer_fc_50, "50 Meters")
    arcpy.AddMessage("Buffered input FC to 50 meters.")

    # Create a layer file for more efficient calculations in memory
    graverij_layer = "graverij_layer"
    
```