

# Betrouwbaarheids- en risicoanalyse onmisbaar in de geotechniek van de toekomst

4 reasons to go probabilistic!

*Dr. ir. Timo Schweckendiek (Deltares & TU Delft)*



# Waar gebeurt er nu al veel met betrouwbaarheid en faalkansen?

1. Waterkeringen
2. Constructies 'buiten de norm'
3. Natural hazards
4. Hoge veiligheidseisen
5. Offshore installaties



## 4 reasons to go probabilistic

---

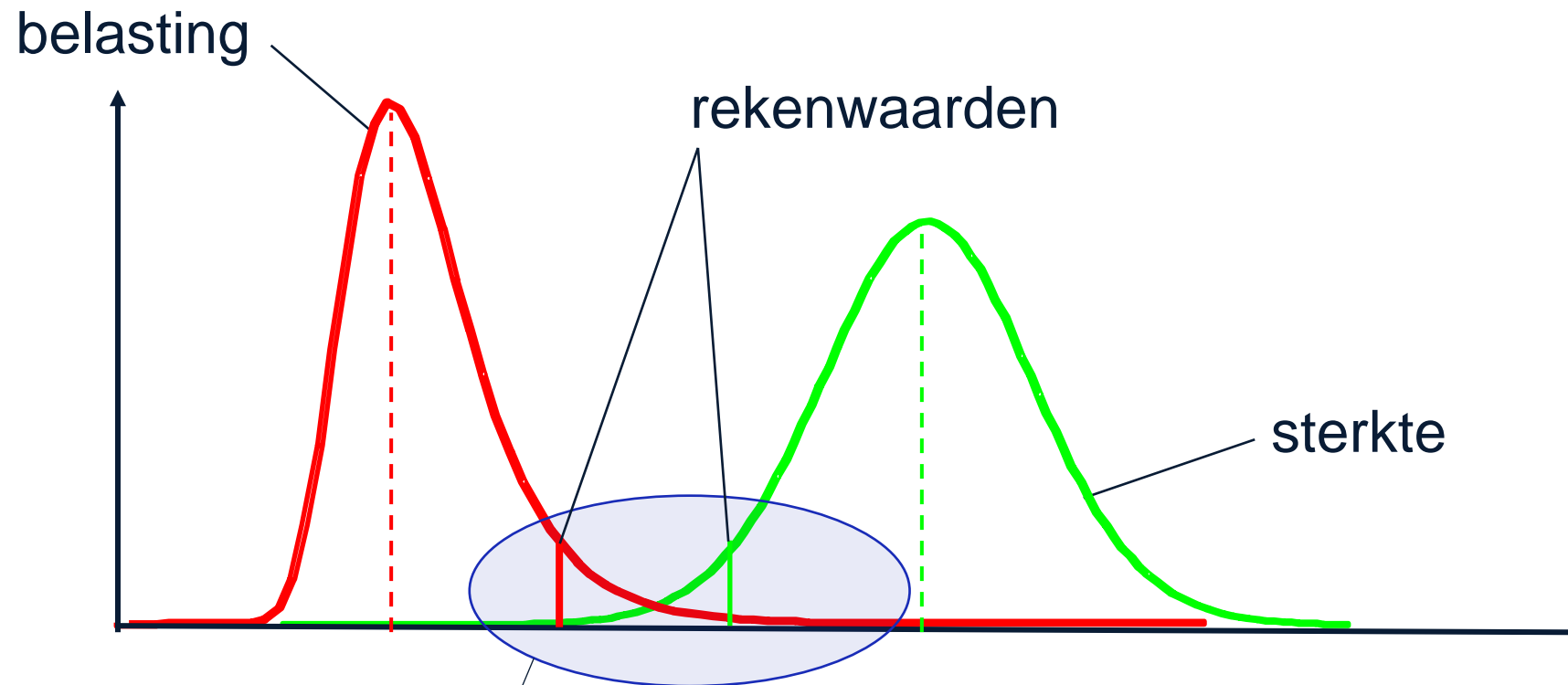
**1. Scherpere bepaling betrouwbaarheid**

**2. Systemgedrag en interactie**

**3. Past performance & data fusion**

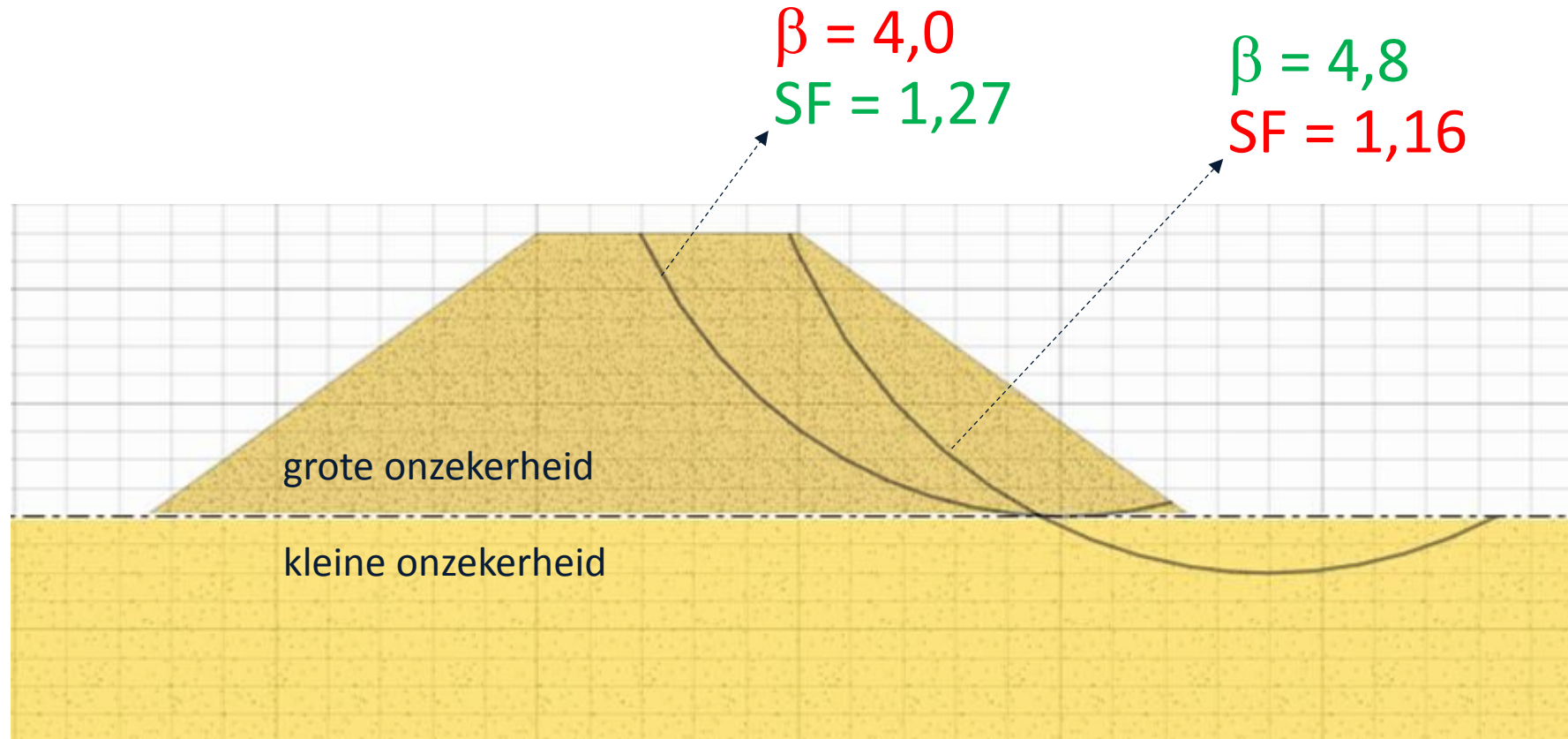
**4. Observatiemethode**

# #1 Scherpere bepaling betrouwbaarheid

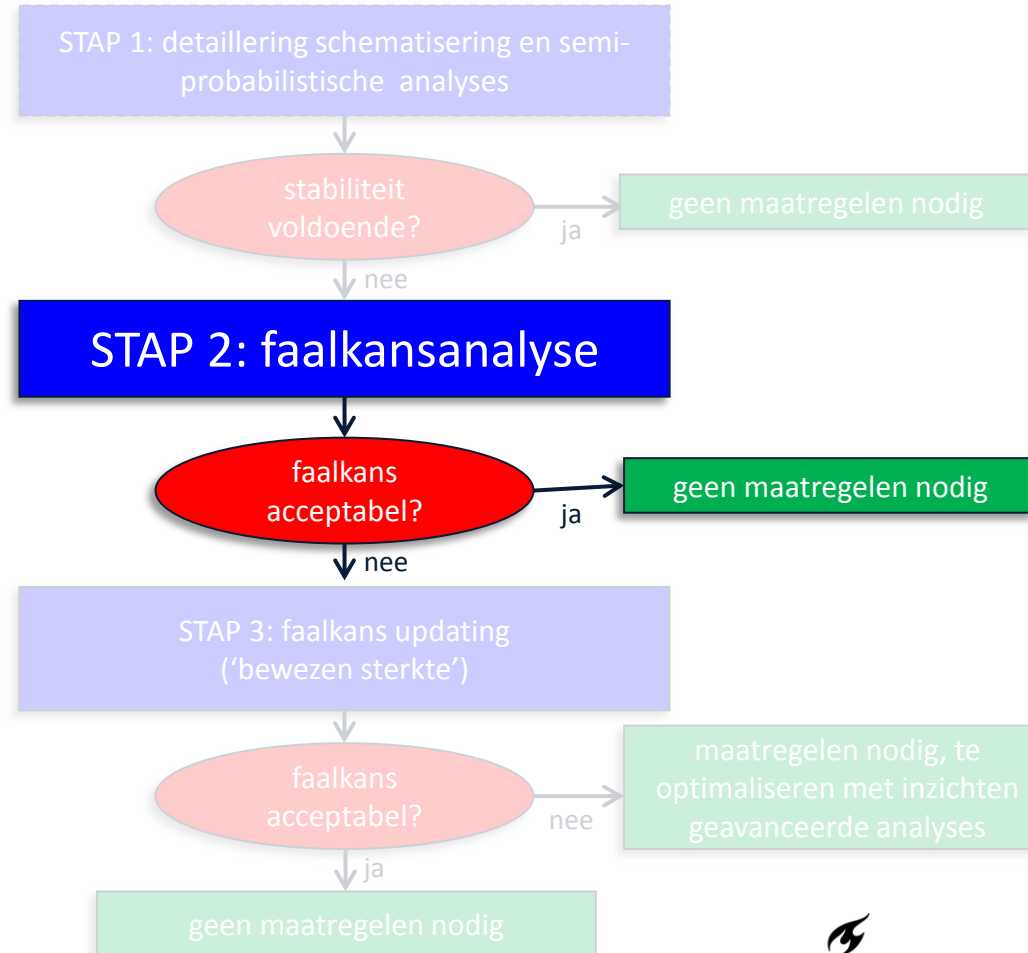
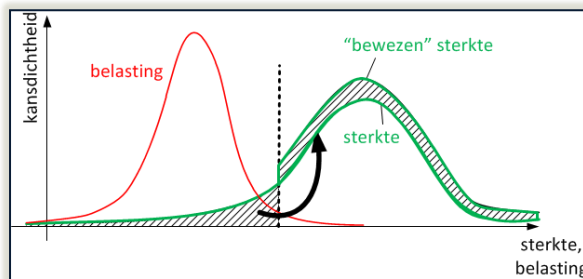
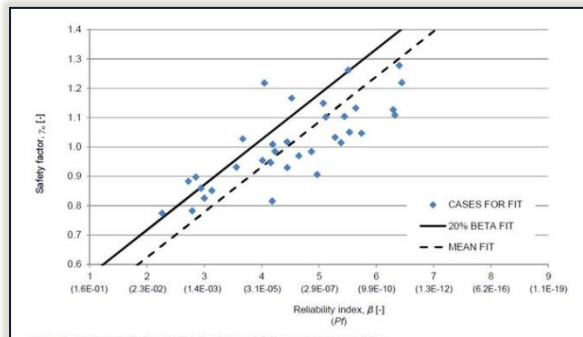
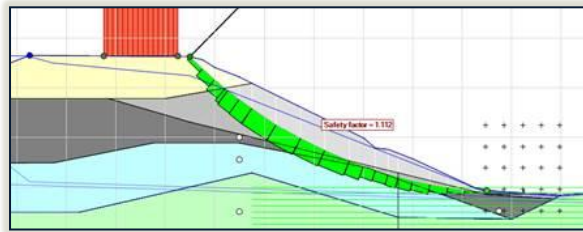


Faalkans =  $P(\text{sterkte} < \text{belasting})$

# #1 Scherpere bepaling betrouwbaarheid



# Voorbeeld: Actuele sterkte bij dijken



# Voorbeeld: Actuele sterkte bij dijken

## Primaire waterkeringen:

- WS - Vallei en Veluwe (Noordelijke Randmeerdijken)
- WS - Drents Overijsselse Delta (Zwolle-Olst)
- WS - Hollandse Delta (Hellevoetsluis)
- WS - HHNK (MMD)
- WS - HDSR (WAM)
- WS - Schieland en Krimpenerwaard (KIJK)
- WS - Rivierenland (TiWa, GoWa, SAFE, NeBe)

## Regionale waterkeringen:

- WS - HHNK
- WS - Rivierenland (Kinderdijk)

## Betrokken bureau's:



expliciet modelleren onzekerheden  
(i.p.v. stapelen onzekerheden)

aanscherping veiligheidsbeeld

kleinere scope versterkingsprojecten

ontwerpoptimalisatie

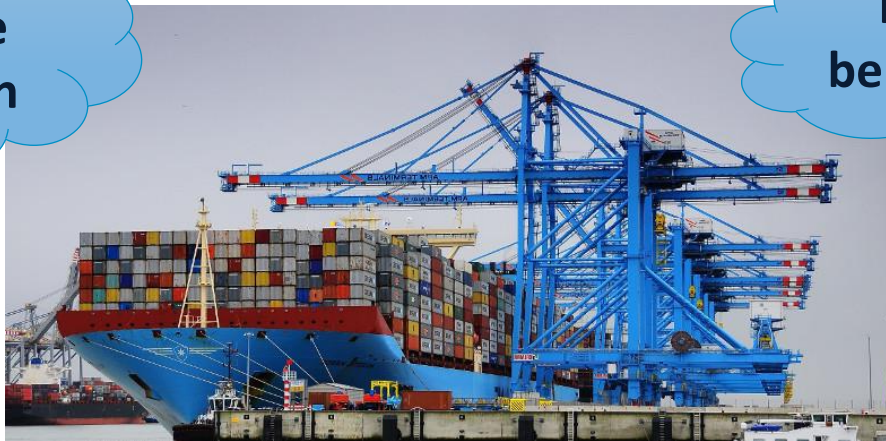


# Voorbeeld: Betrouwbaarheidsanalyse (bestaande) kademuren

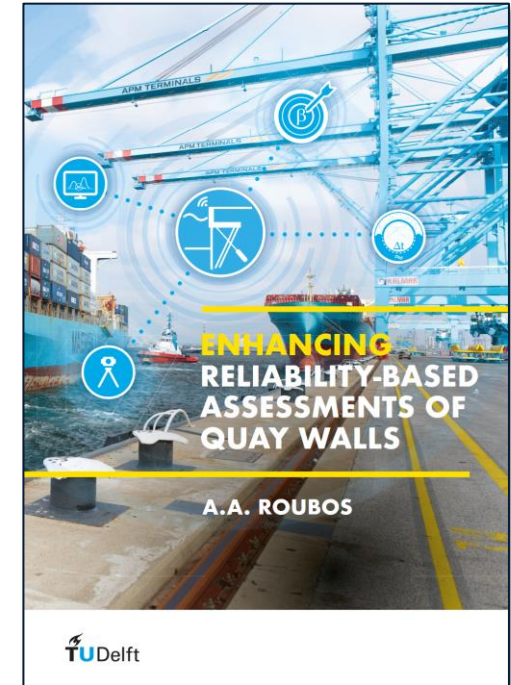
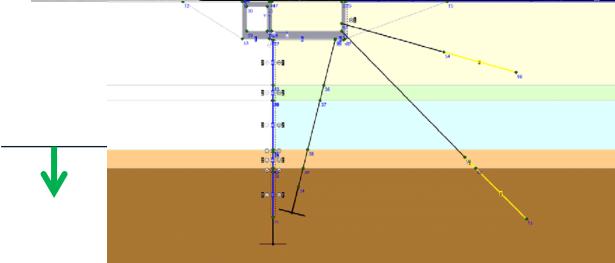
langere levensduur

grotere schepen

hogere belastingen



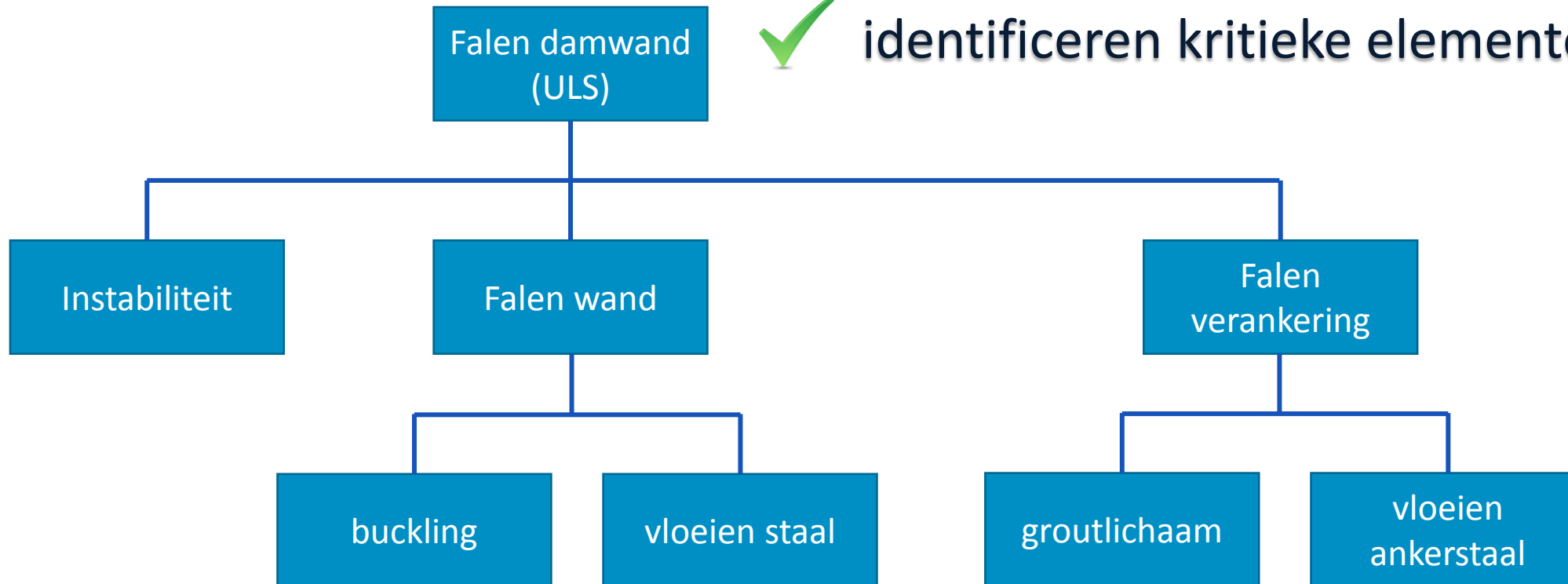
meer nautische diepte



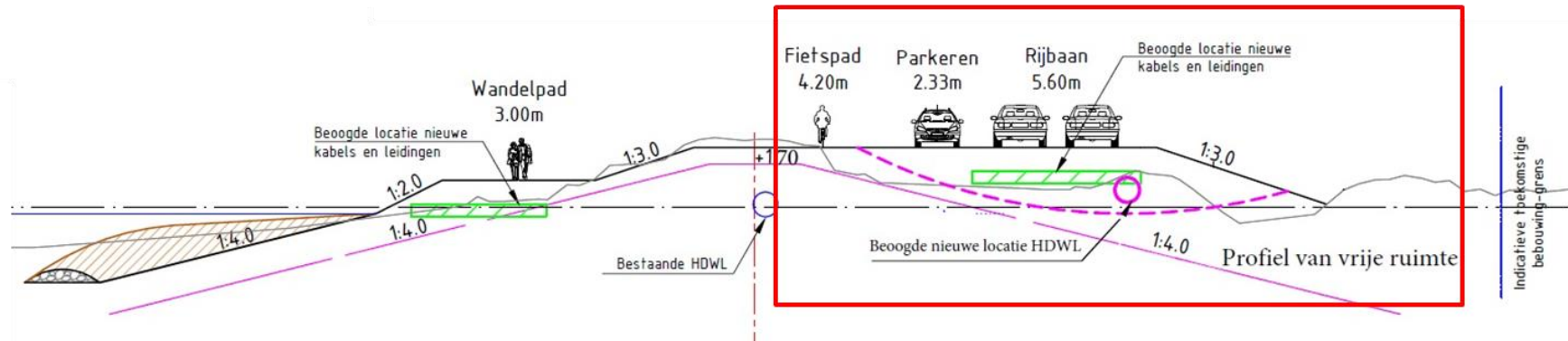


## #2 Systeemgedrag en interactie

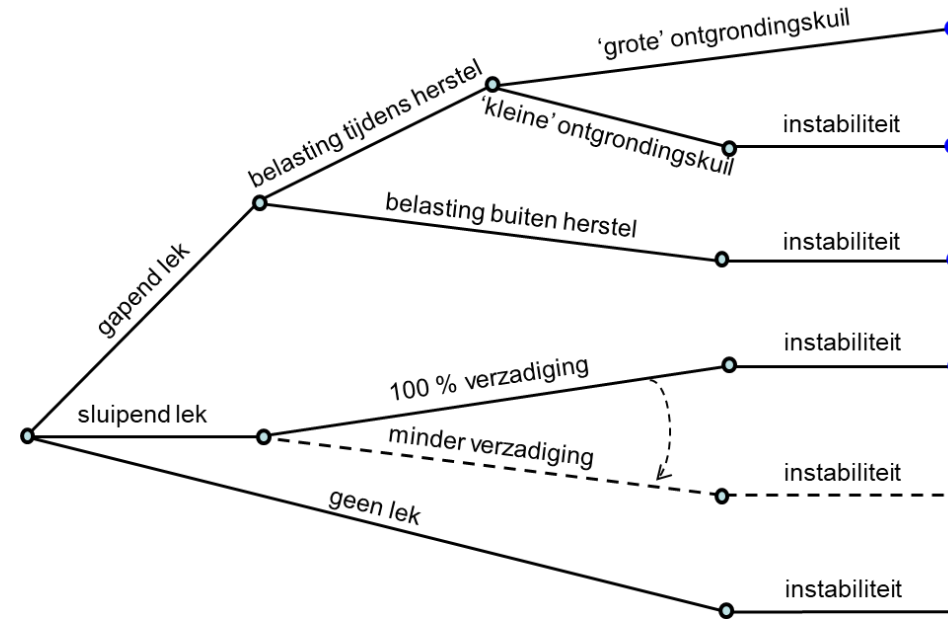
- ✓ samenwerking componenten
- ✓ beter beeld systeembetrouwbaarheid
- ✓ identificeren kritieke elementen



# Voorbeeld: Pijpleidingen in dijken



Zeeburgereiland (paralele watertransportleiding)

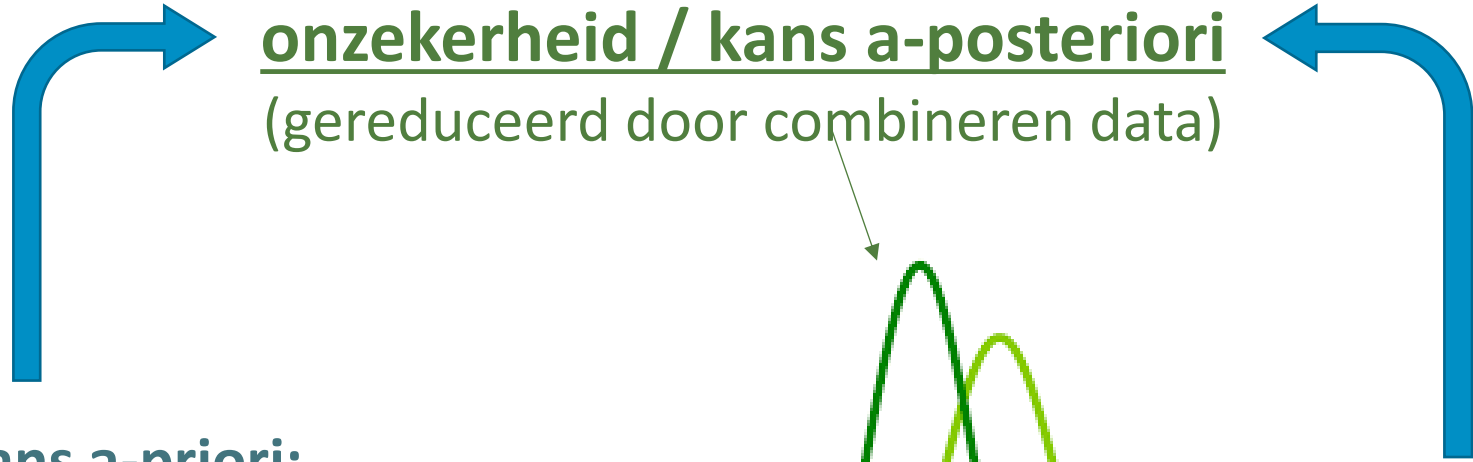


✘ Gemeente  
✘ Amsterdam  
✘



Deltares

# #3 Past performance & data fusion (Bayesian analysis)

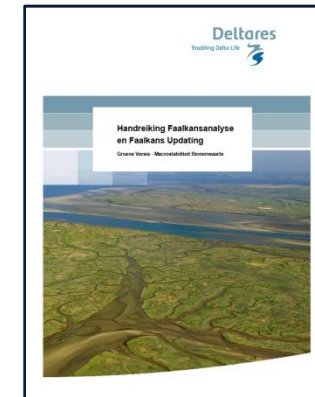
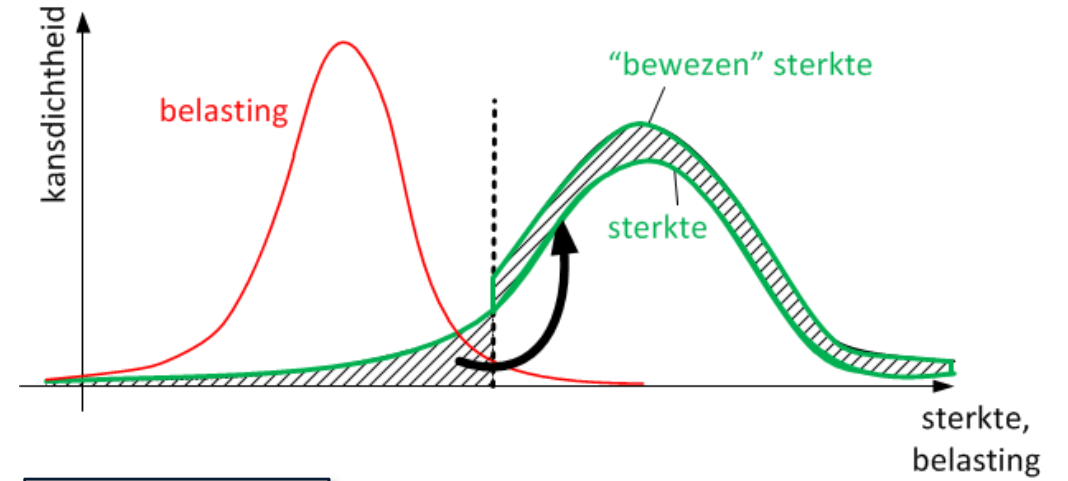


onzekerheid / kans a-posteriori  
(gereduceerd door combineren data)

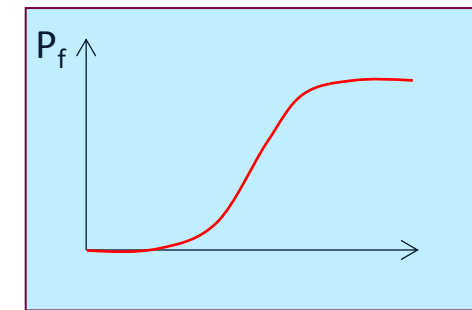
onzekerheid/kans a-priori:  
ervaring  
(regionale) datasets  
engineering judgement  
veld/lab-proeven  
...

nieuwe data:  
monitoring  
extra veld/lab-proeven  
performance observations  
...

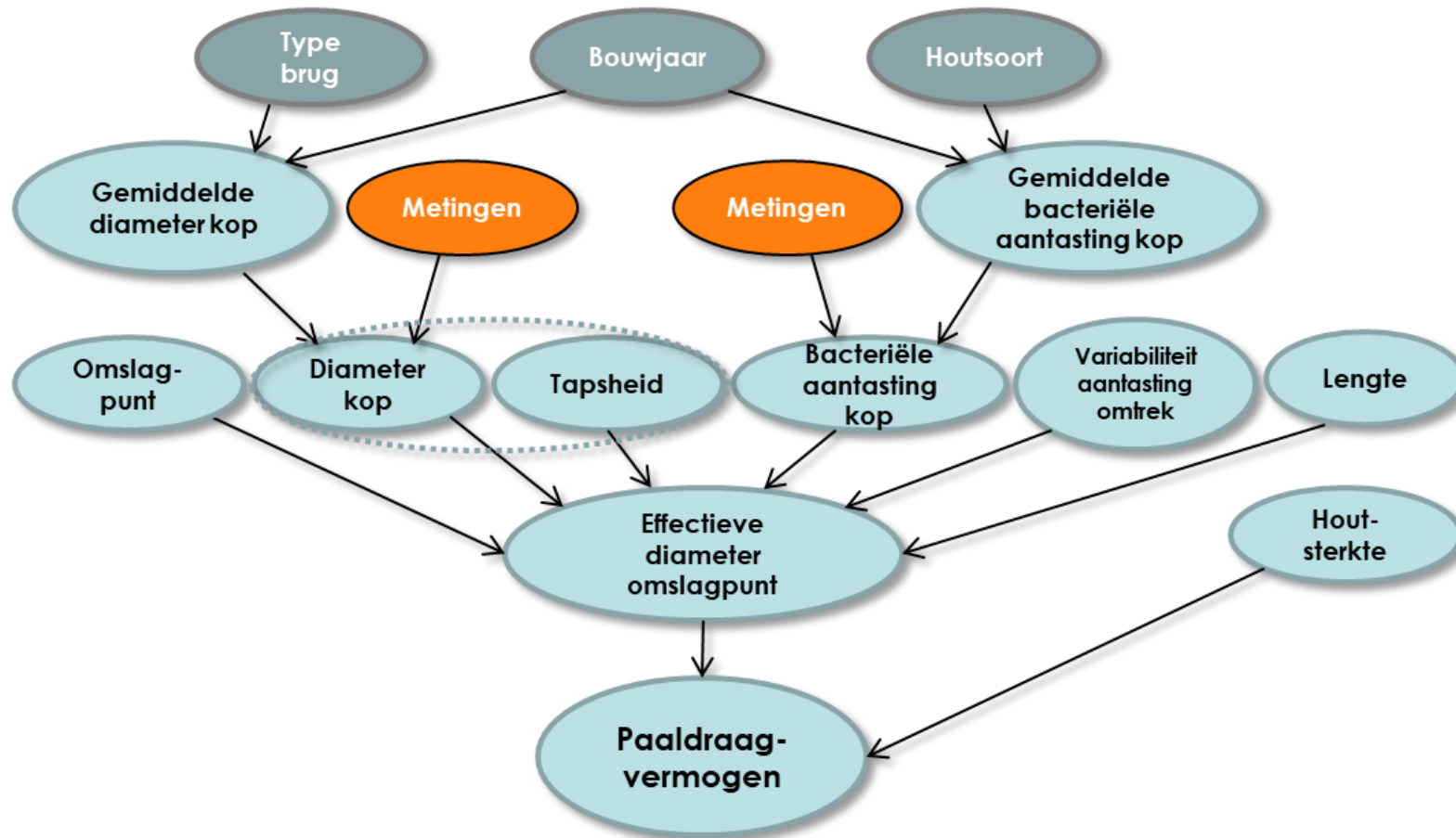
# Voorbeeld: Bewezen sterkte en proefbelastingen



benadering fragility curves



# Voorbeeld: Houten funderingspalen Amsterdam

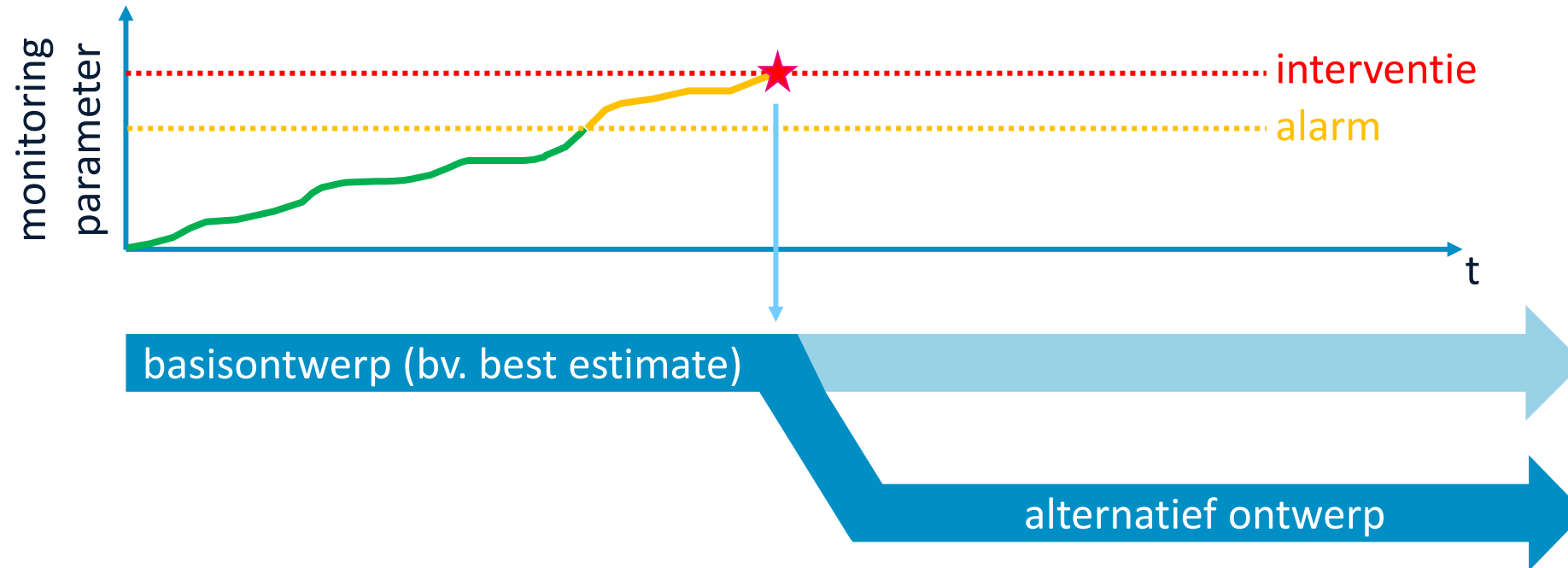


Bayesiaans Network voor draagvermogen houten palen (schematische weergave)



X Gemeente  
 X Amsterdam  
 X


## #4 Observatiemethode



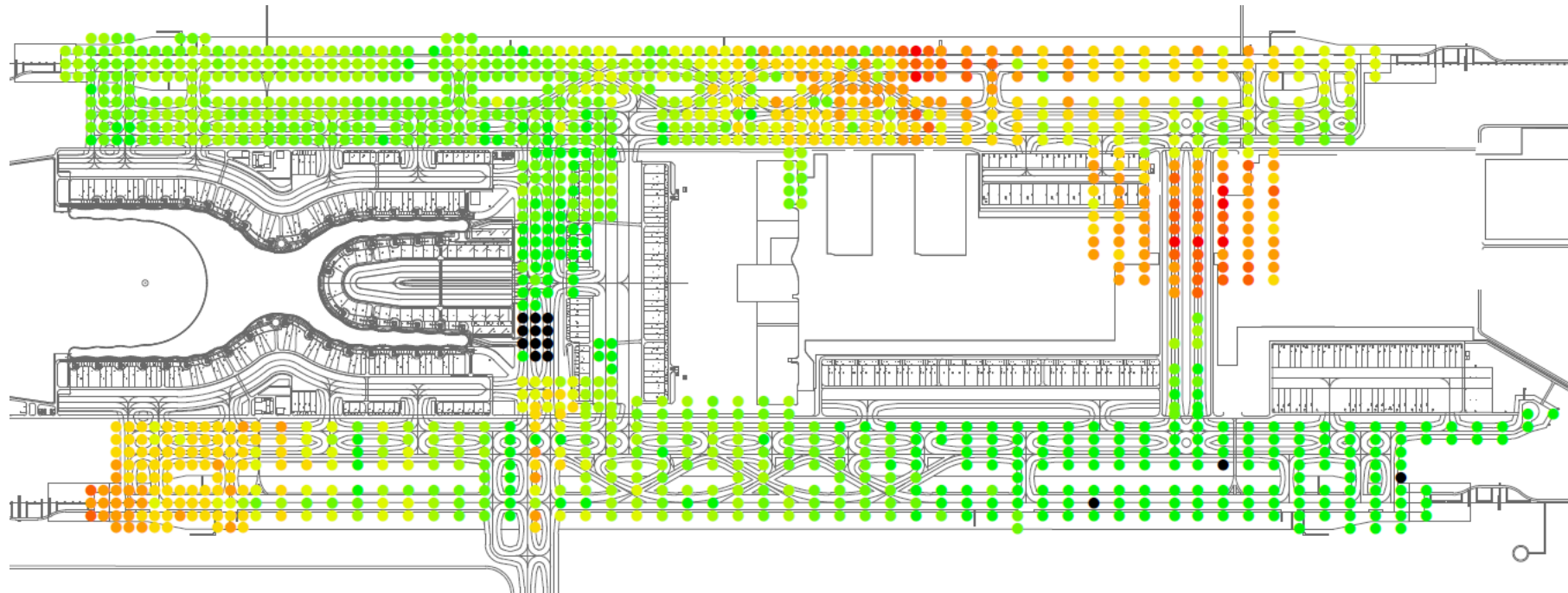
- ✓ reduceren onzekerheden in uitvoering
- ✓ interventiewaarden en maatregelen (integraal onderdeel ontwerp!)
- ✓ minder 'onnodig' conservatisme
- ✓ concretere uitwerking in nieuwe Eurocode 7

# Voorbeeld: Mexico airport

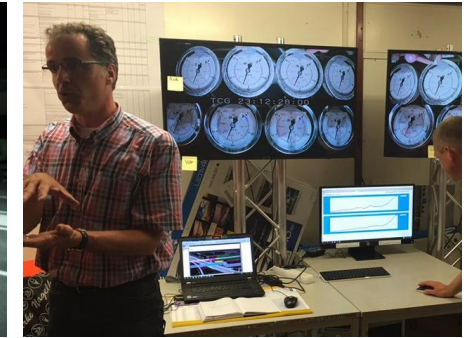
- ✓ probabilistische zettingsvoorspellingen
- ✓ risico-gebaseerde afweging ontwerpvarianten o.b.v. gemeten gedrag



- Aanpassen voorbelasting (grootte, tijd)
- Verlagen grondwaterstand tijdens uitvoering
- Aanpassen verharding (CTB laag)
- Aanpassen verticaal alignement
- Intensiever onderhoud (< 8 jaar)



# Voorbeeld: Muiderbergspoorbrug



“Een huzarenstuk op wereldniveau...”

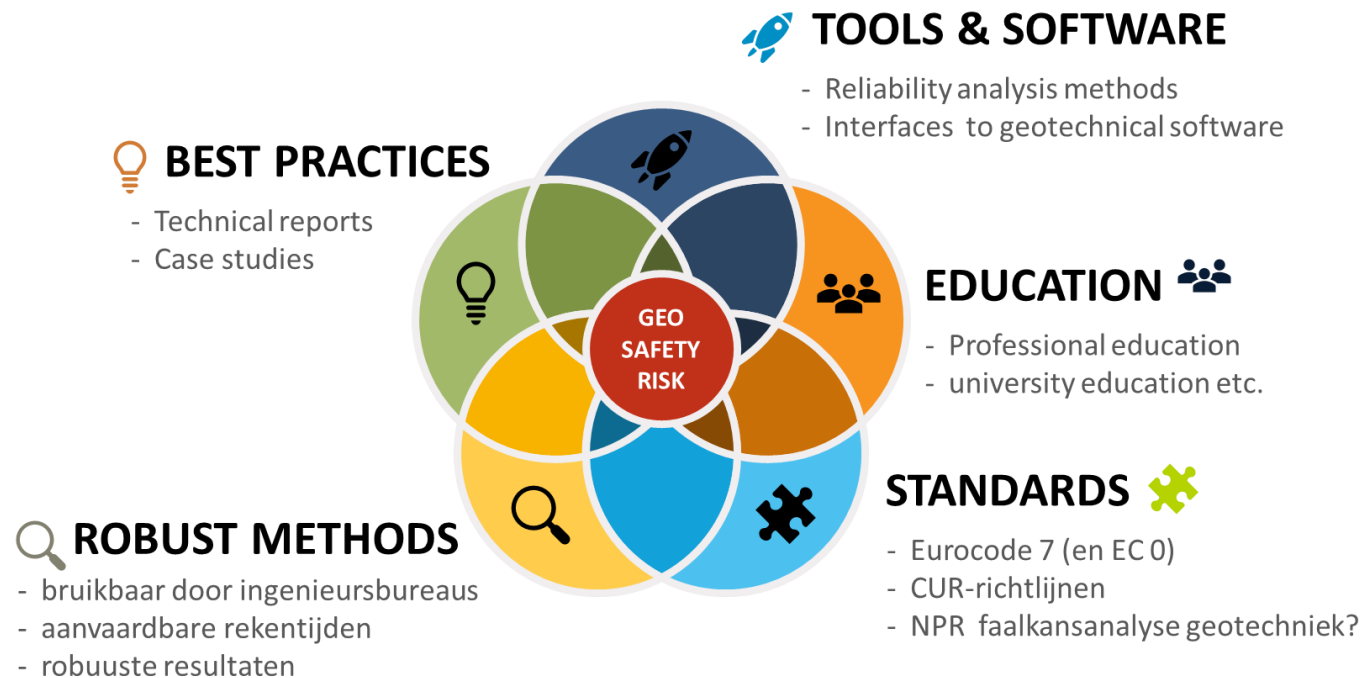
- ✓ Betrouwbaarheid CC3 continue bewaakt
- ✓ terugvalopties voor tegenvallende metingen
- ✓ conventioneel überhaupt haalbaar?





# Tot besluit

- ✓ scherper beeld betrouwbaarheid (i.p.v. stapelen veiligheid)
- ✓ geen wondermiddel, maar in veel situaties de betere benadering
- ✓ onmisbaar voor veilig en kosten-effectief gebruik verouderende infra-assets



Dr. ir. Timo Schweckendiek  
Deltares & TU Delft  
timo.schweckendiek@deltares.nl