



Faalpaden bij beoordelen en ontwerpen

Hoe dan?

7 december 2023

Marieke Hazelhoff

Han Knoeff



Faalpaden bij beoordelen
en ontwerpen

Hoe dan?

Wat en waarom

Overstap naar overstromingskans:

- De wet vraagt om een realistische inschatting van de overstromingskans
- Dat betekent dat we het gedrag van de kering centraal zetten
- Dit doen we met behulp van het faalpaden gedachtengoed

“Huidige” werkwijze

De huidige werkwijze is het beschouwen van alleen initiatie en we negeren:

- Kansbijdragen vervolgprocessen
- Interacties tussen faalpaden/doorsnedes (**wordt nu niet meegenomen, $p=0$ en/of N-factor**)

Faalpad	Huidige rekenregels	Worden nu niet meegenomen, $P=1$			\prod
	Initiatie	Vervolgmechanisme*	Kruinverlaging*	Bresgroei*	
Dijkerosie	$P_{1,ini}$	$P=1$	$P=1$	$P=1$	$P_{1,vak}$
Macro-stabiliteit	$P_{2,ini}$	$P=1$	$P=1$	$P=1$	$P_{2,vak}$
Piping	$P_{3,ini}$	$P=1$	$P=1$	$P=1$	$P_{3,vak}$
....	$P_{4,ini}$	$P=1$	$P=1$	$P=1$	$P_{4,vak}$
Σ					$P_{n,vak} < norm$

* Kans gegeven voorgaande processen

Punt op de horizon

Wat we willen is een scherpere bepaling van de overstromingskans met inbegrip van:

- Kansbijdragen **vervolgmechanismen** (worden meegenomen, $P \neq 1$)
- **Interacties** tussen faalpaden (worden meegenomen, $p \neq 0$ en geen N-factor/faalkansbegroting)

Faalpad	BOI Initiatie	Vervolgproces* K	K	ei*	Toekomstig □
Dijkerosie	$P_{1, ini}$	$P \neq 1$			$P_{1, vak}$
Macro-stabiliteit	$P_{2, ini}$	$P \neq 1$		$P \neq 1$	$P_{2, vak}$
Piping	$P_{3, ini}$			$P \neq 1$	$P_{3, vak}$
....	$P_{4, ini}$			$P \neq 1$	$P_{4, vak}$
Σ					$P_{traject}$

Het doel van faalpaden is niet om alle vakjes te vullen!
Alleen de relevante vakjes!

* Kans gegeven voorgaande processen

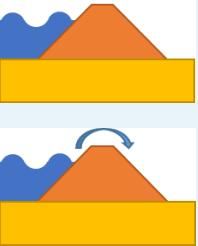
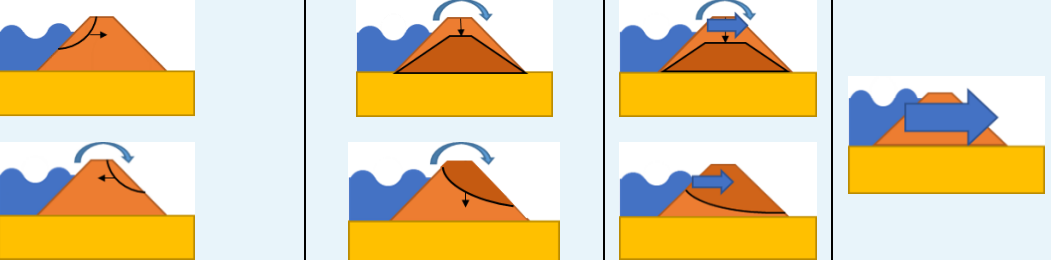
$$P_{n, vak} \neq P_{n, ini}$$

$$P_{n, vak} < P_{n, ini}$$

Oké, als dat is wat we willen, hoe dan?

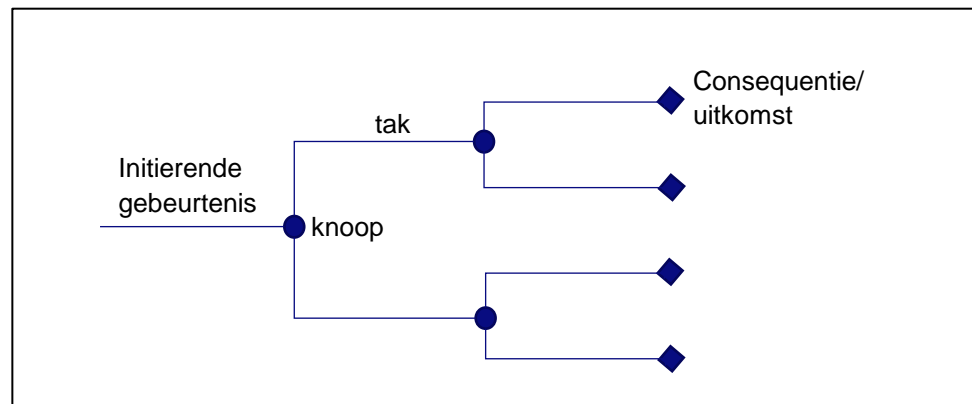
Definities voor werken met faalpaden (1)

Voorbeeld van een bekend faalpad met initiatie en vervolgprocessen:

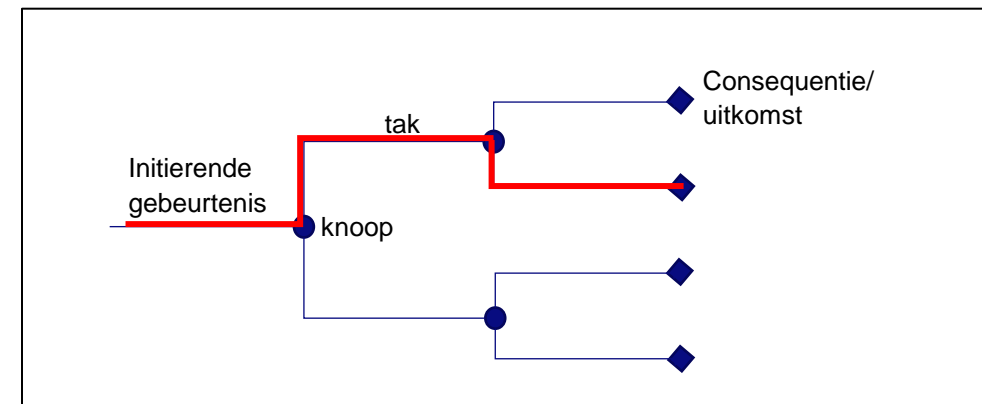
Overstroming door dijkerosie	Initiatie:		Vervolgprocessen:			
						
	1a. Schade bekleding buitentalud door golfaanval 1b. Schade bekleding kruin en binnentalud door golfoverslag		2a. Erosie door golfaanval 2b. Erosie door golfoverslag	• Kruin-verlaging	• Overloop	• Bresgroei
<i>Narratief</i>	<i>Golfaanval op buiten talud, kruin of binnen talud veroorzaken schade aan bekleding en/of overgangen</i>		<i>Door de schade aan de bekleding kan erosie van de toplaag en kernmateriaal plaatsvinden</i>	<i>Bij doorgaande erosie ontstaat een kruinverlaging</i>	<i>Bij kruinverlaging onder de buitenwaterstand loopt het water over de dijk</i>	<i>De bres groeit in de lengterichting van de waterkering</i>

Definities voor werken met faalpaden (2)

- Gebeurtenissenboom:



Lineair faalpad:



- **Relevant faalpad:** waarvan het optreden bij betreffende dijk mogelijk is
- **Dominant faalpad:** bepalend voor de overstromingskans, versterkingsopgave of andere beslissing

Overstromingskans bepalen met behulp van “faalpaden”

1. Gebruik gebeurtenissenbomen (samengesteld uit lineaire faalpaden) om **relevante/dominante lineaire faalpaden** te identificeren
2. In de gebeurtenissenboom en relevante/dominante faalpaden rekening houden met **relevante vervolgprocessen**
3. Rekening houden met **(on)afhankelijkheden** tussen mechanismen en doorsnedes
4. expliciet rekening houden met de variatie van de staat van de kering gedurende beoordelingsperiode via **scenario's voor faalpaden**
5. (meer) meten om de **onzekerheden in relevante faalpaden expliciet te maken/te reduceren**



Faalpaden bij beoordelen
en ontwerpen

Hoe dan?

Van theorie naar praktijk

Faalpaden # hoe dan: onderbouwen overstromingskans

Doel: onderbouwen overstromingskans, vanuit het verhaal van de kering

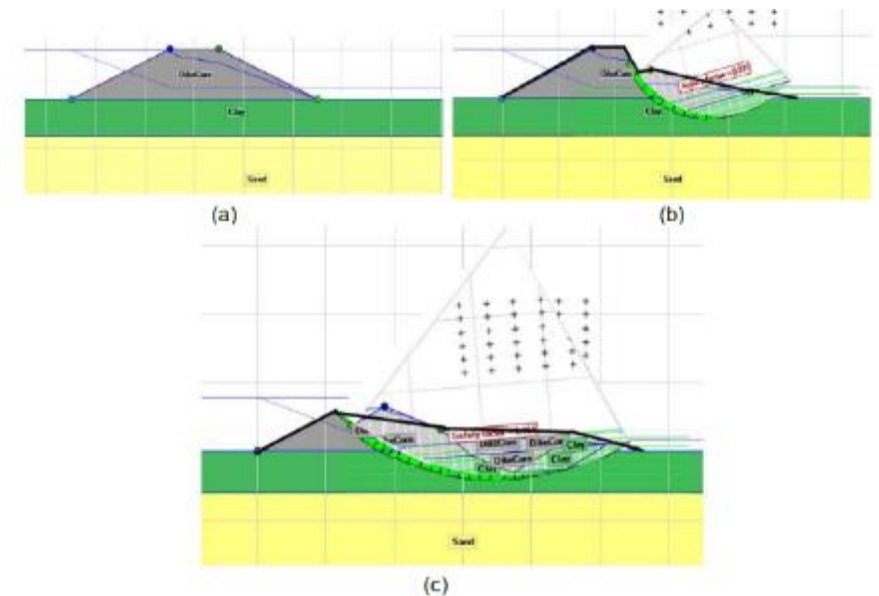
- Bestaande aanpak in juiste context

Principes:

1. **Overzicht** van faalpaden / bedreigingen
2. **Beslisvraag** centraal
3. Van **grof naar fijn**, focus op wat er toe doet

Uitwerking in:

- Ministeriele Regeling beoordelen (2023) en handreiking veiligheidontwerp (groene versie dec 2023)
- Handleiding overstromingskansanalyse (2022, update 2023)
- Hulptroepen: Adviesteam Dijkontwerp (overstromingskansbenadering), De Innovatieversneller (nieuwe kennis), Helpdesk (onduidelijkheden proces), KKP (uitwisselen ervaringen), ...



Faalpaden bij beoordelen # hoe dan

1. Overzicht bedreigingen

- Startlijst met directe en indirecte faalmechanismen, aangevuld met locatiespecifieke bedreigingen
- Check ontwikkelingen

2. Analyse relevante faalpaden

- Selectie met beslisregels
- Analyse met generieke modellen
- Ordening op basis van impact overstromingskans
- Check totaal en update lijst

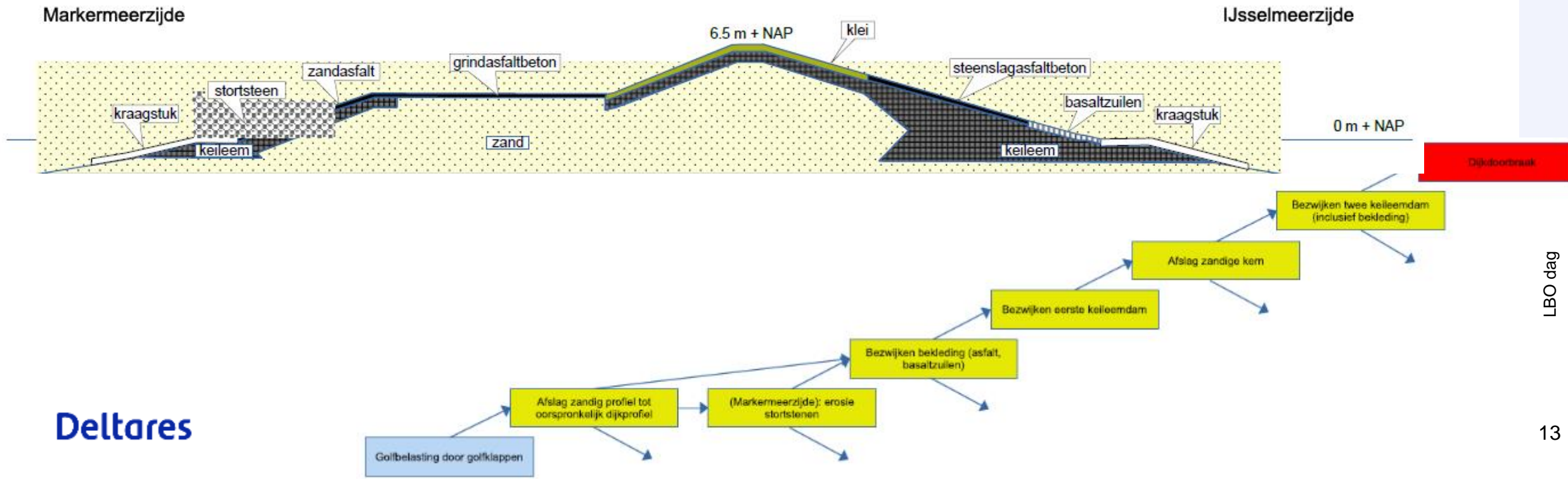
3. Analyse dominante faalpaden

- Selectie in werkatelier
- scherpere schematisatie, toepassen geavanceerder rekenmodel/techniek of analyse vervolgmecanisme
- Check stabiliteit veiligheidsoordeel en –opgave, update lijst

Faalpad	Initiatie	Vervolproces*	Kruinverlaging*	Bresgroei*	□
Dijkerosie	$P_{1, ini}$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P_{1, vak}$
Macro-stabiliteit	$P_{2, ini}$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P_{2, vak}$
Piping	$P_{3, ini}$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P_{3, vak}$
....	$P_{4, ini}$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P \neq 1$	$P_{4, vak}$
Σ					$P_{traject}$

Faalpaden bij ontwerpen

- Sluit aan op aanpak beoordeling, beoordeling geeft startlijst bedreigingen
- Voor standaard dijken is basis instrumentarium effectief en efficiënt
- Maar expliciete keuzes en meer **ruimte voor afwijkingen, op basis van faalpaden**



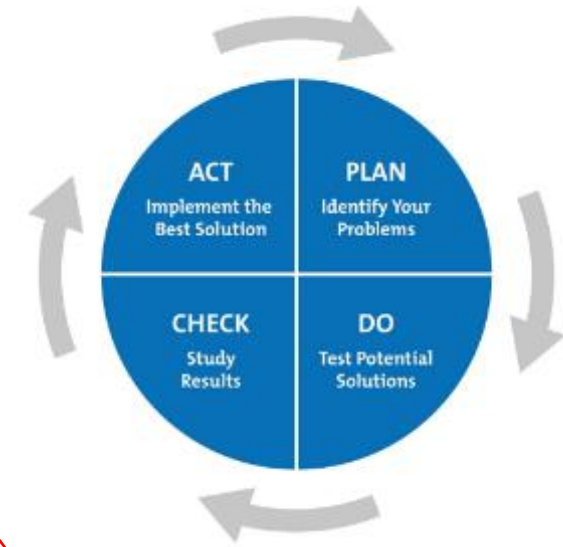
Beslisvraag centraal

Stap*	Beslisvraag	toelichting
Wettelijke beoordeling	veiligheidsopgave	- jaarlijkse check op ontwikkelingen - beoordeling volgens Ministeriele Regeling
Trajectaanpak	Welke projecten	- Systeemmaatregelen (rivierverruiming) - veiligheidsrendement - partieel versterken - faalkansbegroting
Verkenning	voorkeursalternatief?	- welke maatregel op vak- en systeemniveau zijn er om aan eisen te voldoen
Planuitwerking	detailontwerp?	- hoe zo efficiënt mogelijk aan de eisen voldoen
realisatie	uitvoering	- welke eisen aan de uitvoering zijn er naast veiligheidseisen (omgeving etc).

*Afweging van alternatieven op basis van maatschappelijke kosten-baten is buiten de scope van dit raamwerk

Faalpaden bij ontwerpen - Iteratief ontwerpen

vak	Faalpad*	Initiatie	Vervolg- processe n*	\sqcap	maatregel
1	Dijkerosie - GEBU	$P_{1, ini, vak1}$	?	$P_{1, vak 1}$	Nadere analyse
	Dijkerosie - GEKB	$P_{2, ini, vak1}$	?	$P_{2, vak 1}$	
	Macro-stabiliteit	$P_{3, ini, vak1}$	?	$P_{3, vak 1}$	berm
	Piping	$P_{4, ini, vak2}$	?	$P_{4, vak1}$	
2	Dijkerosie - GEBU	$P_{1, ini, vak1}$	?	$P_{1, vak 1}$	Onzekerheden reduceren
	Dijkerosie - GEKB	$P_{2, ini, vak1}$	?	$P_{2, vak 1}$	
	Macro-stabiliteit	$P_{3, ini, vak1}$	?	$P_{3, vak 1}$	
...	
	Σ			$P_{traject}$	



Zie volgende presentatie

Ter afsluiting – Samen aan de slag!

- Ministeriele Regeling BOI2
- Eind 2023 handleiding veiligheidsontwerp (groene versie)
- Handleiding overstromingskansanalyse
- Voor vragen terecht bij Adviesteam Dijkontwerp en De Innovatie Versneller
- Welke hulp nog nodig voor toepassing?
- In de praktijk kan je hier al mee uit de voeten: zie volgende presentatie






Faalpaden bij beoordelen
en ontwerpen

Hoe dan?

Een voorbeeld IJsselmeerdijk

Pieter Jeroen Bart, Christiaan
Tenthof van Noorden

TRAJECT 1A VOOROEVER

-  Vooroeverdam
-  Zandig plateau
-  Huidig dijkprofiel



Ambities en issues planuitwerking

- ▶ Biodiversiteit maximaal stimuleren
- ▶ Optimaliseren van de beheerkosten
- ▶ Minimaliseren van de milieueffecten
- ▶ Uitwerking meekoppelkansen

TRAJECT 1B TRADITIONELE DIJKVERSTERKING

Ambities en issues planuitwerking

- ▶ Uitwerking traditionele dijkversterking
- ▶ Overgangen naar de vooroevers
- ▶ Impact op omgevingspartijen
- ▶ Minimaliseren van de milieueffecten

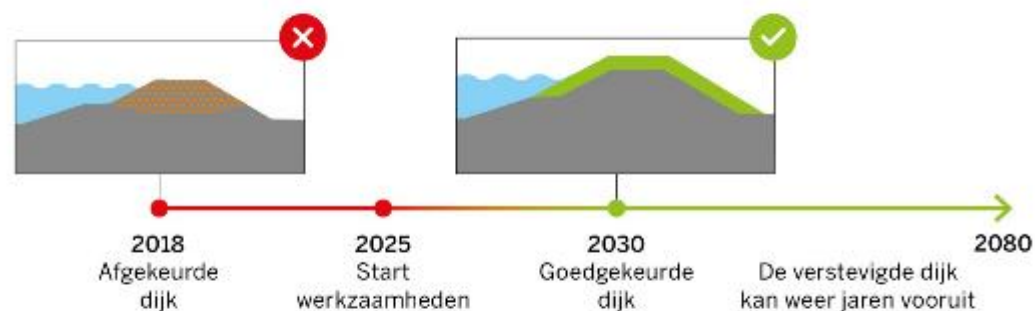
TRAJECT 2 VERSTERKING BUITENBEKLEDING

Ambities en issues planuitwerking

- ▶ Optimaliseren ontwerp versterking buitenbekleding
- ▶ Uitwerking meekoppelkansen fiets/wandelpad
- ▶ Impact op omgevingspartijen
- ▶ Minimaliseren van de milieueffecten



Het doel



Projectkaders

-  Participatie
-  Circulair
-  CO₂-neutraal
-  Biodiversiteit
-  Innovatie

Werken met Faalpaden binnen IJsselmeerdijk

1. Gebruik gebeurtenissenbomen (samengesteld uit lineaire faalpaden) om relevante/dominante lineaire faalpaden te identificeren
 - **Selectie relevante faalmechanisme**
2. In de gebeurtenissenboom en relevante/dominante faalpaden rekening houden met relevante vervolgprocessen
3. Rekening houden met (on)afhankelijkheden tussen mechanismen en doorsnedes
 - **Herverdeling faalkansruimte**
 - **Samenvoegen faalmechanismen GEBU en GEKB**
4. expliciet rekening houden met de variatie van de staat van de kering gedurende beoordelingsperiode via scenario's voor faalpaden
5. (meer) meten om de onzekerheden in relevante faalpaden expliciet te maken/te reduceren
 - **Analyse Hydraulische belastingen**
 - **Golfgootproeven**
 - **Innovatie dijkerosie**

Overstromingskans bepalen met behulp van “faalpaden”

1. Gebruik gebeurtenissenbomen (samengesteld uit lineaire faalpaden) om **relevante/dominante lineaire faalpaden** te identificeren
2. In de gebeurtenissenboom en relevante/dominante faalpaden rekening houden met **relevante vervolgprocessen**
3. Rekening houden met **(on)afhankelijkheden** tussen mechanismen en doorsnedes
4. expliciet rekening houden met de variatie van de staat van de kering gedurende beoordelingsperiode via **scenario's voor faalpaden**
5. (meer) meten om de **onzekerheden in relevante faalpaden expliciet te maken/te reduceren**

LBO1 dag 2017: Les 1: Bezint eer ge begint...

VNK:
Faalkans lager dan ondergrens

Nieuwe normen:
Golven van bijna 5 m

Verkennde studie 2015:
Kruinhoogtekort >2 m

Beheer en onderhoud:
Kosten onderhoud steenzettingen
Continue belasting 5 m waterkolom: geen piping

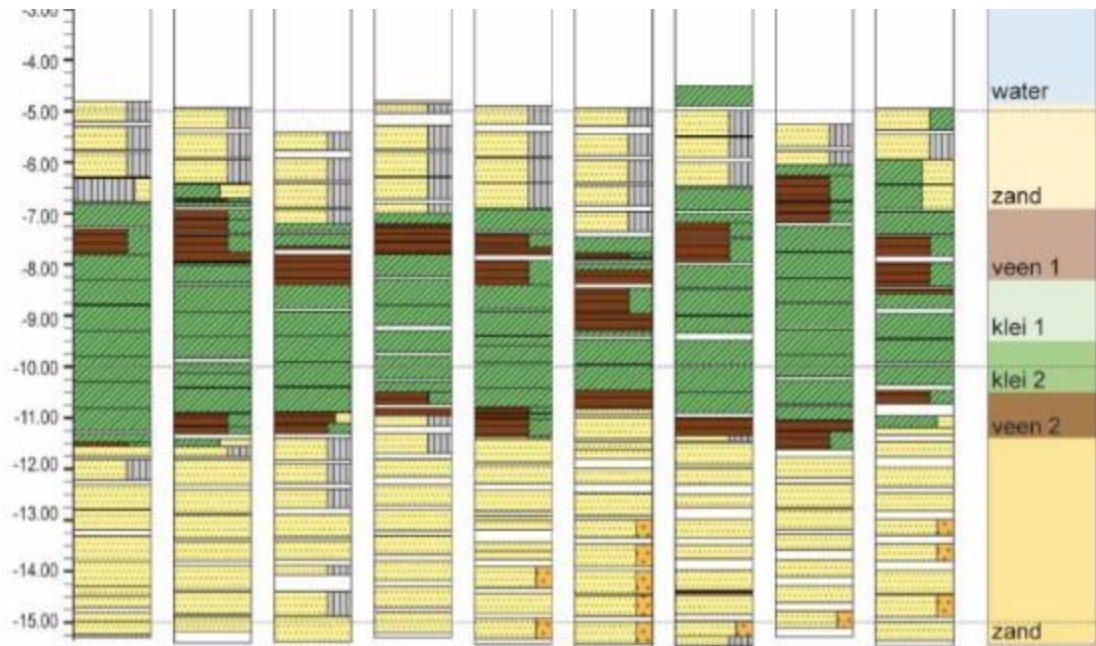


Bekleding dominant
Geotechnische sporen niet dominant

Overstromingskans bepalen met behulp van “faalpaden”

1. Gebruik gebeurtenissenbomen (samengesteld uit lineaire faalpaden) om **relevante/dominante lineaire faalpaden** te identificeren
2. In de gebeurtenissenboom en relevante/dominante faalpaden rekening houden met **relevante vervolgprocessen**
3. Rekening houden met **(on)afhankelijkheden** tussen mechanismen en doorsnedes
4. expliciet rekening houden met de variatie van de staat van de kering gedurende beoordelingsperiode via **scenario's voor faalpaden**
5. (meer) meten om de **onzekerheden in relevante faalpaden expliciet te maken/te reduceren**

Afhankelijkheden tussen mechanismen:



Type waterkering	Faalmechanisme	ω [-]
Dijk	Erosie grasbekleding	0,49
	Opbarsten en Piping	0,04

GEBU/GEKB-tool

Huidige werkwijze:

- GEBU:
 - Semi-probabilistisch
 - Faalkansruimte: 5%
 - Eis: **1/600.000 per jaar**
- GEKB:
 - Probabilistisch
 - Faalkansruimte: 24%
 - Eis: **1/125.000 per jaar**

Nieuwe werkwijze:

- GEBU:
 - Probabilistisch
 - Golfoploop en -klap
- GEKB:
 - Probabilistisch

Samengestelde eis:

- (24%+5%+20%=49%)
- **1/61.224 per jaar**



Overstromingskans bepalen met behulp van “faalpaden”

1. Gebruik gebeurtenissenbomen (samengesteld uit lineaire faalpaden) om **relevante/dominante lineaire faalpaden** te identificeren
2. In de gebeurtenissenboom en relevante/dominante faalpaden rekening houden met **relevante vervolgprocessen**
3. Rekening houden met **(on)afhankelijkheden** tussen mechanismen en doorsnedes
4. expliciet rekening houden met de variatie van de staat van de kering gedurende beoordelingsperiode via **scenario's voor faalpaden**
5. (meer) meten om de **onzekerheden in relevante faalpaden expliciet te maken/te reduceren**

Onzekerheden reduceren

- Analyse Hydraulische belastingen
- Gootproeven teenconstructie/langsdam
- Innovatie dijkerosie

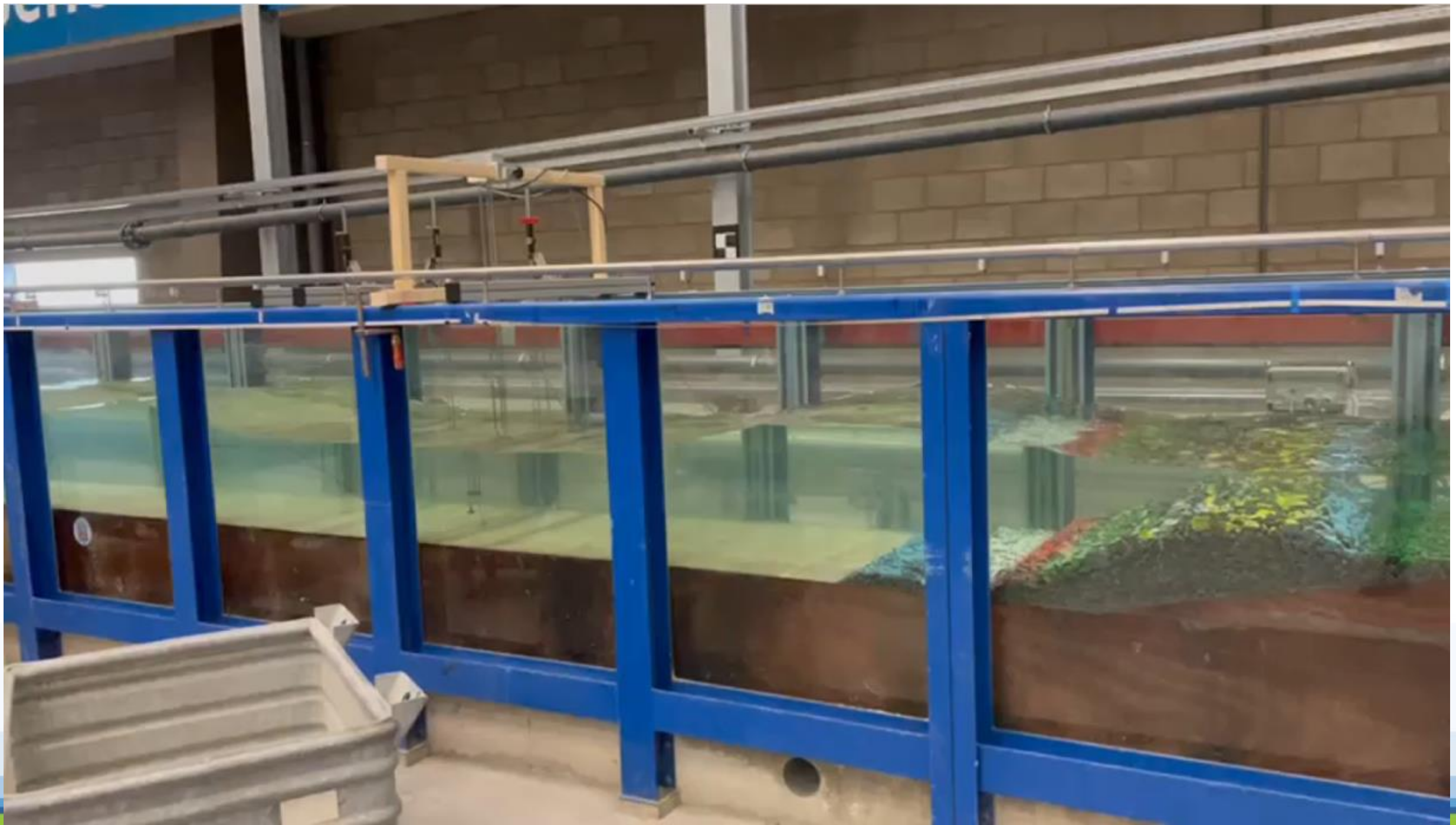
Hydraulische Belastingen

Voorstel tot actualiseren databases en te gebruiken rekentechnieken

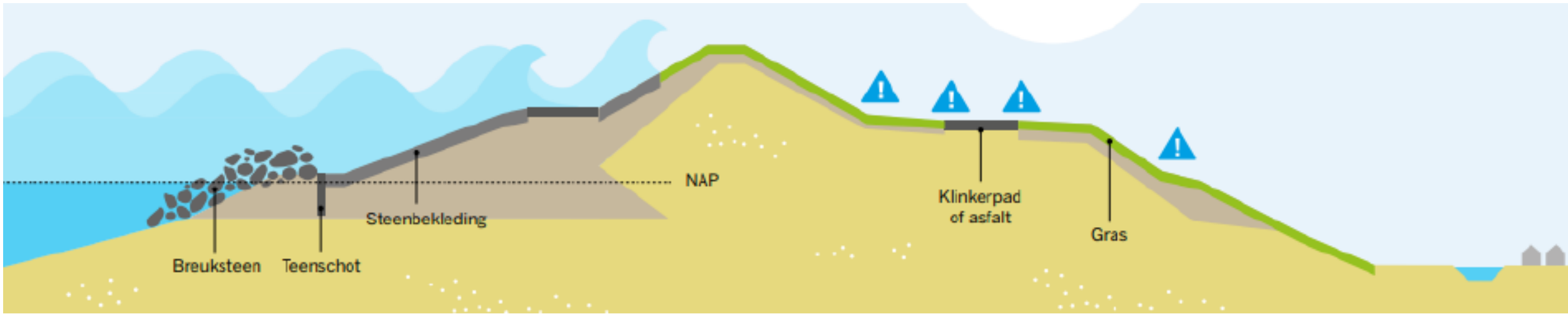


Aanscherping HR door middel van:

1. Bias-correctie van de onzekerheden op golfhoogte en -periode;
2. Aanscherping modelonzekerheid waterstand;
3. Aanscherping modelonzekerheid golfhoogte;
4. Toevoeging correlatieparameter voor de modelonzekerheden golfhoogte en -periode.

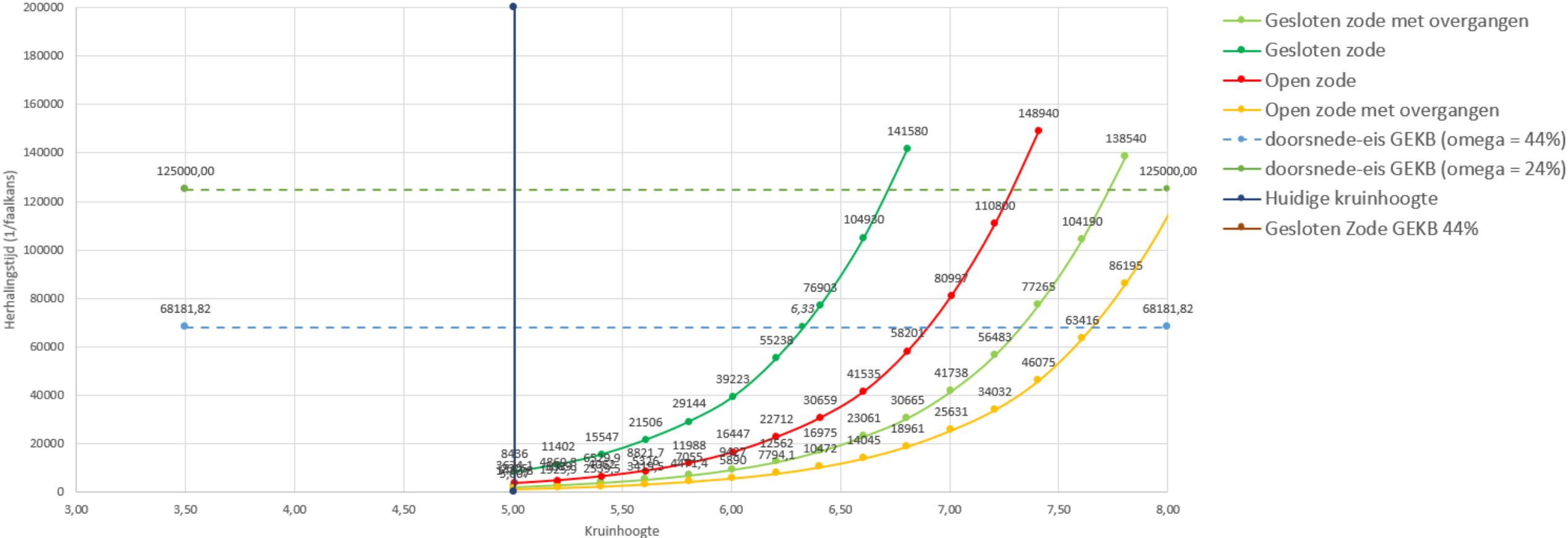


Innovatie dijkerosie



Innovatie dijkerosie

Faalkansen GEKB







Faalpaden: Doen!

- We kunnen dit!
 - In overleg met HWBP goed in te passen in projecten
 - IB's kunnen dit!
- Noodzaak:
 - Versterkingskosten rijzen de pan uit;
 - Helpt bij ruimtelijke inpassing.



Faalpaden bij beoordelen
en ontwerpen

Hoe dan?

Duidelijk toch ! ... ?

Vragen?