

A landscape photograph showing a river on the left, a grassy bank in the foreground, and a green field extending to the right. In the background, there are trees and a building with a thatched roof. The sky is overcast.

Veiligheidsbenadering regionale keringen

Programma

Welkom

Inhoudelijke inleidingen

- **IPO-tabel**
- **Voorbeelduitwerking (impact analyse)**
- **Toepassing Bewezen sterkte boezemkade**
- **Evident verwaarloosbare faalkans (veilige afmeting)**
- **Beschouwing LIR & GR**

Inventarisatie onduidelijkheden etc.

PAUZE

Discussie

Conclusie en borrel (< 17 uur)



IPO tabel

Richtlijn normeren boezemkaden 1999 (IPO-methode)

Enkele aandachtspunten die ik graag met u wil delen

- De methode kent twee normen:
 - **afkeurgrens**
 - **ontwerpnorm** (economisch optimale faalkans)

Richtlijn normeren boezemkaden 1999 (IPO-methode)

Enkele aandachtspunten die ik graag met u wil delen

- De methode kent twee normen:

- **afkeurgrens** staat als omgevingswaarde in de omgevingsverordening (IPO-klasse of overschrijdingsfrequentie)

Sluit aan op vigerende praktijk (jaren 80-90). Dit voorkwam direct grootschalig afkeuren bij 1^e toetsing na invoering van de methode.

Landgebruik verschilt per polder, daarom differentiatie rondom huidige praktijk o.b.v. directe economische schade bij overstroming

Overstromingsrisico boezemkaden (bij afkeurgrens) was ca. 10 keer zo groot als overstromingsrisico primaire waterkeringen

- **ontwerpnorm** (economisch optimale faalkans)

Leidt tot veel kleinere overstromingskans dan volgens de afkeurgrens

Richtlijn normeren boezemkaden 1999 (IPO-methode)

Enkele aandachtspunten die ik graag met u wil delen

▪ De methode kent twee normen:

- **afkeurgrens** staat als omgevingswaarde in de omgevingsverordening (IPO-klasse of overschrijdingsfrequentie)

Sluit aan op vigerende praktijk (jaren 80-90). Dit voorkwam direct grootschalig afkeuren bij 1^e toetsing na invoering van de methode.

Vigerende praktijk (jaren 80 – 90) komt neer op IPO-klasse III

Landgebruik verschilt per polder, daarom differentiatie rondom huidige praktijk o.b.v. directe economische schade bij overstroming

Differentiatie leidde tot de vijf IPO-klassen: IPO-klasse I – IPO-klasse II – **IPO-klasse III** – IPO-klasse IV – IPO-klasse V

Overstromingsrisico boezemkaden (bij afkeurgrens) was ca. 10 keer zo groot als overstromingsrisico primaire waterkeringen

Werd geaccepteerd voor afkeurgrens, maar daarom wel ontwerpnorm voor versterking of nieuwe aanleg.

- **ontwerpnorm** (economisch optimale faalkans)

Leidt tot veel kleinere overstromingskans dan volgens de afkeurgrens

Zorgt ervoor dat door boezemkaden geboden veiligheid geleidelijk naar een hoger niveau wordt gebracht.

Richtlijn normeren boezemkaden 1999 (IPO-methode)

Enkele **zorgpunten** die ik graag met u wil delen

- Er zijn signalen dat voor het ontwerp van versterkingen IPO-klassen worden gebruikt in plaats van ontwerpnormen.
Dat leidt niet tot het bereiken van een hoger veiligheidsniveau.
- Voor de bepaling van de overstromingsdiepte is in de Richtlijn een volumeberekening beschreven (evenwichtssituatie).
Bij overstromingsmodellen wordt vaak na 48 uur de bres gedicht of de berekening gestopt en past de IPO-schadetabel mogelijk niet.
Dat zou kunnen leiden tot te lage berekende IPO-klassen. Als alternatief een andere (bijvoorbeeld “48-uur”) schadetabel afleiden?
- Voor primaire waterkeringen zijn er nieuwe normen, die vaak tot een kleiner overstromingsrisico leiden dan de oude normen.
Overstromingsrisico boezemkaden (bij afkeurgrens) is dan nog groter t.o.v. het overstromingsrisico primaire waterkeringen
- Lengte-effect wordt niet beschouwd bij de afkeurgrens
- IPO-klasse V is strengste klasse

Richtlijn normeren boezemkaden 1999 (IPO-methode)

Enkele **zorgpunten** die ik graag met u wil delen

- Er zijn signalen dat voor het ontwerp van versterkingen IPO-klassen worden gebruikt in plaats van ontwerpnormen. Dat leidt niet tot het bereiken van een hoger veiligheidsniveau.
- Voor de bepaling van de overstromingsdiepte is in de Richtlijn een voorberekening beschreven (evenwichtssituatie). Bij overstromingsmodellen wordt vaak na 48 uur de berekening gestopt en past de IPO-schadetabel mogelijk niet. Dat zou kunnen leiden tot te lage berekeningen. Is alternatief een andere (bijvoorbeeld “48-uur”) schadetabel afleiden?
- Voor primaire waterkeringen zijn er nieuwe normen, die vaak tot een kleiner overstromingsrisico leiden dan de oude normen. Overstromingsrisico boezemkaden (bij afkeurgrens) is dan nog groter t.o.v. het overstromingsrisico primaire waterkeringen
- Lengte-effect wordt niet beschouwd bij de afkeurgrens
- IPO-klasse V is strengste klasse

Herijking van, of overstap naar nieuwe, veiligheidsbenadering voor regionale keringen is urgent en een belangrijke opgave voor ORK-V

A landscape photograph showing a river on the left, a grassy bank in the foreground, and a line of trees and buildings in the background under a cloudy sky. The text 'Voorbeelduitwerking impact analyse' is overlaid in red.

**Voorbeelduitwerking
impact analyse**

Veiligheidsbenadering regionale keringen

Voorbeelduitwerking overstromingskansbenadering

09/04/2024
Amersfoort
Guy Dupuits

HKV



Waarom?

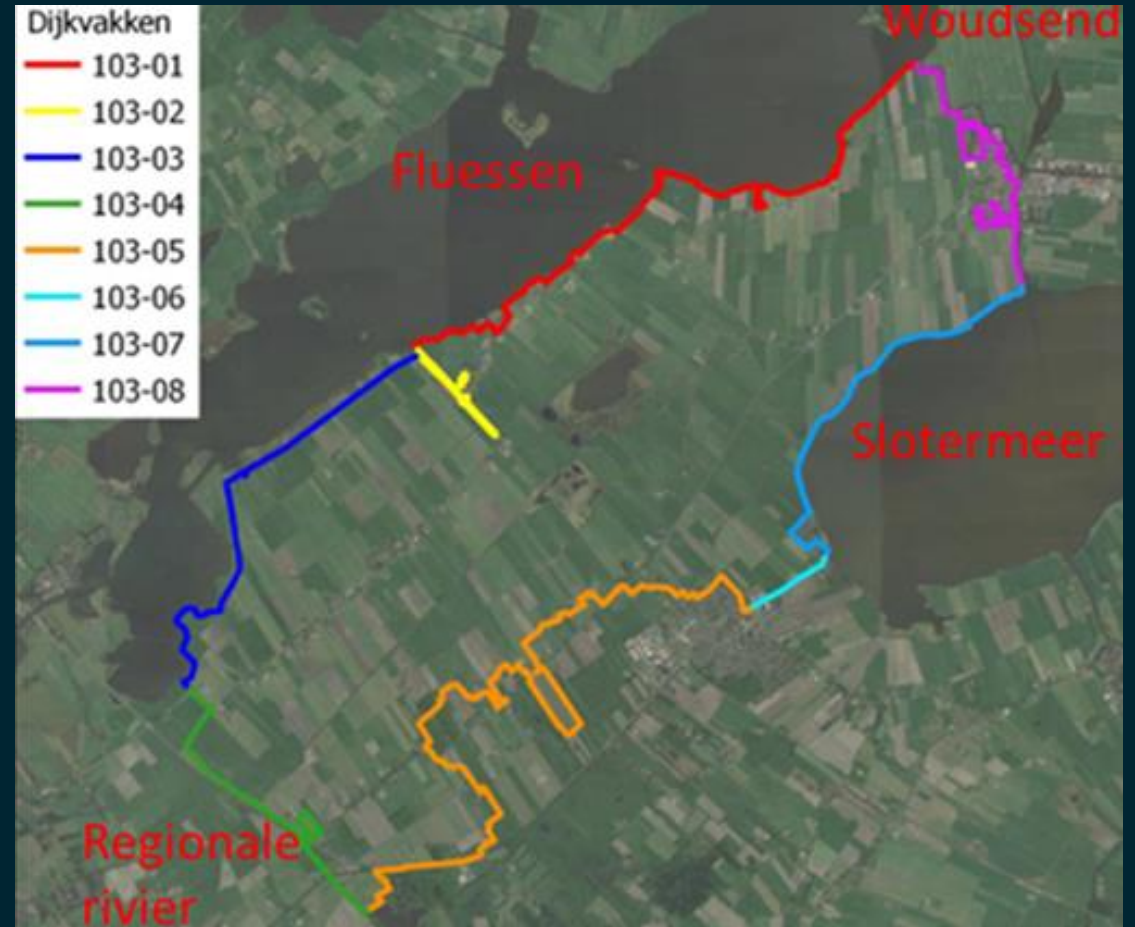
- Op pragmatische wijze een plausibele overstromingskans bepalen:
 - Informatie uit eerdere toetsingen hergebruiken
 - Plausibele faalkans op doorsnedeniveau per faalmechanisme
 - Pragmatische vertaling doorsnedekansen naar overstromingskans polder
- In de voorbeelduitwerking gelukt met relatief beperkte inspanning

Onderwerpen

- **Casus**
- **Globale aanpak**
- **Hoogte**
- **Stabiliteit**
- **Piping**
- **Faalkansen van mechanismen combineren**
- **Vergelijking met overschrijdingskansbenadering**

Casusbeschrijving

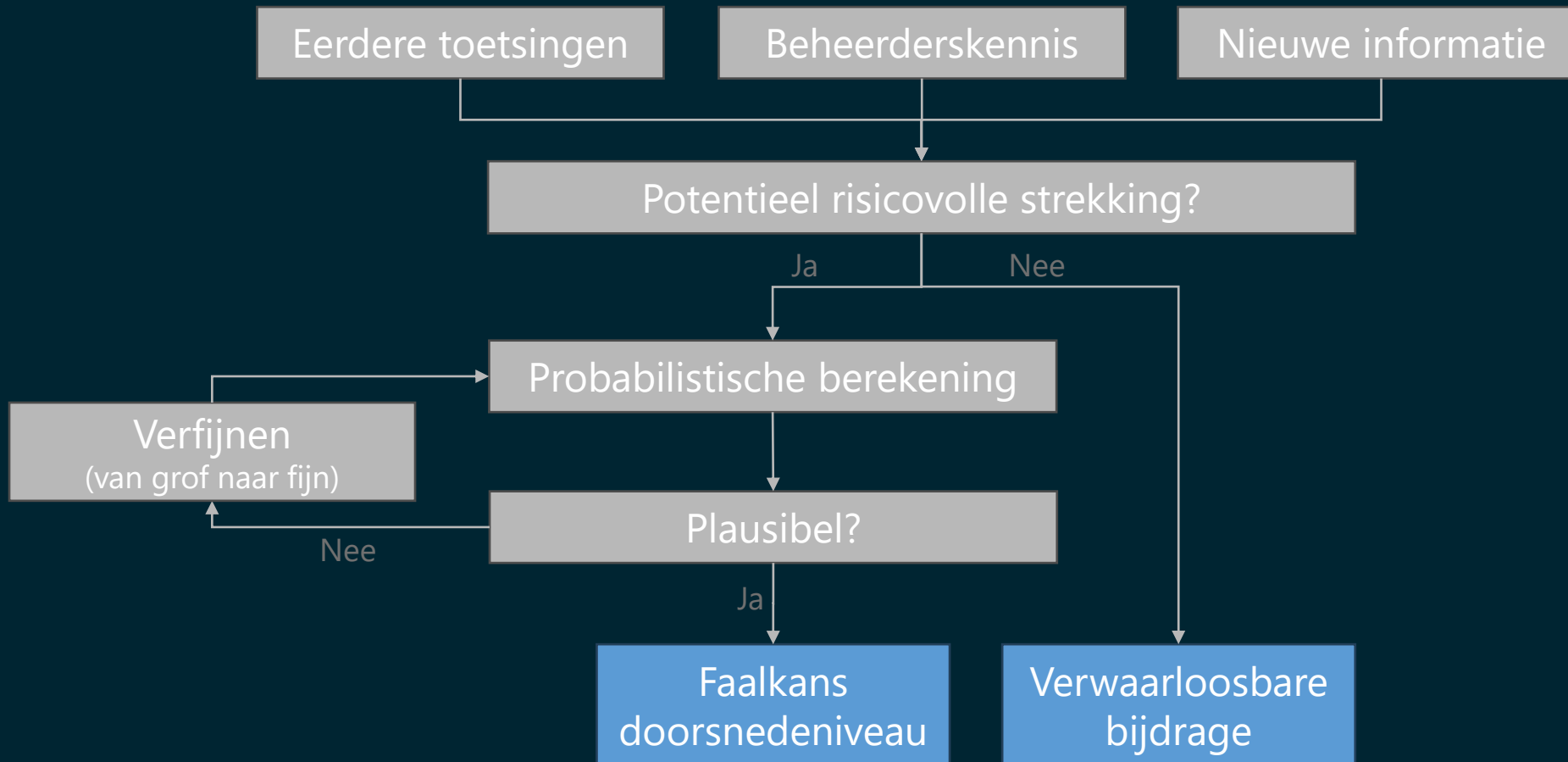
- Beschouwde delen:
 - Een deel langs het Fluessen meer (en Heegermeer) in het noorden (103-01 t/m 103-03)
 - Een deel langs een regionale rivier in het zuidwesten (103-04)
 - Een deel langs het Slotermeer in het zuidoosten (103-07)
 - Een deel langs een boezem bij Woudsend in het oosten (103-08)
- Ten behoeve van voorbeelduitwerking: **fictieve** regionale rivier



Onderwerpen

- Casus
- **Globale aanpak**
- Hoogte
- **Stabiliteit**
- Piping
- **Faalkansen van mechanismen combineren**
- **Vergelijking met overschrijdingskansbenadering**

Globale aanpak per faalmechanisme



Globale aanpak vertaling doorsnedekans naar overstromingskans

- Combineren faalkansen per mechanisme:
 - Van doorsnede naar vak
 - Van vak naar strekking/traject
- Combineren van de faalkansen van faalmechanismen naar trajectkans

Onderwerpen

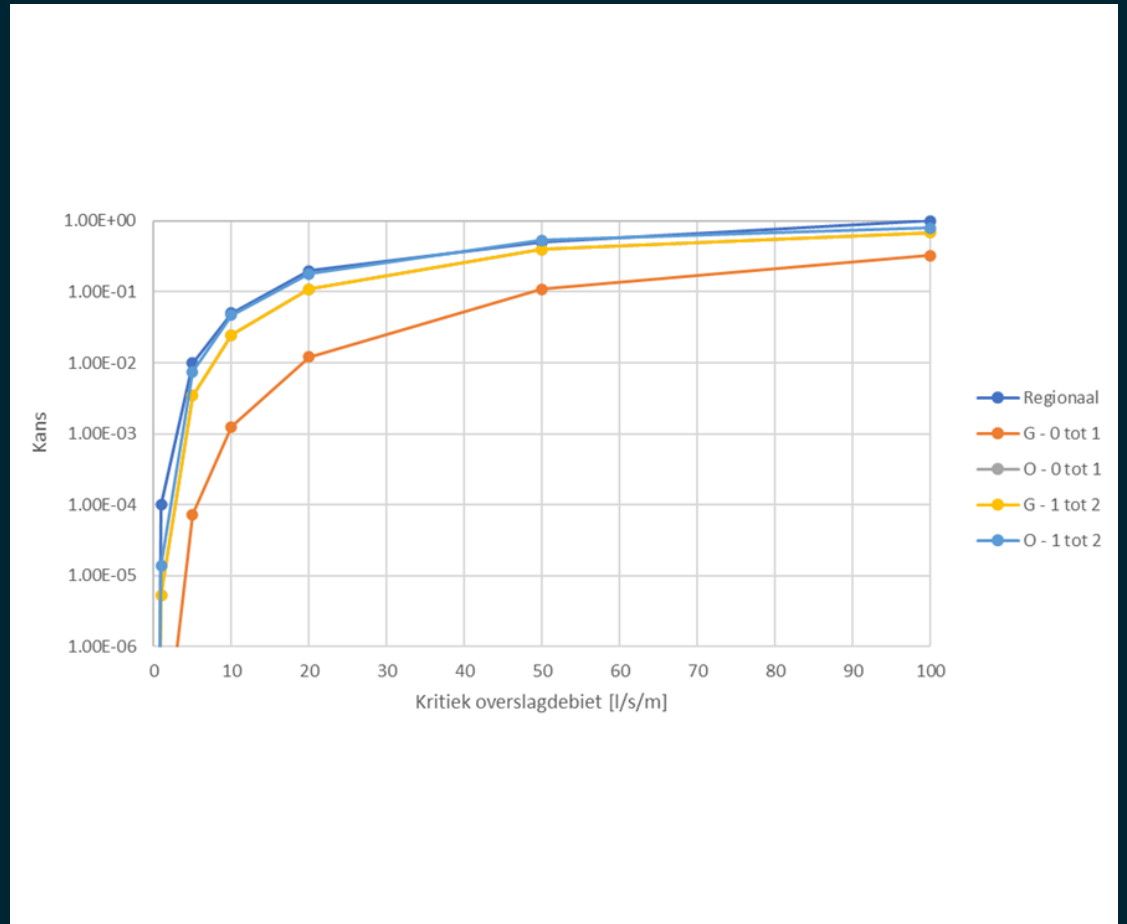
- Casus
- Globale aanpak
- Hoogte
- Stabiliteit
- Piping
- Faalkansen van mechanismen combineren
- Vergelijking met overschrijdingskansbenadering

Hoogte

1. Inventarisatie strekkingen o.b.v. eerdere toetsresultaten
2. Probabilistische berekeningen:
 - Voor elke strekking maatgevende doorsnede(s) doorrekenen
 - Controle geldigheid schematisatie en zo nodig bijwerken
 - Doorrekenen met een kansverdeling van kritiek overslagdebiet
3. Van doorsnedekans naar strekkingkans en trajectkans

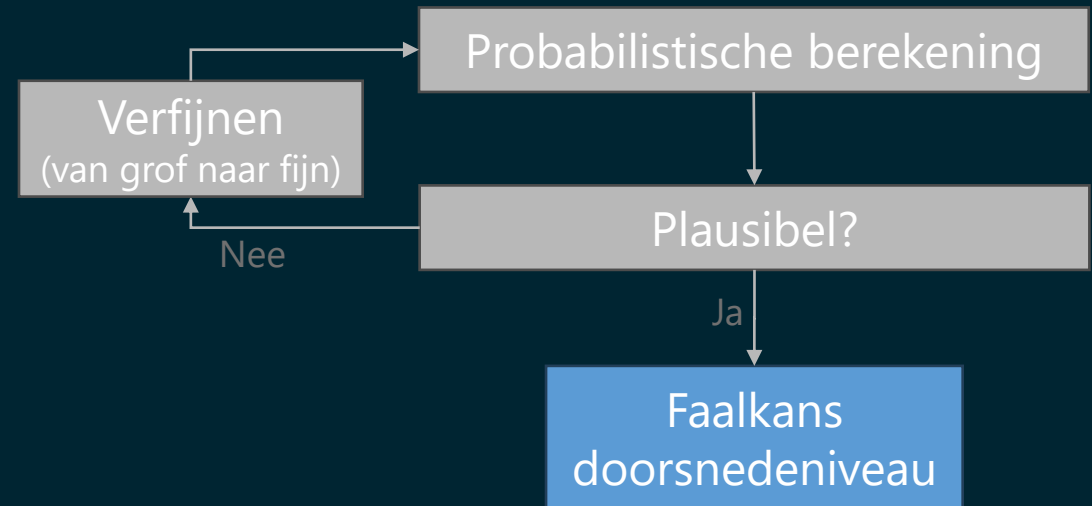
Hoogte – Kansverdeling kritiek overslagdebiet

- Geschatte (conservatieve) kansverdeling o.b.v. WBI kritiek overslagdebiet verdelingen
- Promotor berekeningen voor 0.1, 1, 5, 10 20, 50 en 100 l/s/m gemaakt
- Kan locatie specifiek gemaakt worden o.b.v. relevante kenmerken zoals:
 - Taludhelling
 - Golfhoogtes
 - Kwaliteit grasbekleding



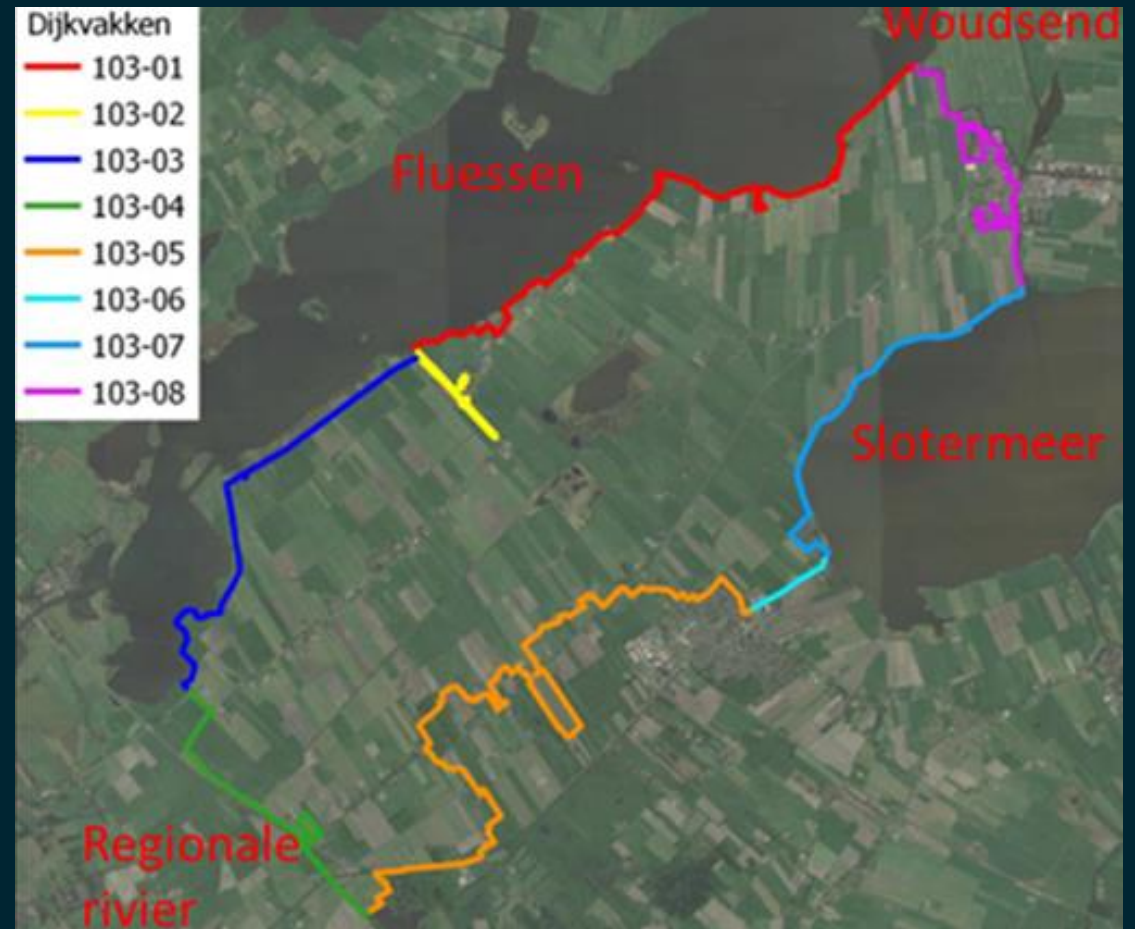
Hoogte – Plausibele berekeningen

- **Aanpassing kritiek overslagdebiet:**
 - Bijvoorbeeld bij recent versterkte strekkingen (taludverflauwingen)
 - **Aanpassing:** een gunstigere verdeling van het kritiek overslagdebiet
- **Aanscherping van de met Promotor berekende overschrijdingskansen:**
 - Voorbeeld: uitgerekend is dat een 1l/s/m jaarlijks voorkomt en 5l/s/m eens per 10 jaar.
 - Komt niet overeen met het beeld van de beheerder: alleen bekend met spatwater over de kering bij zware storm.
 - **Aanpassing:** reductie van berekende overschrijdingskansen voor 1l/s/m en 5l/s/m



Hoogte – Doorsnedekans, strekkingkans, trajectkans

- Hoogte: nauwelijks lengte-effect binnen strekking (vak). Faalkans strekking = faalkans maatgevende doorsnede
- Verschillende strekkingen langs hetzelfde watersysteem (belastingtype) combineren
 - Indien zelfde type maatgevende belasting (bijvoorbeeld allemaal NW storm): **afhankelijk combineren**
 - Hetzelfde watersysteem maar verschillende maatgevende belasting (bijvoorbeeld overloopsituatie en ZZW storm): **onafhankelijk combineren**



Hoogte – Doorsnedekans, strekkingkans, trajectkans

- Trajectkans: onafhankelijk combineren van (gecombineerde) strekkingen
- **~1/460**

Strekking	Faalkans strekking	Maatgevende belastingtype	Gecombineerde faalkans
Strekking 1	1/298.000	NW storm	1/920
Strekking 2	1/169.000	NW storm	
Strekking 5 – versterkt deel	1/45.500	NW storm	
Strekking 5 – niet versterkt deel	1/920	NW storm	
Strekking 4	1/1.950	Overloop (boezemstatistiek)	1/1.900
Strekking 6	1/67.000	Overloop (Meerpeilstatistiek)	
Strekking 3	1/1.900	Overloop (Rivierstatistiek)	1/1.900
Strekking 7	1/21.500	ZZW storm	1/21.500

Onderwerpen

- Casus
- Globale aanpak
- Hoogte
- Stabiliteit
- Piping
- Faalkansen van mechanismen combineren
- Vergelijking met overschrijdingskansbenadering

Stabiliteit

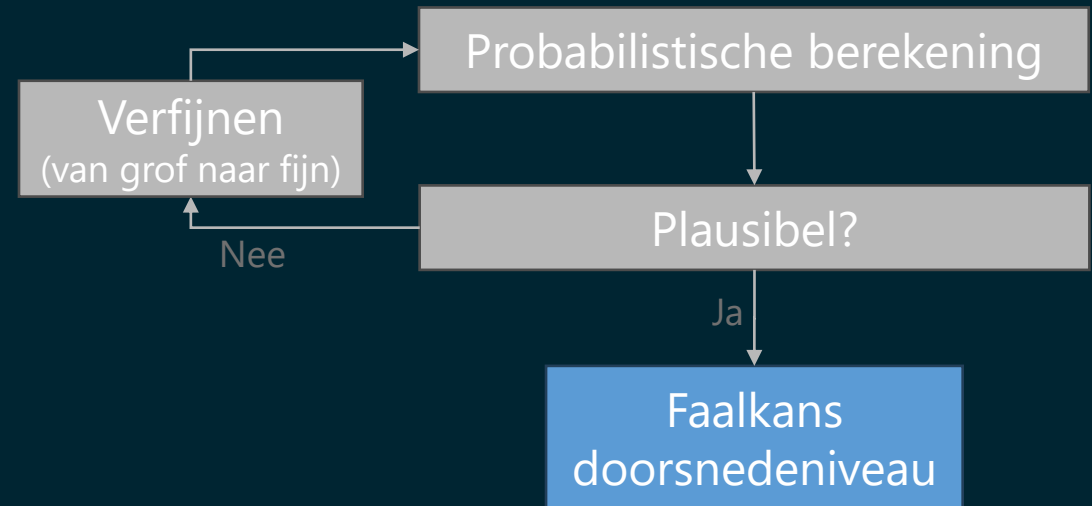
1. Inventarisatie strekkingen o.b.v. eerdere toetsresultaten
 - Veiligheidsfactor > 1.0 , aanname evident veilig
2. Probabilistische berekeningen:
 - Voor elke strekking maatgevende doorsnede(s) doorrekenen
 - Controle geldigheid schematisatie en zo nodig bijwerken
 - Lokale schematisatie
 - Doorrekenen **belastingcombinaties**
3. Van doorsnedekans naar strekkingkans en trajectkans

Stabiliteit – belastingcombinaties

- Probabilistische berekeningen met D-Stability (Mohr-Coulomb)
 - Cohesie en wrijvingshoek als stochast ingevoerd o.b.v. regionale proevenverzameling
- Uitgangspunt in de voorbeelduitwerking is dat de verkeersbelasting en freatische lijn de drijvende belastingen zijn
 - In voorbeelduitwerking gekozen om meerdere verkeersbelastingen en meerdere freatische lijnen door te rekenen als basisberekening
 - Een andere keuze kan zijn om 1 verkeerslast en 1 freatische lijn door te rekenen en vervolgens (indien nodig) te verfijnen
- Indien meerdere combinaties worden doorgerekend: Uitintegreren met de kansen van optreden van de belastingen leidt tot doorsnedekans

Stabiliteit – Plausibele berekeningen

- Geen plausibel resultaat op doorsnedeniveau?
 - Bepaal dominant scenario (of scenario's)
 - Scherp dit scenario aan door faalpad te beschouwen. Bijvoorbeeld meerdere verschillende initiële afschuivingen en/of afschuiving restprofiel meenemen
- Geen plausibel resultaat op strekkingniveau?
 - Beschouw meerdere doorsnedes



Stabiliteit – doorsnedekans, strekkingkans, trajectkans

- Doorsnedekans naar strekkingkans: Aanname homogeen onafhankelijke elementen van 50 meter
- 1 doorsnede berekening voor 1,9 kilometer (37 elementen):
 - $P_{\text{strekking}} \approx 37 * P_{f1}$
- Stel dat 750 meter (15 elementen) een verwaarloosbare faalkans heeft:
 - $P_{\text{strekking}} \approx 22 * P_{f1}$



Stabiliteit – doorsnedekans, strekkingkans, trajectkans

- Trajectkans: onafhankelijk combineren van (gecombineerde) strekkingen
- **~1/265**

Strekking	Maatgevende belastingtype	Faalkans strekking (incl. aanscherping)
Strekking 1	Neerslag	1/4.500
Strekking 2	n.v.t.	FV
Strekking 3	NW storm	1/295
Strekking 4	Neerlag	1/7.700
Strekking 5	Neerslag	1/15.100
Strekking 6	n.v.t.	FV

Onderwerpen

- Casus
- Globale aanpak
- Hoogte
- Stabiliteit
- Piping
- Faalkansen van mechanismen combineren
- Vergelijking met overschrijdingskansbenadering

Piping

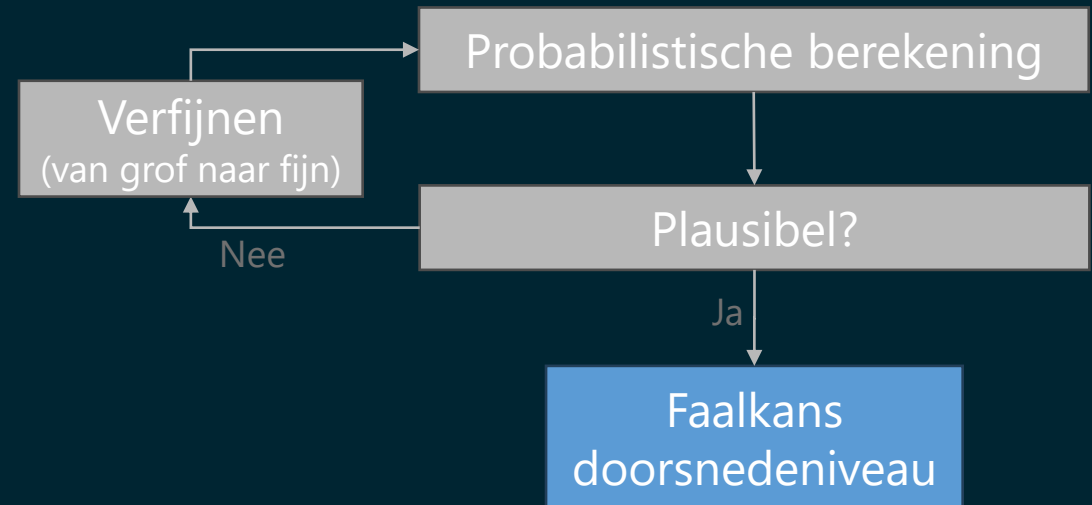
1. Inventarisatie strekkingen o.b.v. eerdere toetsresultaten
 - Veiligheidsfactor > 1.2 , aanname evident veilig
 - *Slechts een beperkt aantal doorsnedes $SF < 1.2$*
2. Probabilistische berekeningen:
 - Voor elke strekking maatgevende doorsnede(s) doorrekenen
 - Controle geldigheid schematisatie en zo nodig bijwerken
 - Lokale schematisatie
 - Intredeweerstand meenemen
3. Van doorsnedekans naar strekkingkans en trajectkans

Piping – Probabilistische berekeningen

- Stochasten o.b.v. WBI2017 standaardwaardes, DINOloket en geschatte meetfouten
- Fragility curve met conditionele faalkansen per waterstand
- Doorsnedefaalkans volgt uit integratie overschrijdingsfrequentielijn waterstand (uit Promotor) en fragility curve

Piping – Plausibele berekeningen

- Meenemen intredeweerstand langs meren, kanalen en/of boezems.
 - In voorbeelduitwerking o.b.v. LTV regionale keringen een eerste inschatting van de extra kwelweglengte gemaakt



Piping – doorsnedekans, strekkingkans, trajectkans

- Combineren doorsnedekansen op zelfde wijze als stabiliteit
- Doorsnedekans naar strekkingkans: Aanname homogeen onafhankelijke elementen van 300 meter (i.p.v. 50 meter bij stabiliteit)

Piping – doorsnedekans, strekkingkans, trajectkans

- Trajectkans: onafhankelijk combineren van (gecombineerde) strekkingen
- **~1/2.600**

Strekking	Doorsnede	Jaarlijkse faalkans
Strekking A	054	1/10.700
Strekking B	203	1/3.400
	205	1/12.800
Strekking C	342	1/1,20E9
	347	1/1,04E8

Onderwerpen

- Casus
- Globale aanpak
- Hoogte
- Stabiliteit
- Piping
- Faalkansen van mechanismen combineren
- Vergelijking met overschrijdingskansbenadering

Faalkansen van mechanismen combineren

- Volledig onafhankelijk: (ongeveer) som van de mechanismekansen
- Volledig afhankelijk: max van de mechanismekansen
- De waarheid zal in de praktijk tussen deze twee grenzen inzitten
- Voorbeelduitwerking geeft daarom allebei de trajectkansen als bereik: 1/160 – 1/265 per jaar.

Onderwerpen

- Casus
- Globale aanpak
- Hoogte
- Stabiliteit
- Piping
- Faalkansen van mechanismen combineren
- **Vergelijking met overschrijdingskansbenadering**

Vergelijking met overschrijdingskansbenadering

- Er is geen overstromingskansnorm, wel een overschrijdingskansnorm (IPO klasse)
- Bij gebrek aan beter is de berekende trajectkans vergeleken met de geldende IPO klasse III (1/100)
 - Berekend is 1/160 – 1/265 per jaar
- Berekende overstromingskans klinkt plausibel want:
 - Maatgevende (kritische) dijkvakken zijn recent versterkt
 - Een probabilistische methode zou ook geen compleet andere resultaten moeten leveren...
 - Maar wel de mogelijkheid om scherper te toetsen

Bedankt voor de aandacht.

Jochem Caspers - caspers@hkv.nl

Guy Dupuits - dupuits@hkv.nl





**Toepassing bewezen sterke
boezemkade**



Bewezen sterkte

Pilot Normering regionale keringen Boezemkade - landelijk gebied

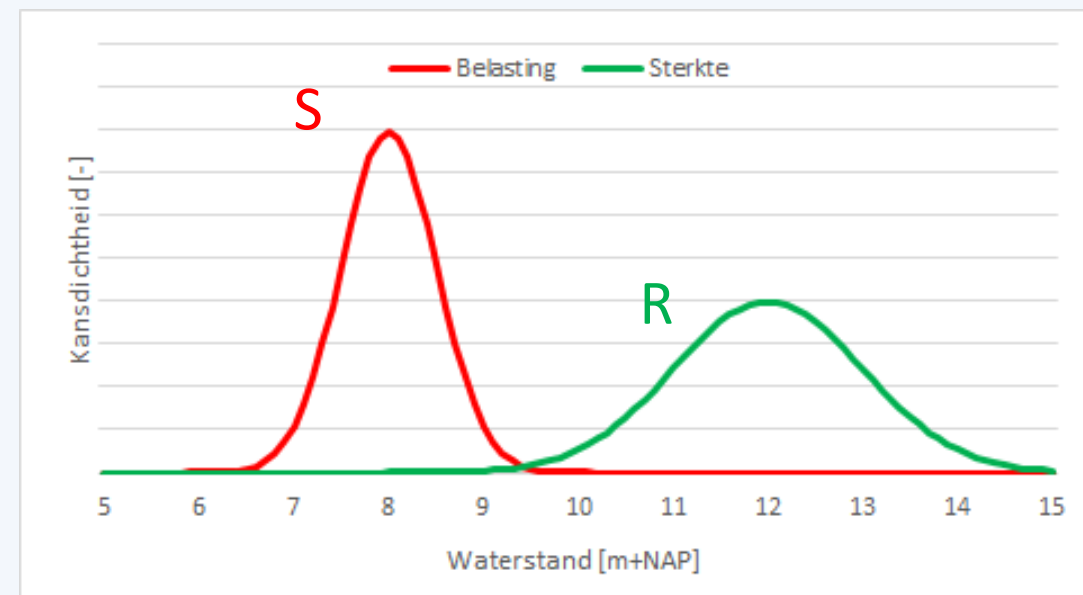
Daniel Fiolet, 9 april 2024

Inhoud

- Theorie probabilistisch rekenen, fragility curves en bewezen sterkte
- Toepassing in pilot 'Boezemkade – landelijk gebied'
- Valkuilen
- Conclusies en bespreekpunten

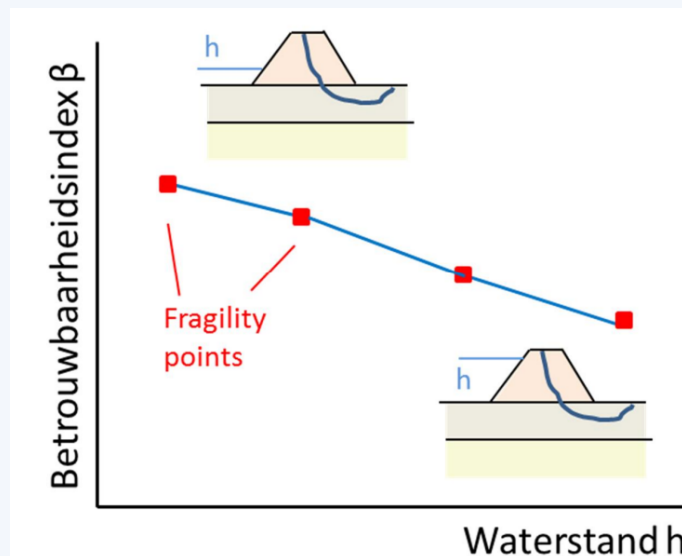
Probabilistisch rekenen

- Betrouwbaarheid volgt uit vergelijking tussen belasting (S) en sterkte (R)
- S en R zijn stogasten met onzekerheden
- Falen treedt op wanneer $S > R$
- S meestal uitgedrukt als waterstand
- R is dan een kritieke of maximale waterstand die de waterkering kan keren



Fragility curves

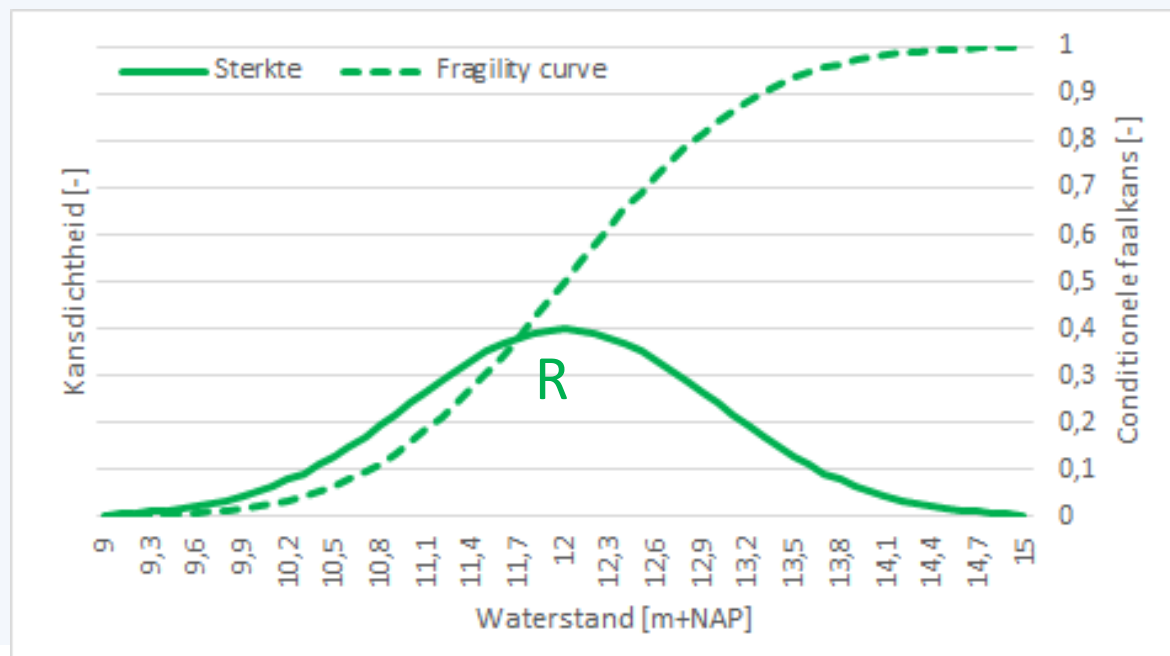
- Berekening conditionele faalkans voor discrete belastingen (waterstanden)
- Fragility curves bevatten enkel informatie over de sterkte R
- Faalkans wordt verkregen door te integreren over de belastingstatistiek



[Bron: Deltares]

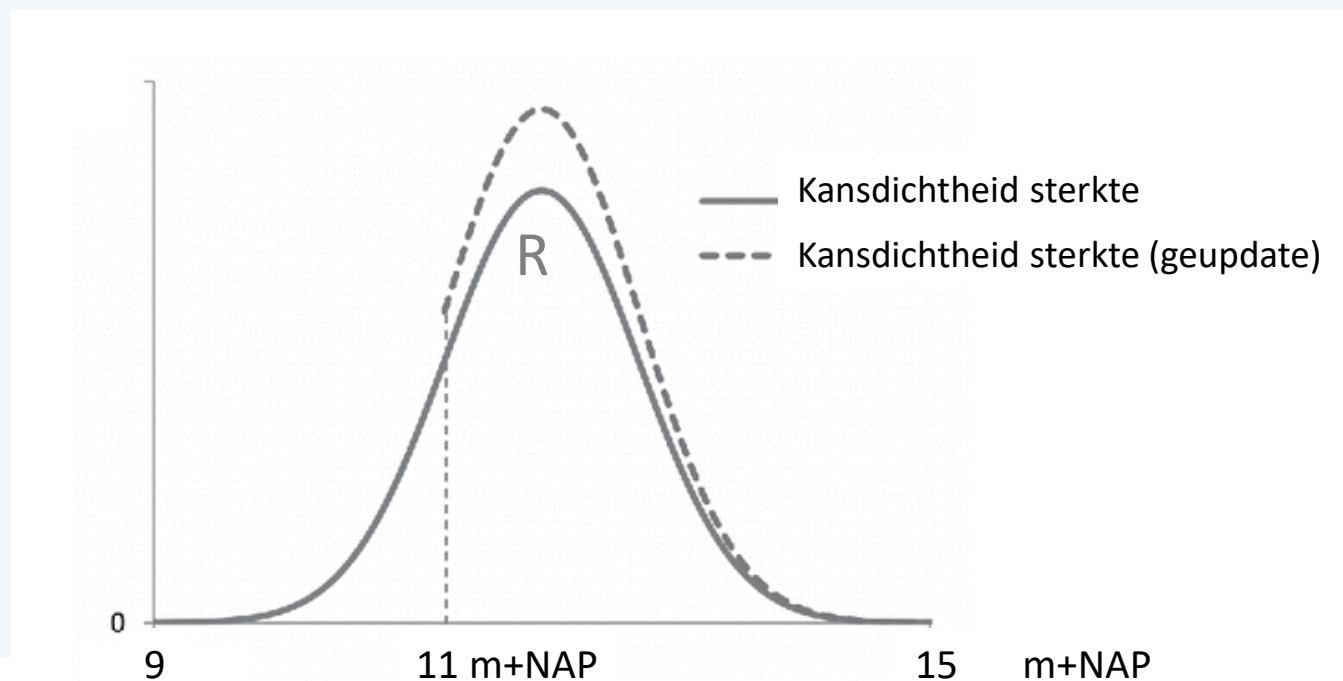
Fragility curves (2)

- Fragility curve is de cumulatieve kansdichtheid van de sterkte (primitieve)
- Door de fragility curve te berekenen weten we de onderliggende kansdichtheid van R



Bewezen sterkte o.b.v. een bewezen waterstand

- Het reduceren van de onzekerheid van de sterkte
- Toegepast op de kansdichtheidsfunctie door te trunceren
- Voorbeeld: update kansdichtheid R o.b.v. een overleefde waterstand van NAP + 11 m



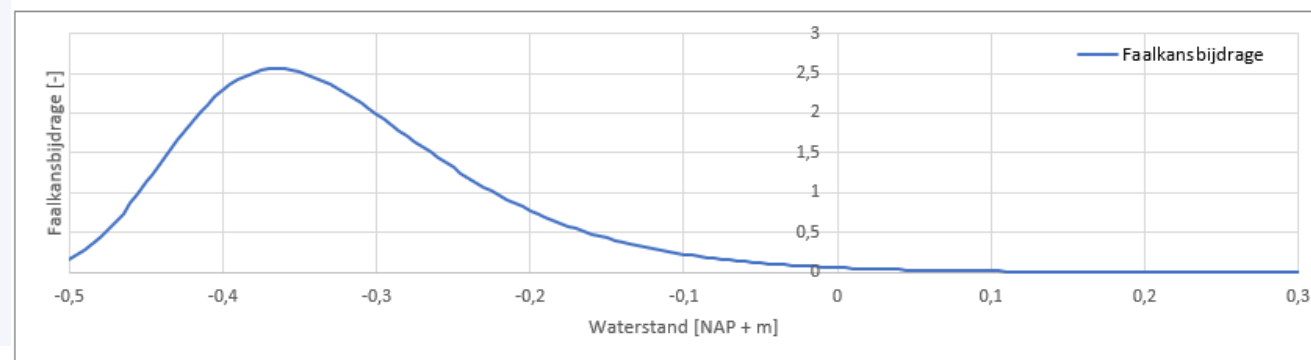
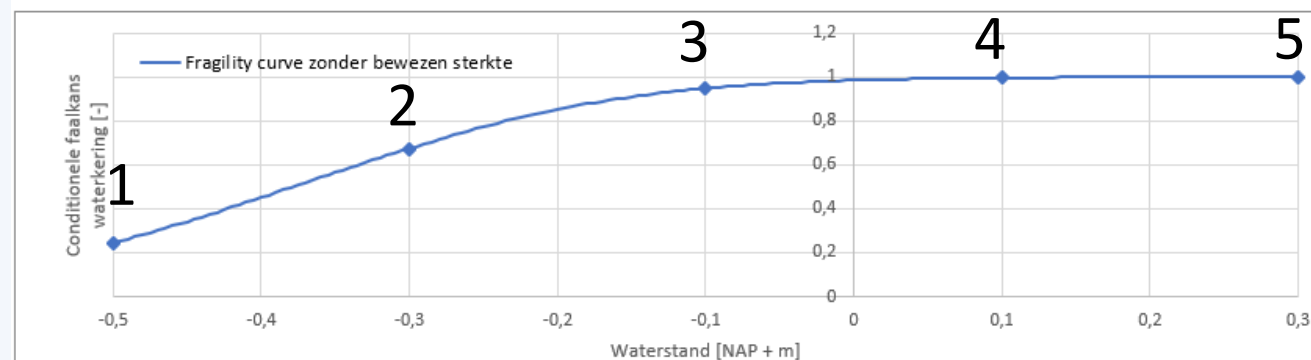
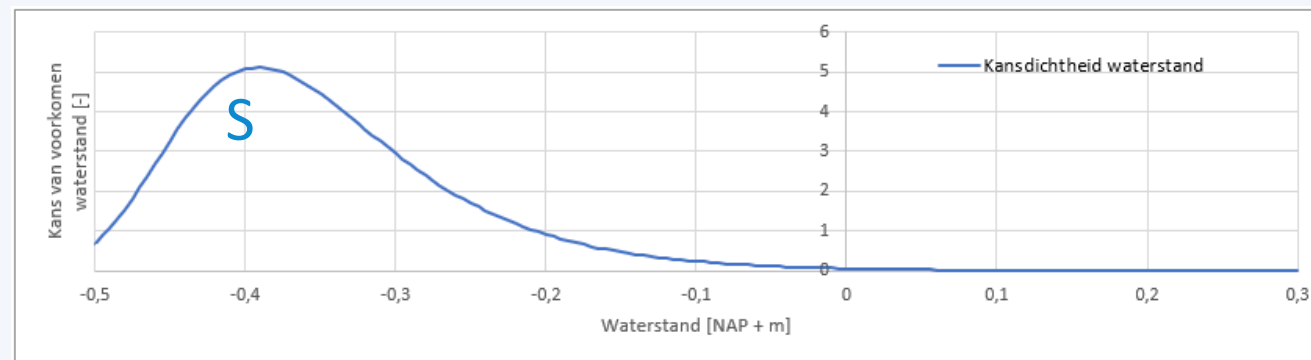
Toepassing in pilot landelijk gebied

- Probabilistische berekening macro-stabiliteit (o.b.v. fragility curves)
- Maatgevende locaties in het gebied beschouwd
- Toepassing bewezen sterkte o.b.v. waargenomen waterstand
- In overleg met beheerder: waterstand van 0,2 m onder toetspeil als 'bewezen overleefd'

Zonder bewezen sterkte (1)

Interpolatie conditionele faalkans tussen 5 stabiliteitsberekeningen (lineair tussen betrouwbaarheidsindices)

Faalkansbijdrage uitgezet tegen waterstand
 Integreren tot faalkans: 1/2 per jaar



Met bewezen sterkte (1)

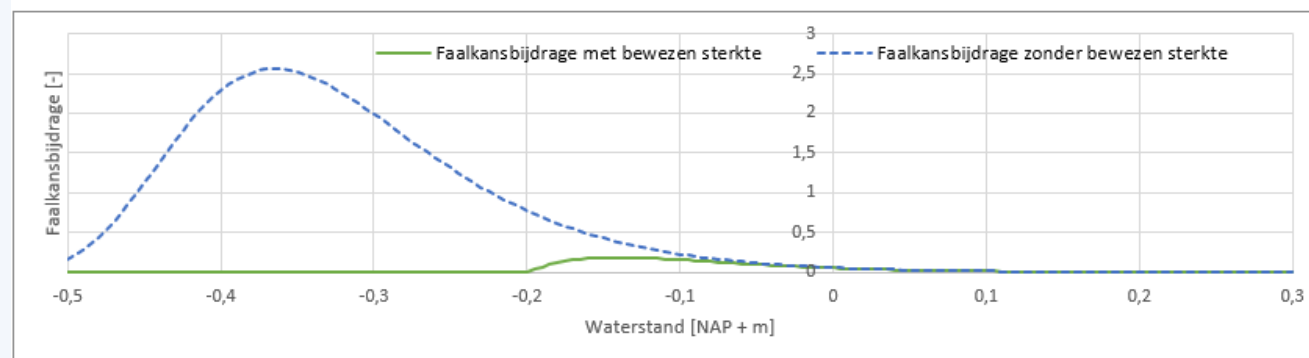
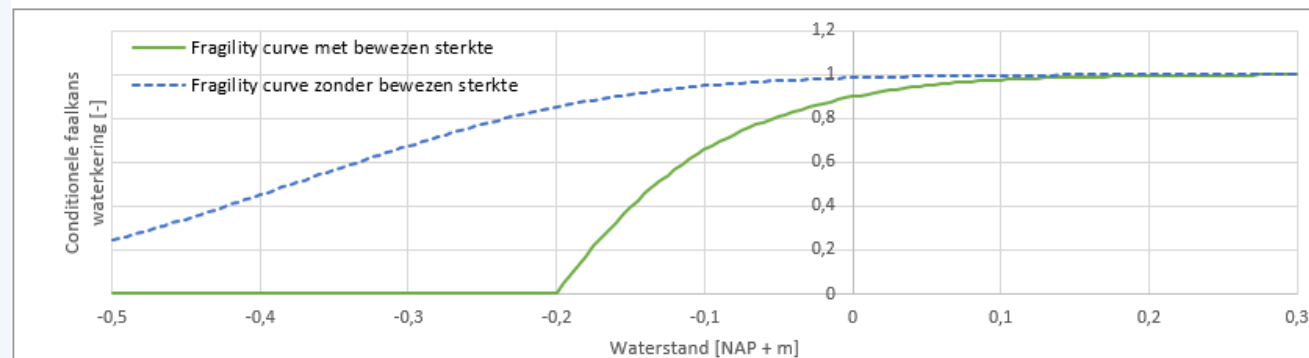
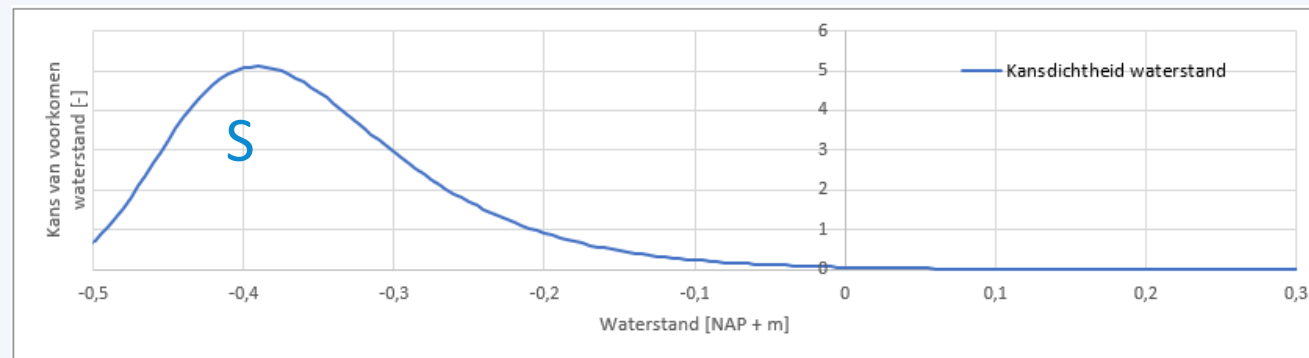
Trunceren kansdichtheid vanaf overleefde waterstand van $-0,2 \text{ m+NAP}$

Conditionele faalkans neemt af, ook bij waterstanden boven $-0,2 \text{ m+NAP}$

Faalkansbijdrage uitgezet tegen belasting

Integreren tot faalkans: $1/30$ per jaar

(was $1/2$ per jaar)



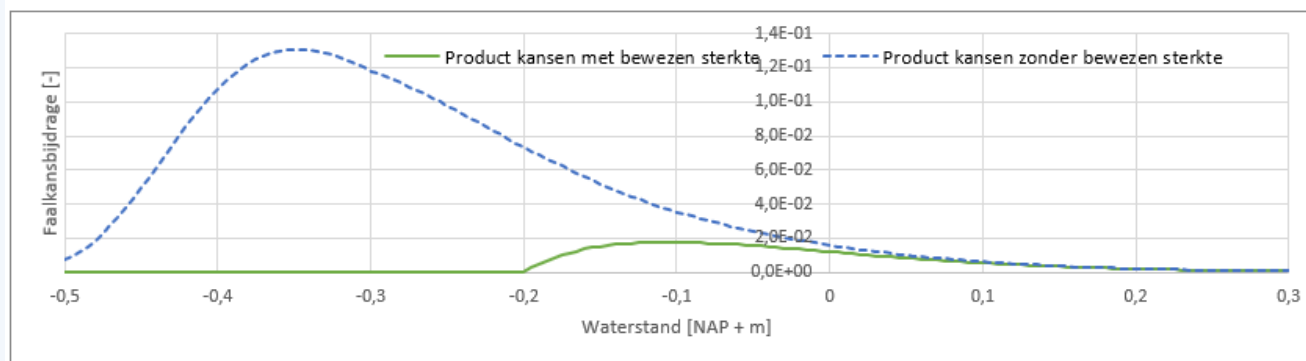
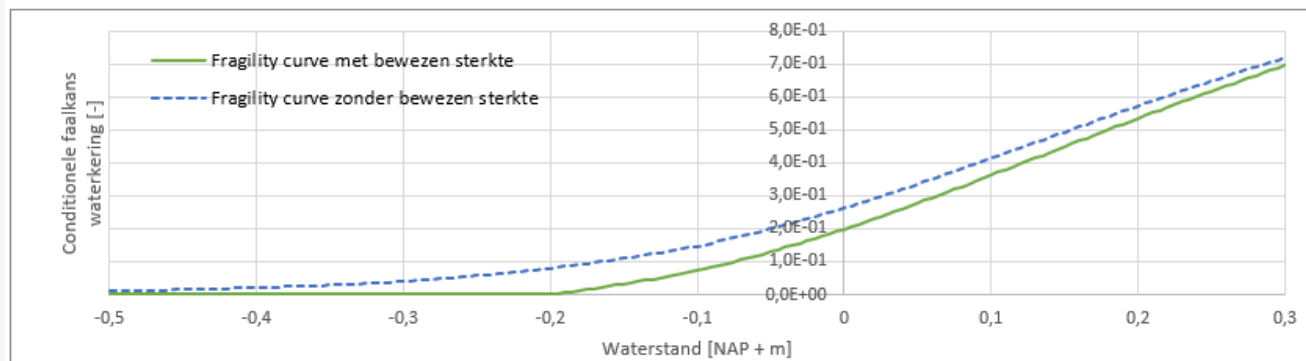
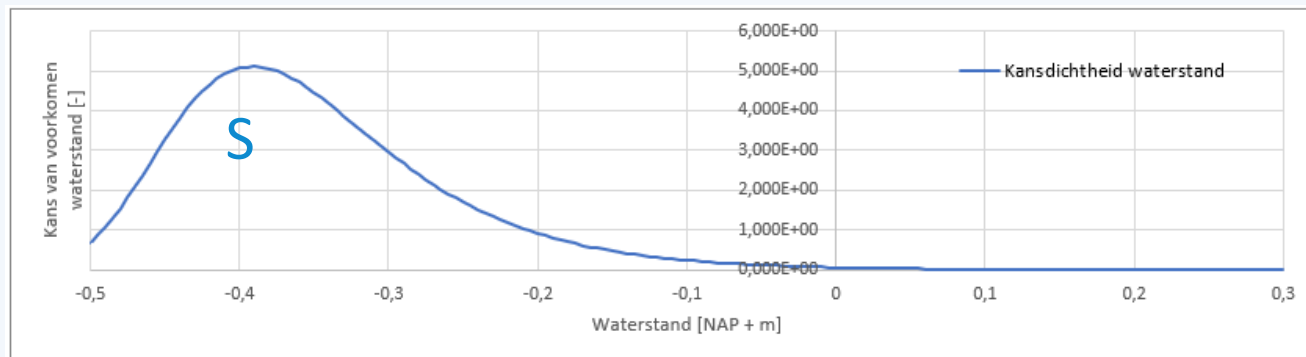
Met bewezen sterkte (2)

Andere snede

Integreren tot faalkans:

- Zonder bewezen sterkte: 1/30 per jaar
- Met bewezen sterkte: 1/250 per jaar

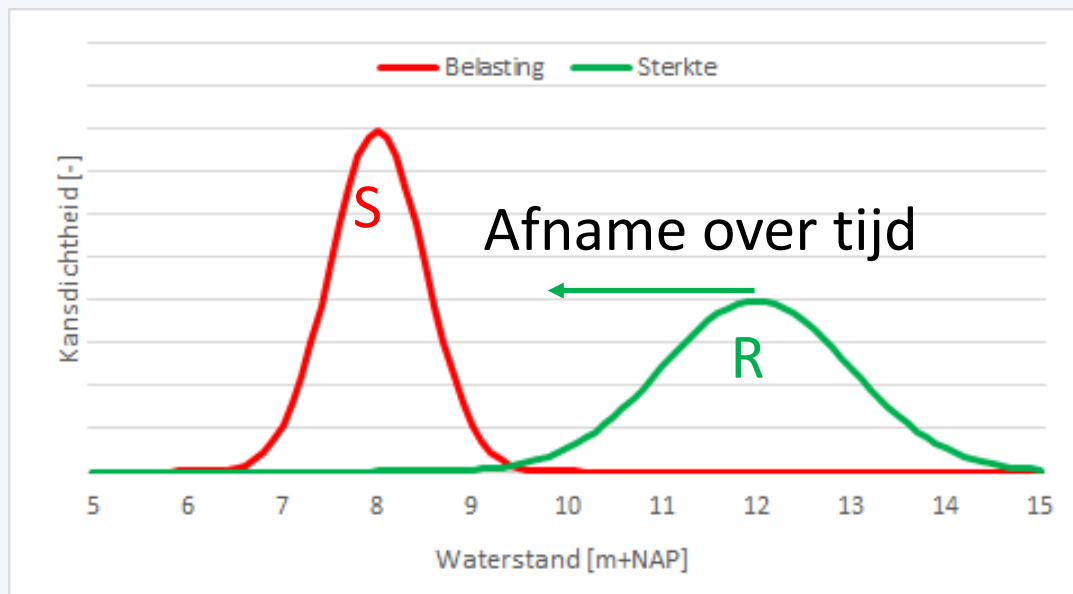
Algemeen beeld pilot: ordegrrootte verschil



Valkuilen

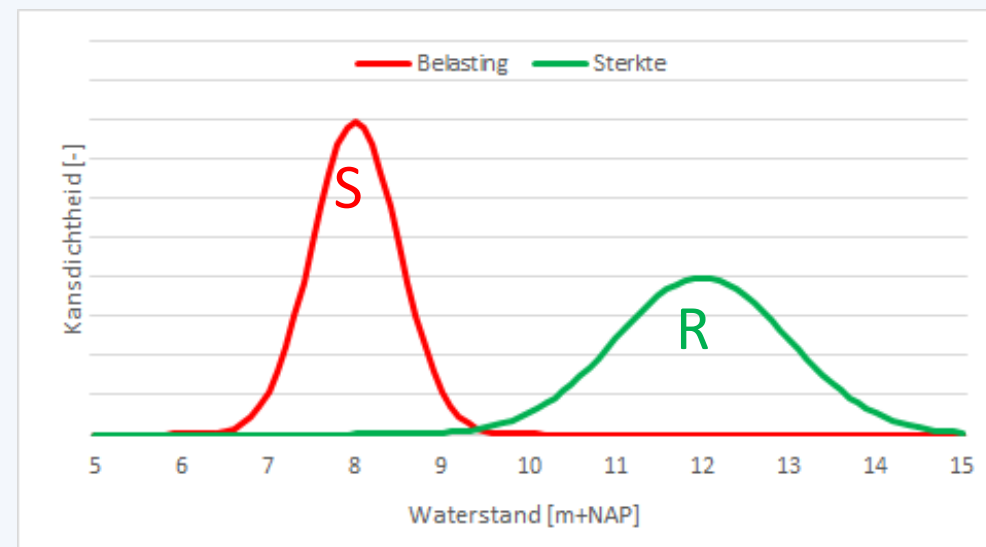
- Degradatie van de sterkte over tijd (bijvoorbeeld zakking, uitdroging, graverij)

[Bron: Deltares]



Valkuilen (2)

- Platgeslagen aanname 'S = waterstand', maar spelen meer belastingparameters een rol?
- In werkelijkheid heeft de belasting meer dimensies dan alleen waterstand:
 - golven
 - waterspanningen (e.v.t. neerslag)
 - bovenbelasting
 - belastingduur
 - spanningsafhankelijke sterkte
 - etc.



Conclusies en bespreekpunten

- Bewezen sterkte is een krachtig tool om probabilistisch sommen aan te scherpen.
- Toepassen van lokale kennis om tot een passende faalkans te komen.
- Zeker voor regionale waterkeringen met vaak een relatief beheerst waterpeil.

- Wiskundig solide, maar geen ei van Columbus.
- Ken je waterkering, snap de processen die invloed hebben op de faalkans.
- Pas conservatief toe.

A landscape photograph showing a river on the left, a grassy bank in the foreground, and a green field extending to the right. In the background, there are trees and a building with a thatched roof. The sky is overcast.

**Evident verwaasloosbare
faalkans**

Veiligheidsbenadering regionale keringen

Pilot 'regionale rivier' de Hunze

9 april 2024

Maurits Kampen

Inhoud

- Pilot locatie
- Toetsing met instandhoudingsprofielen
- Eisen vanuit medegebruik

Pilot locatie 'Hunze'

- Van Gasselternijveen tot het Zuidlaardermeer, ca 30 km
- Regionale rivier, groot verhang in zuidelijke deel
- Afgelopen tijd in meanderende staat teruggebracht
- T=100 jaar (IPO-klasse III)



Toetsing: Instandhoudingsprofielen

Doel

In beeld brengen daadwerkelijke sterkte van de kering in relatie tot de genormeerde overstromingskans en vertaling overstromingskans in eisen aan de kering.

Te beschouwen

Werkelijke overstromingskans, relatie tussen overstromingskans en overschrijdingskans waterstand, inzicht in tijd en middelen om toetsing uit te voeren.

Toetsing instandhoudingsprofielen

- Al gedetailleerde toetsing (semi-probabilistisch) van Hunze en Aa's aanwezig, robuuste en brede kade
- Hoe zo makkelijk mogelijk naar nieuw toetsresultaat?
 - Toets aan instandhoudingsprofielen: het minimale profiel dat veilig genoeg is

Stappen

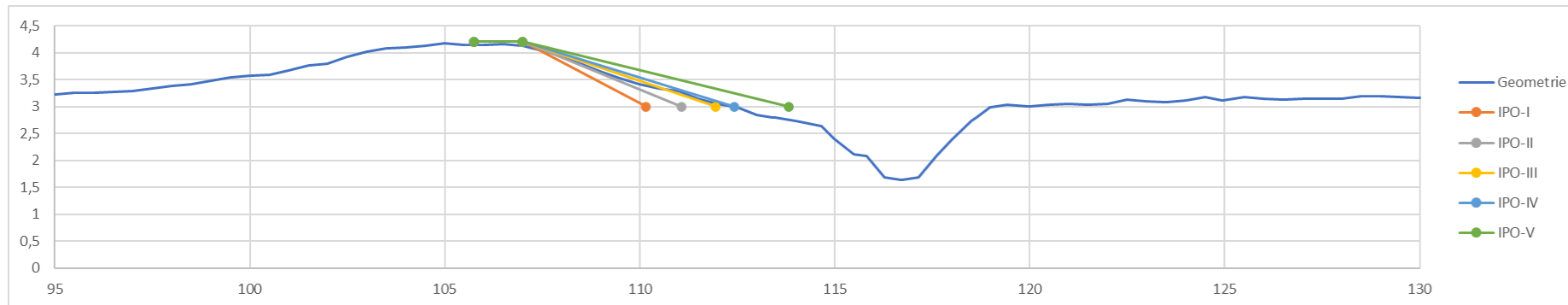
- Traject opdelen in dijkvakken
- Per dijkvak per IPO-klasse een instandhoudingsprofiel opstellen, a.d.h.v. meest ongunstige bodemopbouw
 - Vereiste hoogte en kruinbreedte; Stabiël binnentalud; Piping kwelweglengte
- Instandhoudingsprofielen vergelijken met aanwezige doorsneden. Doorsneden die groter zijn, zijn evident veilig
- Eerste veiligheidsbeeld; profielen die niet voldoen aan norm nader beschouwen en aanscherpen
- Assembleren tot faalkans

Instandhoudingsprofielen

- Vereiste kruinhoogte en breedte, a.d.h.v. ingeschatte decimeringshoogte van 30 cm

IPO-klasse	I	II	III	IV	V
Norm [terugkeertijd]	10	30	100	300	1.000
Norm [-]	1,0E-01	3,3E-02	1,0E-02	3,3E-03	1,0E-03
MHW [m +NAP]	1,2	1,35	1,5	1,65	1,8
Kruinhoogte [m+NAP]	1,5	1,65	1,8	1,95	2,1

- Macrostabieliteit



- Piping

Minimale kwelweglengte

Resultaten toets aan instandhoudingsprofielen

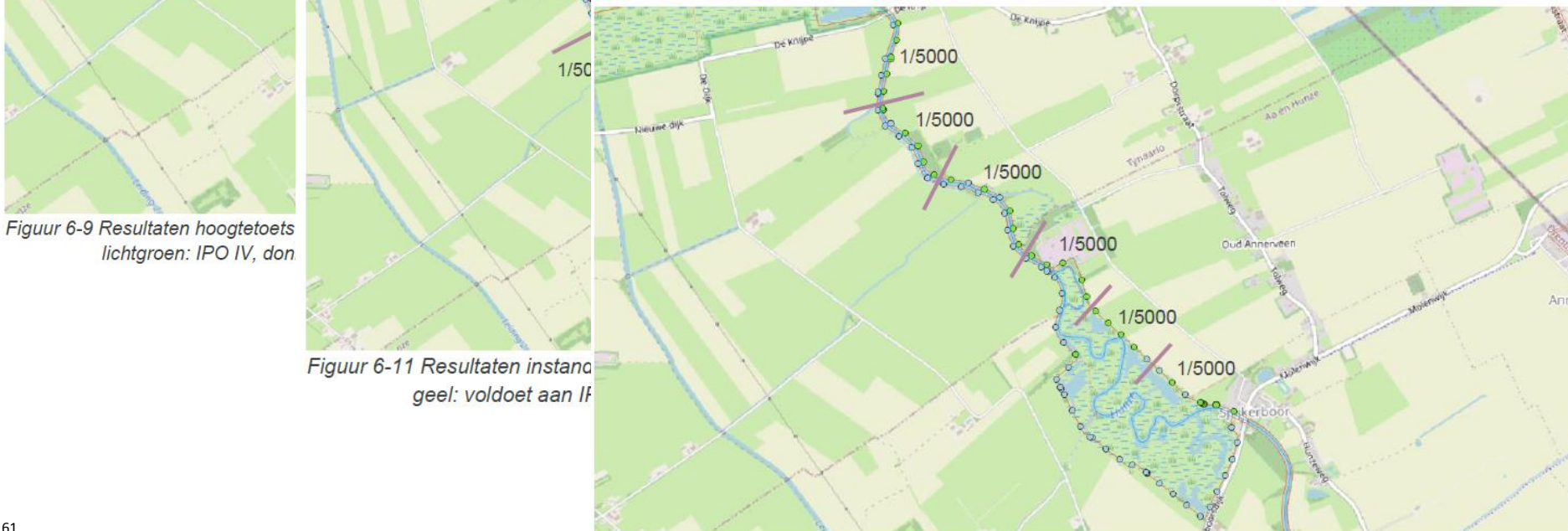
Hoogtetoets



Stabiliteit



Piping



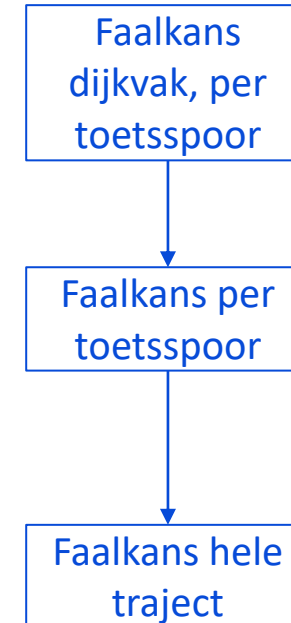
Figuur 6-9 Resultaten hoogtetoets
lichtgroen: IPO IV, don

Figuur 6-11 Resultaten instandhoudingsprofiel
geel: voldoet aan IPO IV

Figuur 6-16 Resultaten instandhoudingsprofiel piping overstromingsgebied 1: groen: voldoet aan IPO V

Assemblage naar faalkans

- Representatief profiel per dijkvak kiezen
- Faalkans per toetsspoor van representatieve profiel is faalkans van dijkvak
- Ondergrens faalkans per toetsspoor (afhankelijkheid tussen dijkvakken / geen lengte-effect)
 - Gelijk aan maximale faalkans van een dijkvak $Pf = \max(P_{dijkvak})$
- Bovengrens faalkans per toetsspoor (onafhankelijkheid tussen dijkvakken / wel lengte-effect)
 - Gelijk aan product van dijkvak faalkansen $Pf = 1 - (1 - P_{dijkvak})^n$
- Faalkans hele traject (als onder- en bovengrens) is grootste faalkans van de toetssporen



Kantttekeningen toetsing

- Afleiding instandhoudingsprofielen met 'standaard' faalkansbegroting LTVRW en relatie overschrijdings-/overstromingskans
- Macrostabieliteit: met voorgeschreven relatie tussen betrouwbaarheid en schadefactor (semi-probabilistisch)
- Piping: geen relatie tussen betrouwbaarheid en schadefactor beschikbaar voor regionale keringen
- Bovengrens faalkans is afhankelijk van aantal meegenomen dijkvakken en dus redelijk willekeurig

Medegebruik

Doel

In beeld brengen eisen stabiliteit en vervorming vanuit medegebruik.

Te beschouwen

Overzicht eisen aan waterkeringen vanuit medegebruik, inzicht in mogelijk maatgevend zijn van deze gebruikseisen ten opzichte van de normering.

Medegebruik

- Soorten medegebruik: wegen, kabels en leidingen, bruggen, duikers, gemalen, bebouwing
- Soorten eisen:
 - Eisen aan Uiterste grenstoestand (UGT - bezwijken)
bijv. strengere stabiliteitseis weglichaam dan vereiste waterveiligheid
 - Eisen aan Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT - vervorming)
bijv. overslag door kruindaling i.r.t. weg op de kruin
 - Eisen aan Minimumafmetingen
bijvoorbeeld minimale wegbreedte maatgevend t.o.v. afmetingen kering

UGT: Eurocode vs IPO-normering

- Medegebruiksobjecten ontworpen conform Eurocode
 - Waterkeringen vereiste betrouwbaarheid volgens IPO-normering
- } Welke is strenger?*
- Rekening houden met verschillen

Eurocode	IPO
Betrouwbaarheid over referentieperiode (bijv 50 jaar)	Betrouwbaarheid per jaar
Materiaalfactoren NEN9997-1 (grondconstructies)	Materiaalfactoren LTVRW
Geen aanvullende partiële factoren	Aanvullende partiële factoren uit LTVRW

**Vergelijking niet geheel juist: nieuwbouweis versus periodiek toetsen*

UGT: Eurocode vs IPO-normering

- Gemeenschappelijke veiligheidsfilosofie:
betrouwbaarheidsindex β
- In praktijk lastig te vergelijken door verschillende partiële factoren (semi-probabilistische aanpak)
- Praktijk voorbeeld ‘weg op de kering’:
 - Vereiste stabiliteitsfactor IPO-III is 1,23, $SF=1,11$
 - Vereiste stabiliteitsfactor RC1 is 1,0, $SF=1,13$
 - Grondlichaam voldoet aan RC1 maar niet aan IPO-III
 - **Betrouwbaarheid weglichaam zegt dus niks over betrouwbaarheid waterkering**

Eurocode:

Tabel B2 — Aanbevolen minimumwaarden voor de betrouwbaarheidsindex β (uiterste grenstoestanden)

Betrouwbaarheids-klasse RC	Minimumwaarden voor β	
	1 jaar referentieperiode	50 jaar referentieperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Waterveiligheid RWK:

Tabel 2.1: Kadeklassen, norm-frequenties hydraulische belasting, toelaatbare doorbraakkansen (c.f. MB), en hiermee corresponderende vereiste (“target”) betrouwbaarheidsindices, β_T .

Kadeklasse	I	II	III	IV	V
Normfreq. [1/jr]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1000
$P_{doorbr, toel}$ [1/jr]	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
β_T	2,05	2,47	2,88	3,21	3,54

Bijlagen

Medegebruik

Kanttekening

- De materiaalmodellen en fysica van de Eurocode en de LTVRW worden anders beschreven. Hierdoor wordt het vergelijken zeer lastig gemaakt.
- Uit bovenstaande blijkt dat voor de stabiliteit van een weglichaam de Eurocode theoretisch maatgevend zal zijn boven de IPO-normering. Desondanks wordt hier in de praktijk weinig invulling aangegeven. Bij kadeverbeteringsprojecten wordt de stabiliteit van de kering ontworpen op de vereiste IPO-klasse, rekening houdend met verkeersbelasting vanuit de weg. Een separate toets op stabiliteit volgens de Eurocode wordt hierbij niet uitgevoerd.
- Indien zowel op basis van IPO-normering en op basis van Eurocode een ontwerpprofiel wordt bepaald en het profiel conform Eurocode groter uitvalt, zullen discussies ontstaan over de financiering. Het waterschap heeft immers alleen de verplichting de waterkering aan de bijbehorende IPO-klasse te laten voldoen.
- In deze paragraaf wordt de nieuwbouweis Eurocode vergeleken met de toetsing conform de LTVRW. De nieuwbouweis wordt maar één keer (bij de aanleg) geverifieerd, daarna wordt het niet meer getoetst. Afkeurniveaus Eurocode zijn soepeler en enkel beschreven voor bouwwerken; niet voor grond. Als er een constructie is gemaakt met een eis die strenger is geeft dat niet de garantie dat dat over dertig jaar nog steeds zo is.

Instandhoudingsprofielen

Kanttekening afleiden instandhoudingsprofiel

- Om tot een instandhoudingsprofiel te komen moet de toelaatbare overschrijdingskans behorende bij een normklasse vertaald worden naar een bijbehorende overstromingskans en vervolgens het onderverdelen van deze faalkans naar de verschillende faalmechanismes.
- Voor het afleiden van de instandhoudingsprofielen in het kader van deze pilot is gebruik gemaakt van de 'standaard'faalkansbegroting uit de LTVRW met 80% voor macrostabiliteit [2]. Voor macrostabiliteit is vervolgens gebruik gemaakt van de voorgeschreven relatie tussen betrouwbaarheid en schadefactor en zijn de partiële factoren uit de LTVRW gebruikt. Aan de basis van deze toetsing met instandhoudingsprofielen ligt dus alsnog een semi-probabilistische werkwijze conform LTVRW.
- De top-down-route naar het instandhoudingsprofiel (filteren) heeft conservatisme in zich, maar is wel werkbaar. Een vereiste is daarbij wel dat de relatie tussen de overschrijdingskans en overstromingskans voor bovenstaande methode beschikbaar zal moeten blijven. De aanpak berust in zijn geheel op de relatie tussen Bèta en de stabiliteitsfactor. De nauwkeurigheid van de huidige relatie is niet geheel bekend.

Instandhoudingsprofielen

Kanttekeningen verhouding overschrijdingskans/faalkans

- Conform de IPO-richtlijn mag de faalkans 20% van de overschrijdingskans bedragen. Keringen in IPO-klasse I, II en III hebben gedurende de afgelopen zestig jaar aangetoond aan deze faalkanseis te voldoen [12].
- In deze pilot wordt ervan uitgegaan dat de afgeleide instandhoudingsprofielen voldoen aan de faalkansen uit Tabel 6-6 (dus gebruikmakend van de verhouding van 0,20 tussen overschrijdingskans en overstromingskans), omdat de instandhoudingsprofielen zijn bepaald conform de (schade)factoren uit de LTVRW [2]. Dit betekent dus ook dat de werkwijze alleen mogelijk is met een vastgestelde relatie tussen overschrijdingskans en overstromingskans.

Kanttekening

- De bovengrens faalkans is afhankelijk van het aantal gehanteerde vakken/doorsnedes, dus de bovengrens van de faalkans is redelijk willekeurig. Als je op deze manier een gecombineerde faalkans wilt bepalen is dat met instandhoudingsprofielen dus een kennisleemte. In DAM, een programma dat veel voor regionale keringen wordt gebruikt, worden ook veel profielen doorgerekend. Als daarmee een faalkans uit moet worden berekend geldt dezelfde kwestie.



Beschouwing LIR en Groepsrisico

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Huidige normering regionale keringen



- Normering normaliter gebaseerd op gevolgschade (IPO-klasse)

TABEL 2-1 NORMERING VOOR KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Klasse	Veiligheidsnorm	Gevolgschade voor de klasse [mln. Euro]	Frequentie van de maatgevende rivierwaterstand voor bepaling gevolgschade
I	1/10	< 8	1/10
II	1/30	8 - 25	1/30
III	1/100	25 - 80	1/100
IV	1/300	80 - 250	1/300
V	1/1.000	>250	1/1.000

- Aanname dat overstroming bij regionale kering vooral schade oplevert, geen slachtoffers, maar is dit wel altijd zo?
- En zo niet: Is mogelijk het Lokaal Individueel Risico (LIR) of Groepsrisico (GR) maatgevend?

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Inhoud

- ▶ Toelichting casus
- ▶ Berekening schade en slachtoffers
- ▶ Beschouwing LIR
- ▶ Beschouwing GR
- ▶ Conclusies/discussie



VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Casus regionale rivier - stedelijk

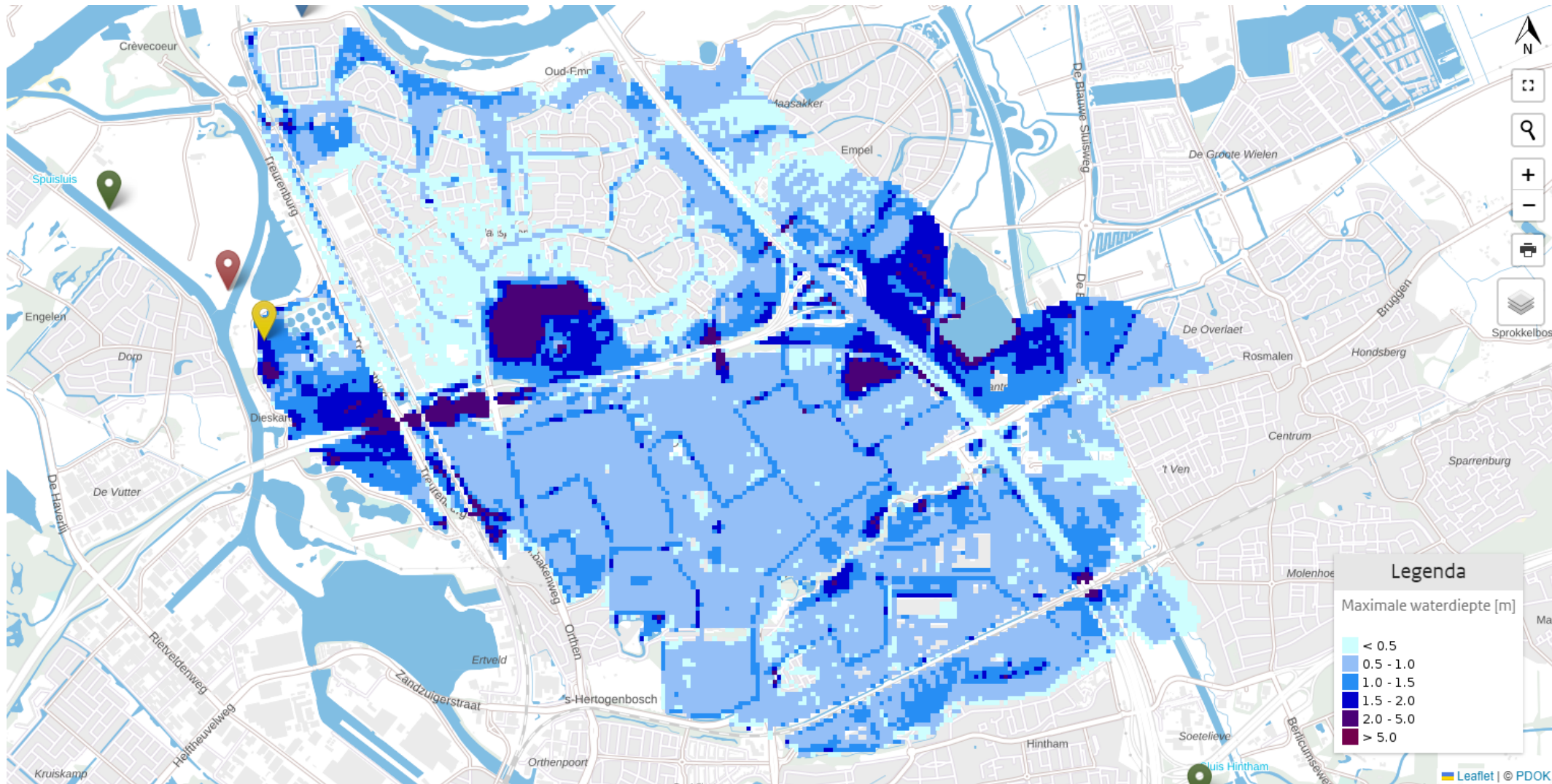


- ▶ Waterkering langs regionale rivier
- ▶ I.t.t. meeste regionale keringen groot verschil tussen dagelijks en maatgevend peil
- ▶ Norm van 1/150 per jaar
- ▶ Toetspeil NAP+5,05 m



VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Overstromingsberekening (bron: LIWO)



VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Bepaling schade en slachtoffers



Gevolgen van overstroming:

- Directe schade (binnen het beschouwde gebied)
- Indirecte schade (binnen het beschouwde gebied)
- Schade buiten het beschouwde gebied
- Slachtoffers
- Getroffenen

Twee beschikbare modellen:

- ▶ Schade- en Slachtoffer Module (SSM2017) van Deltares
 - Directe schade, slachtoffers en getroffen
- ▶ Waterschadeschatter (WSS) van STOWA
 - Alleen directe schade

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Schade, aantal slachtoffers en getroffenen na een overstroming

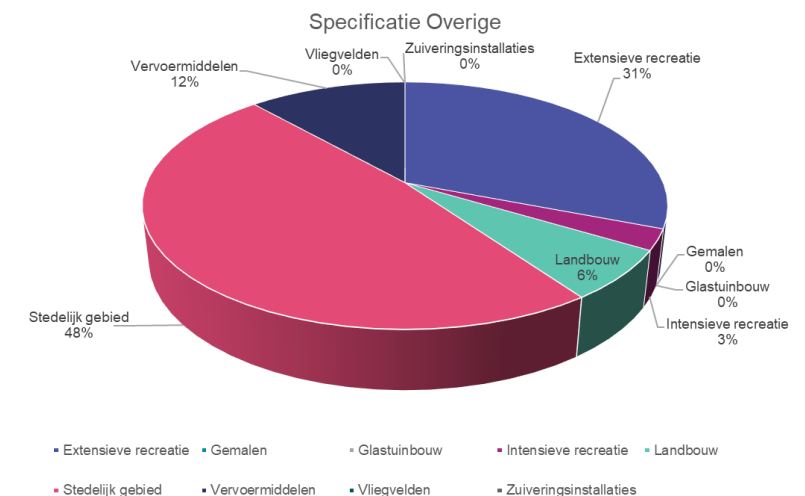
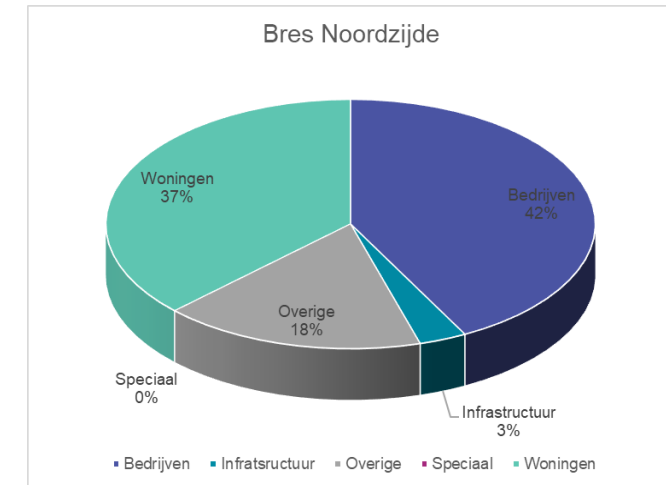


► Resultaten SSM2017:

Scenario	Beschrijving	Schade	Aantal slachtoffers*	Aantal getroffenen
Scenario 1	Bres aan noordzijde	€ 820.000.000	36	20850
Scenario 2	Bres aan zuidzijde	€ 800.000.000	35	20430

*Hierbij wordt geen rekening gehouden met evacuatie

► Waterschadeschatter: € 953.000.000,-



VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Lokaal Individueel Risico (LIR)



- ▶ Definitie LIR: *De kans per jaar voor een fictief persoon aanwezig op een bepaalde locatie om te overlijden als gevolg van een overstroming, daarbij rekening houdend met de mogelijkheid van preventieve evacuatie (Deltares, september 2009).*
- ▶ In Nederland is vastgesteld dat het LIR nergens meer dan 1/100.000 (1E-5) per jaar mag zijn.

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Lokaal Individueel Risico (LIR)



► $LIR = P1 * P2 * P3$

Met:

LIR = kans op overlijden van een individu als gevolg van een overstroming [1/jaar]

P1 = de kans op een overstroming op een bepaalde locatie [1/jaar]

P2 = de 'mortaliteit'* [-]

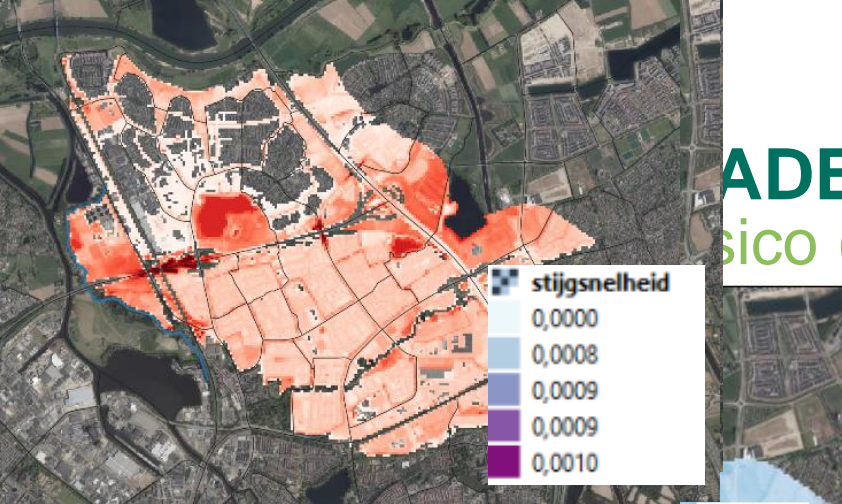
P3 = de kans op aanwezigheid van een individu op een bepaalde locatie [-]

*De kans dat een individu overlijdt wanneer hij zich tijdens een overstroming op een bepaalde locatie bevindt.



ADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

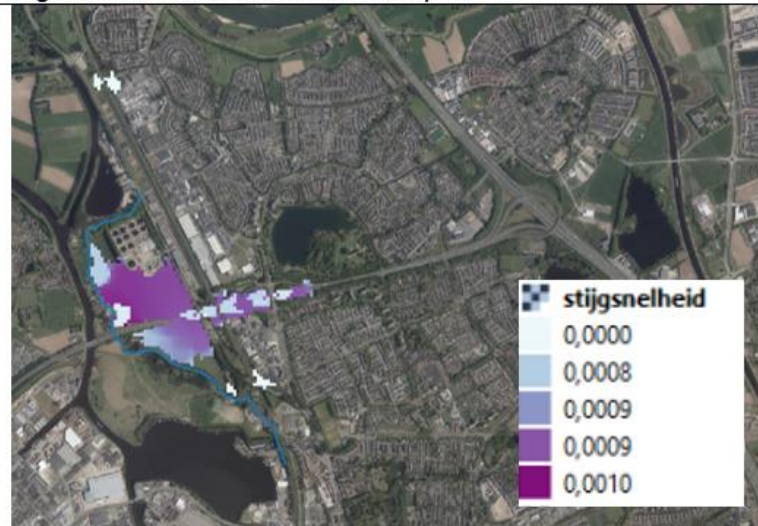
sico (LIR) - Mortaliteit



Figuur 3-8: Berekende waterdiepte



Figuur 3-9: Berekende stroomsnelheid



Figuur 3-10: Berekende stijgsnelheid



Figuur 3-11: Mortaliteit

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Lokaal Individueel Risico (LIR)



- ▶ P1: De kans op een overstroming op een bepaalde locatie [1/jaar]
 - Overschrijdingsfrequentie waterstand: 1/150 per jaar
 - Aanname: Overstromingskans $\approx 0,2 * \text{overschrijdingsfrequentie}$ (STOWA, juli 2021)
 - P1 = Faalkans $\approx 1/750$ per jaar

- ▶ P3: De kans op aanwezigheid van een individu op een bepaalde locatie
 - Kans op aanwezigheid = 1 - evacuatiefractie
 - Geen evacuatieplannen voor regionale keringen dus aanname dat P3 = 1.

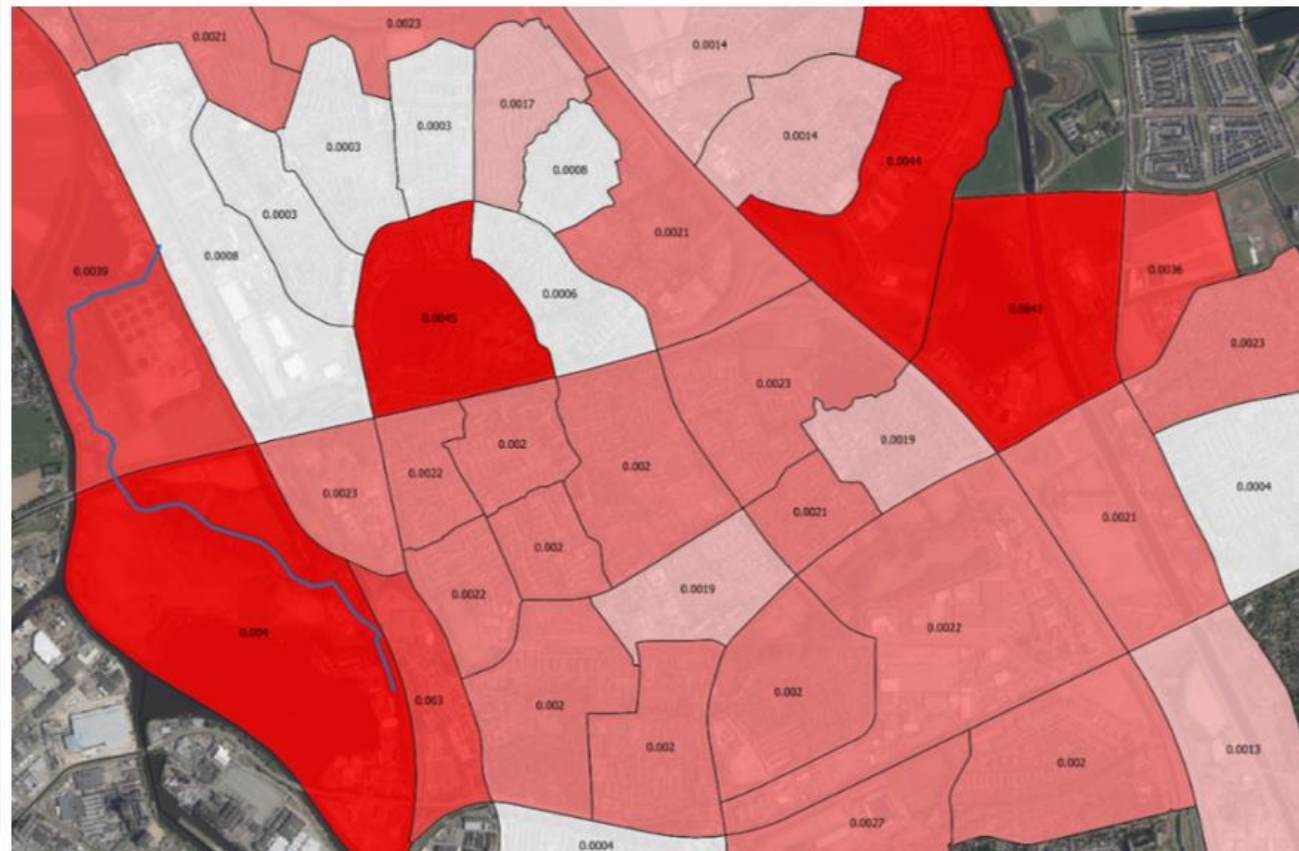
→ LIR = $1/750 * \text{Mortaliteit}$

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Lokaal Individueel Risico (LIR)



- ▶ Hoogste mortaliteit op buurniveau: 0,0046 → LIR = 6,1E-6
- ▶ Bij LIR = 1E-5 max. toelaatbare overstromingskans 1/457 per jaar
- ▶ Max. toelaatbare overschr. frequentie waterstand \approx 1/90 per jaar



Figuur 3-12: Mediane mortaliteit per buurt

Discussiepunt: Zou kans op overstromen vanuit primaire kering hierin niet ook meegenomen moeten worden?

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Groepsrisico (GR)



- ▶ Gedachte: Eén overstroming met een groot aantal slachtoffers heeft een grotere maatschappelijke impact dan meerdere kleine(re) incidenten.
- ▶ Groepsrisico op nationaal niveau (Vrijling, 1985): $1-F(N) = [(\beta * 100 / k)^2] / N^2$

Met:

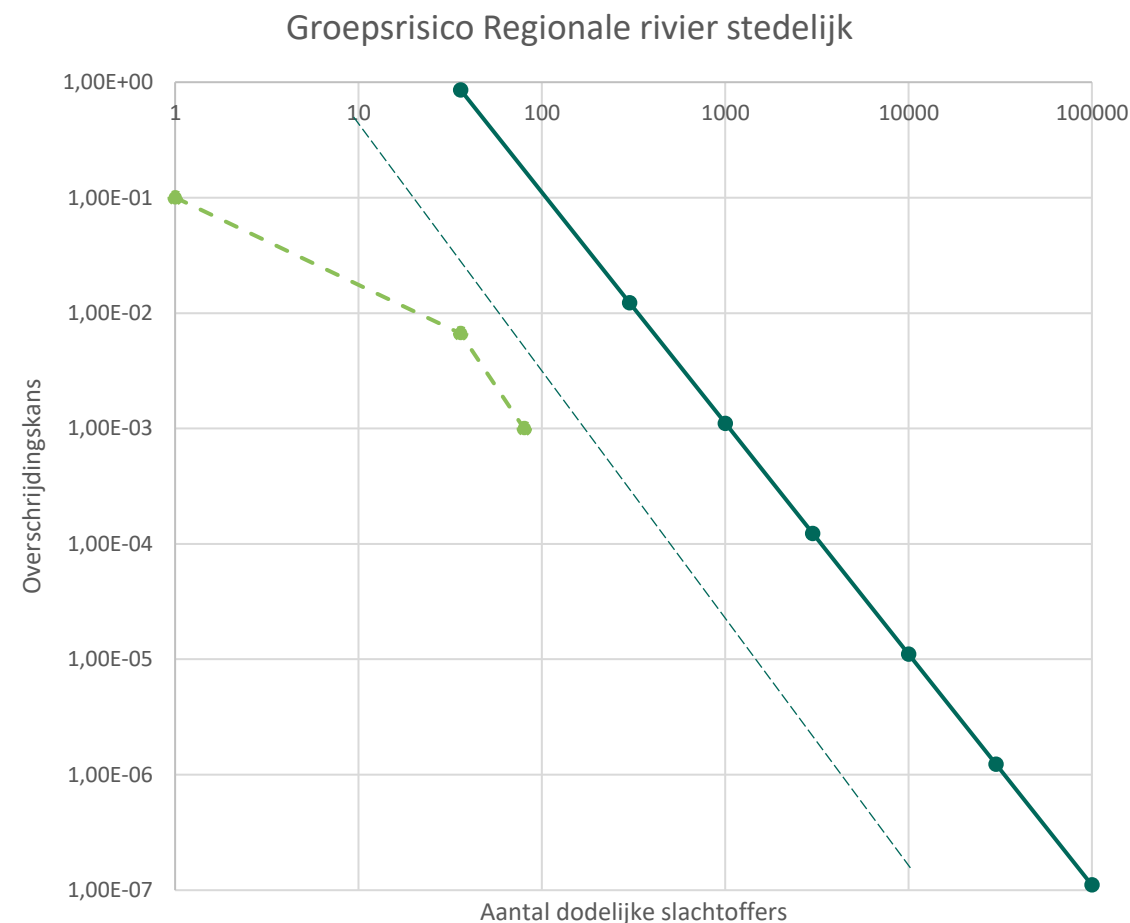
- $F(N)$ = Onderschrijdingskans van N slachtoffers
 - β = beleidsfactor [-]
 - k = risico-aversie index [-]
 - N = aantal slachtoffers [-]
- ▶ Standaardwaarden voor $\beta = 1$ en $k = 3$ aangehouden

VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Groepsrisico (GR) - Indicatieve berekening



- ▶ Aanvullende berekeningen bij terugkeertijden van 10 en 1.000 jaar
 - 1/10 per jaar: 1 slachtoffer
 - 1/150 jaar: 36 slachtoffers
 - 1/1.000 jaar: 80 slachtoffers
- ▶ Uitgezet tegen eis t.a.v. **nationaal** groepsrisico
- ▶ Voldoet ruim (factor 100)
- ▶ Eis voor individuele kering strenger, niet zeker of hier ook aan wordt voldaan, maar hiervoor gegevens benodigd die niet voorhanden waren



VEILIGHEIDSBENADERING - BESCHOUWING LIR EN GR

Conclusies/aanbevelingen



Conclusies

- ▶ Bij regionale rivieren mogelijk grote gevolgen van overstroming, met naast (veel) schade potentieel ook slachtoffers
- ▶ In dit geval LIR en GR (net) niet maatgevend, maar niet van tevoren uit te sluiten

Aanbevelingen

- ▶ Onderzoek bij regionale rivieren of andere regionale keringen met groot verval of LIR/GR maatgevend kunnen zijn
- ▶ Nader onderzoek naar evacuatiefractie en/of opstellen evacuatieplannen

Disclaimer: Pilotstudie dus diverse grove aannames en versimpelingen gehanteerd, geen daadwerkelijke conclusies over de casus uit te trekken.