



➔ Vertaling normering in beoordelingscriteria

Ferdinand Diermanse
(Deltares)

Basiscursus beoordelen en
ontwerpen

1 september 2016



Relatie met vorige presentatie

- Vorige presentatie: Onzekerheden
 - Welke onzekerheden zijn relevant?
 - Hoe worden deze beschreven en afgeleid?
 - Wat zijn resulterende onzekerheden?

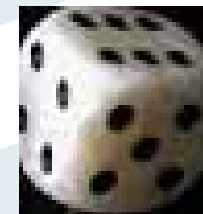
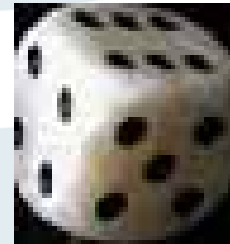
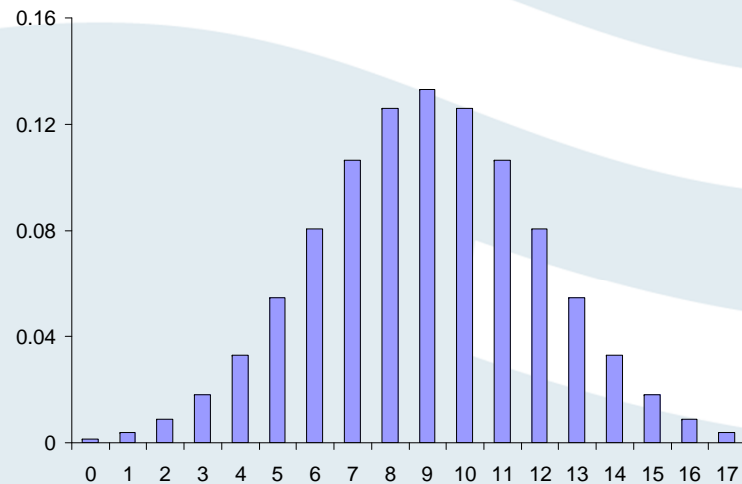
- Huidige presentatie:
Vertalen in beoordelingscriteria
 - 1) Hoe beïnvloeden deze onzekerheden de overstromingskansen van een waterkering?
 - 2) Hoe werken deze onzekerheden door in beoordelingscriteria?
 - 3) Hoe werken onzekerheden door in assemblage?

Inhoud huidige presentatie

- 1) Hoe beïnvloeden de onzekerheden de overstromingskansen van een waterkering?
→ Probabilistische analyses en rekenmethoden
- 2) Hoe werken deze onzekerheden door in beoordelingcriteria?
 - a) Semi-probabilistische rekenregels
 - b) Faalkansbegroting
 - c) Lengte-effecten
 - d) Schematiseringonzekerheden
- 3) Hoe werken onzekerheden door in assemblage?

Probabilistische rekenmethoden

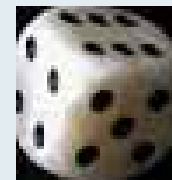
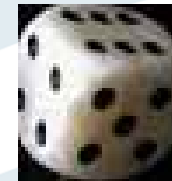
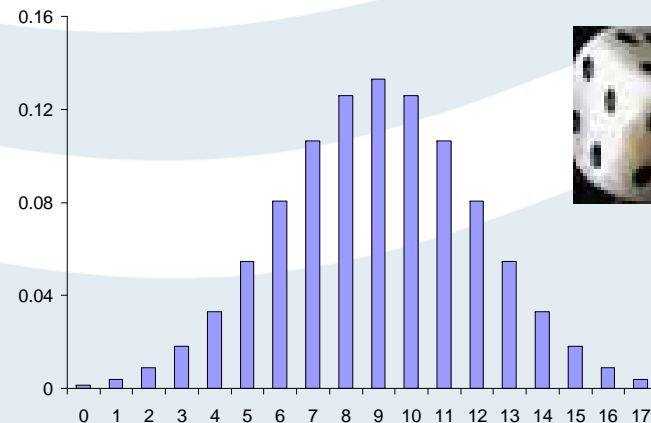
- Combinatie van kansrekenen (probability = kans) en modelleren van de fysica
- Vaak toegepast om kans op falen van een systeem te bepalen



Probabilistische rekenmethoden

Waarom nodig bij nieuwe manier van beoordelen?

- Expliciet meenemen van onzekerheden (uit oogpunt van kosten-efficiëntie, zie vorige presentatie) vraagt om probabilistische uitwerking
- Overstap van overschrijdingskans naar overstromingskans





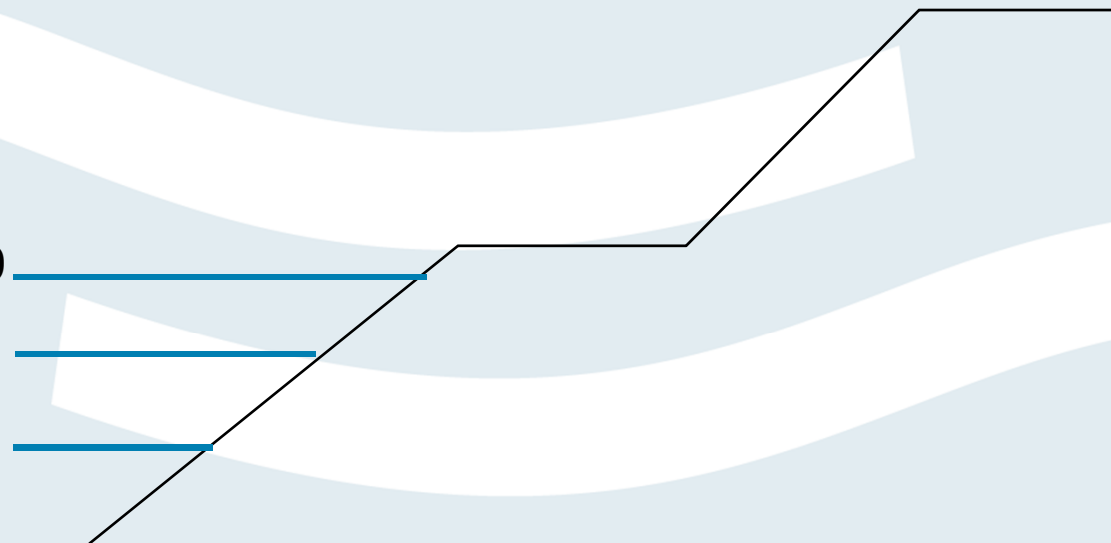
Principe overschrijdingskans

- Bepaal de waterstand met overschrijdingskans gelijk aan de toetsnorm
- Toets of de dijk hoog/sterk genoeg is om deze belasting aan te kunnen

1/1.000

1/100

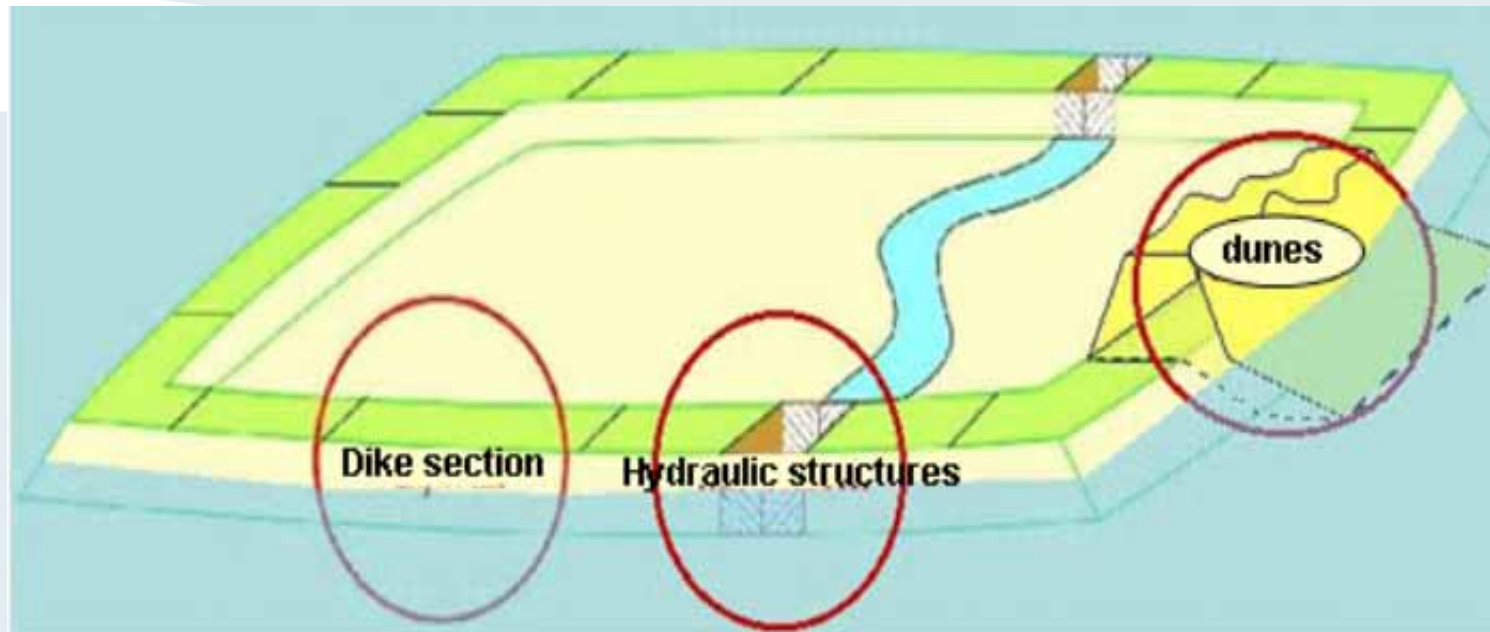
1/10





Principe overstromingskans

- Expliciet berekenen van faalkans van traject (niet de kans op een waterstand)
- Afkeuren indien faalkans groter dan de norm
- Expliciet rekening houden met faalkansen bij alle waterstanden





Probabilistische benaderingen

Twee vormen:

1) Volledig probabilistisch

toets op basis van alle potentiële
faalgebeurtenissen en hun kans op
voorkomen

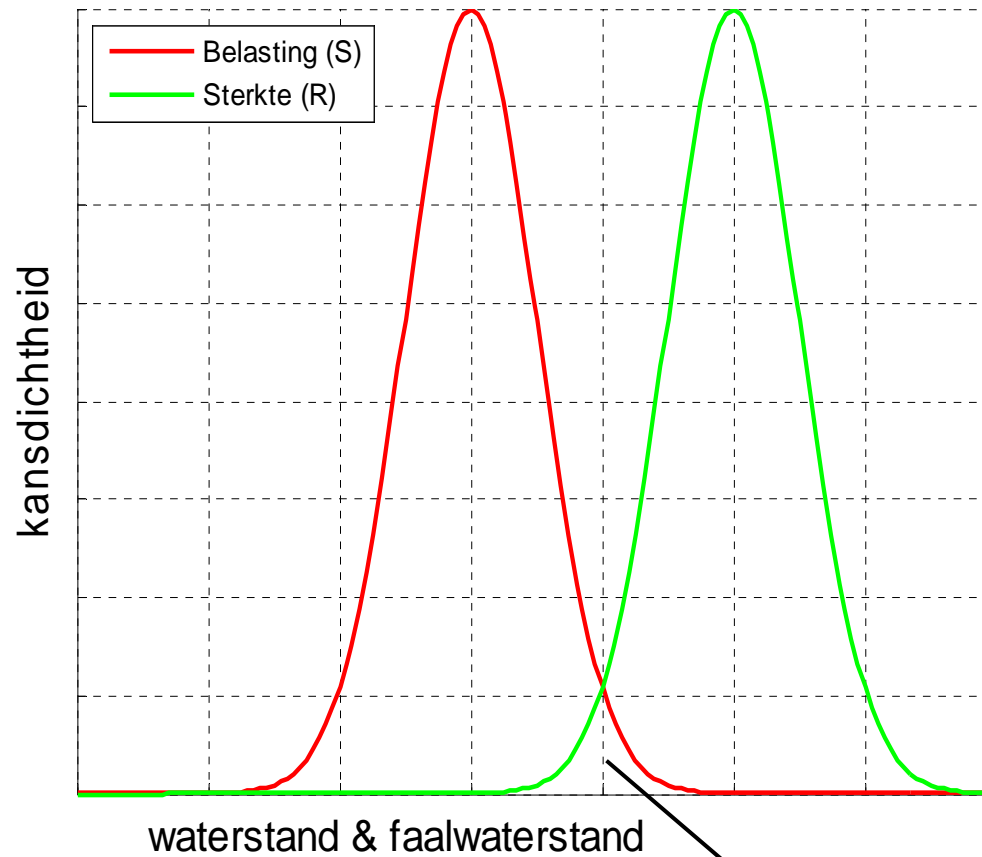
2) Semi-probabilistisch

toets op basis van een karakteristieke
gebeurtenis(sen)

De huidige voorschriften zijn qua vorm semi-probabilistisch,
de nieuwe voorschriften bevatten beide vormen



Op te lossen vraagstuk



Mogelijke faalcombinaties ($S > R$)

Voorbeeld probabilistische analyse

- Falen/overstromen van de dijk als de waterstand groter is dan de dijkhoogte (NAP + 5m)
- Dijkhoogte is exact bekend (dus: geen onzekerheden in de sterkte)

vereenvoudigd
voorbeeld



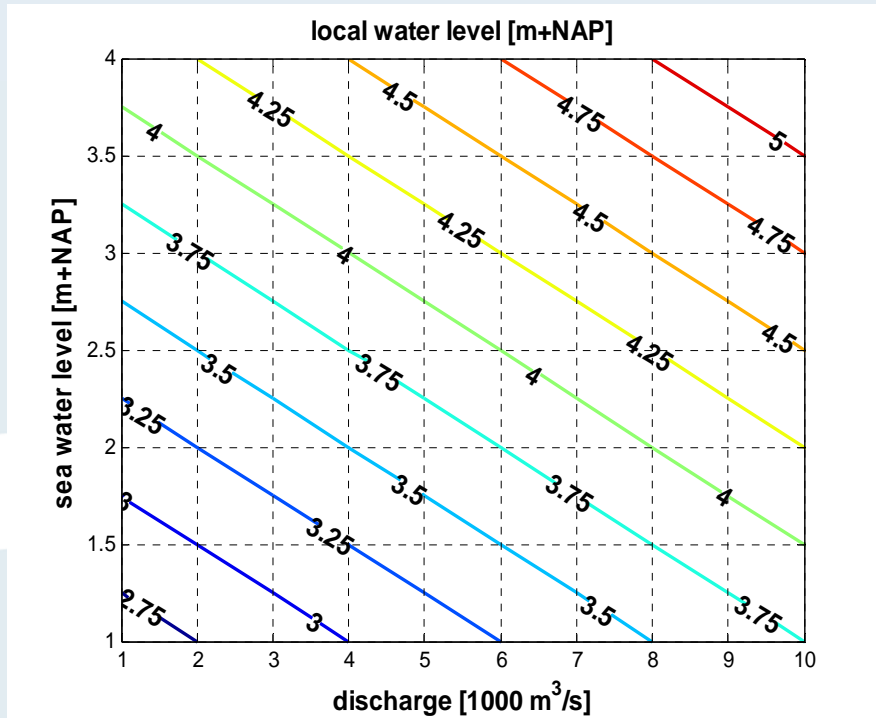
Principe probabilistisch rekenen

- ➔ Kans dat de kering “faalt”, d.w.z.
kans dat de belasting zo groot is dat de kering er niet tegen bestand is

Bepaald moet worden:

- 1) alle mogelijke gebeurtenissen die tot falen leiden ($h > \text{NAP} + 5 \text{ m}$)
- 2) de totale kans op voorkomen van deze gebeurtenissen

Voorbeeld Rijn/Maasmonding



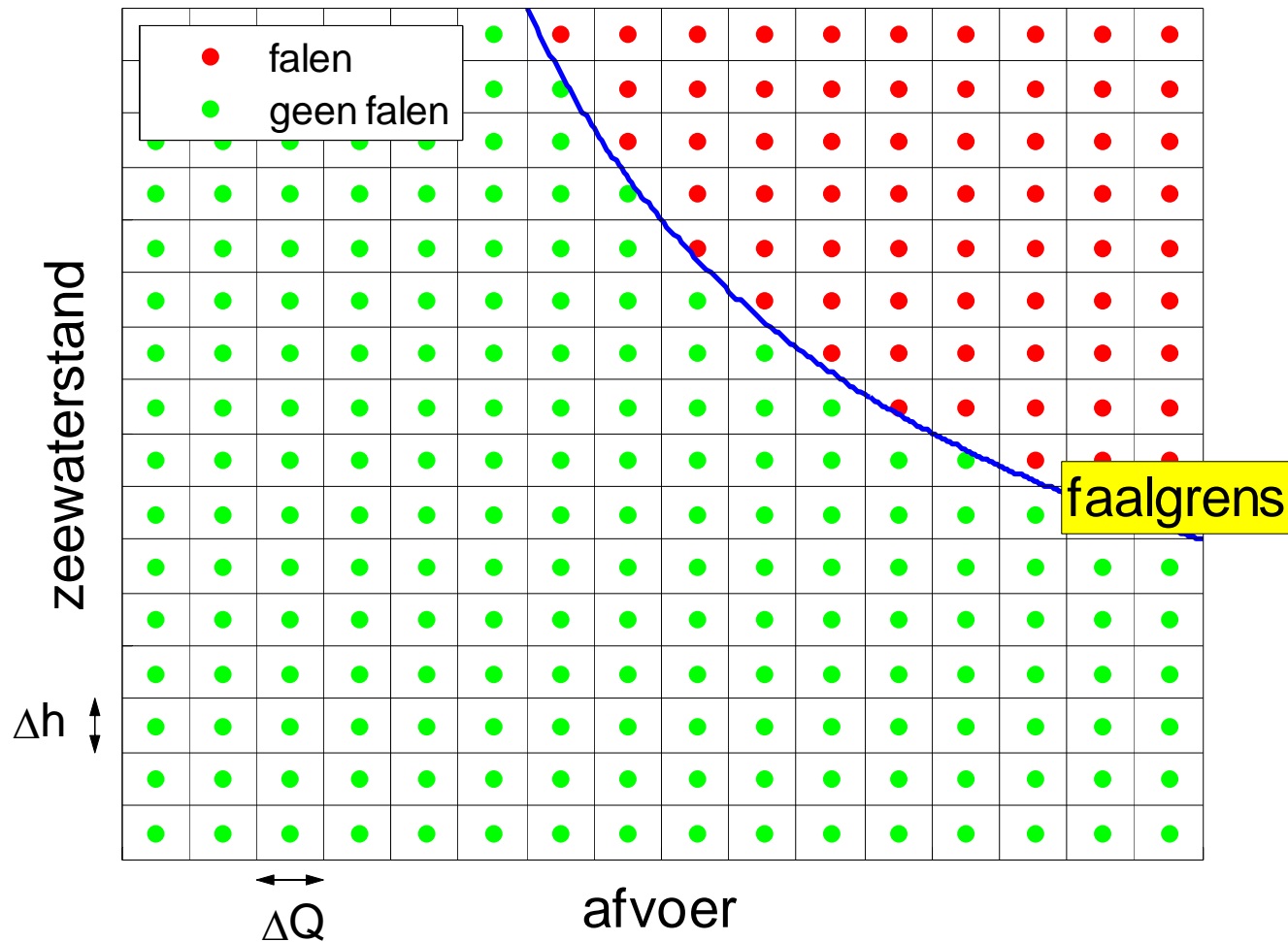
Lokale waterstand beïnvloed door rivierafvoer en zeewaterstand
(we negeren voor het gemak de Maeslantkering)

Zeewaterstand



Rivierafvoer

Probabilistische rekenmethode





Voor- en nadelen probabilistische beoordeling

➤ Voordeel:

Houd rekening met alle mogelijke gebeurtenissen die tot falen leiden, is daarmee de 'koninklijke route' in de overstromingsbenadering

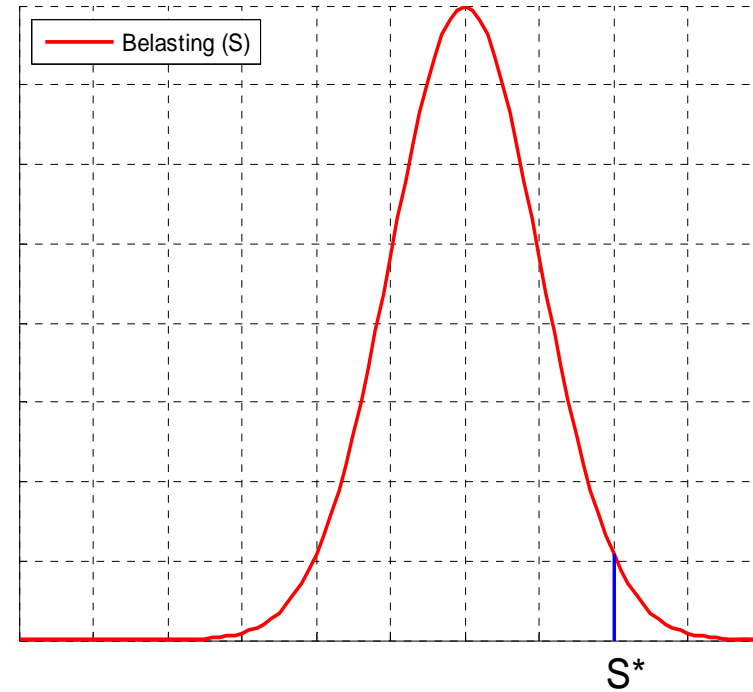
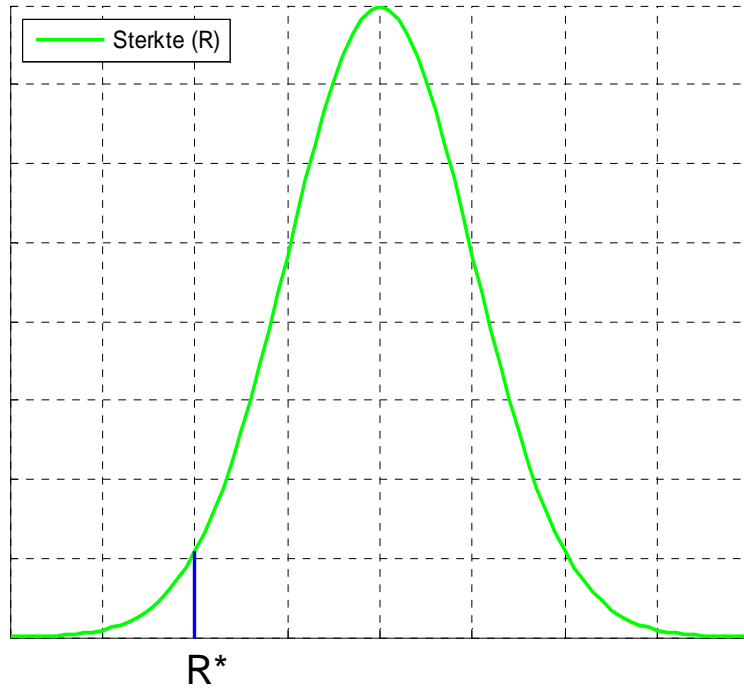
➤ Nadeel:

- Complex
- Rekenintensief
- Beperkte expertise beschikbaar

Om die reden wordt vaak gebruik gemaakt van semi-probabilistische beoordelingen, een soort slimme "work-around"



Semi-probabilistische benadering



$$R^* > S^*$$

$$\frac{R^*}{\gamma_R} > \gamma_S S^* \quad \gamma_R, \gamma_S > 1$$

R^*, S^* : karakteristieke waarden
 γ_R, γ_S : veiligheidsfactoren

Afleiden semi-probabilistische toetsregels

- Baseren op probabilistische sommen voor strategisch gekozen testcases

- Doelen:
 - zo veel mogelijk consistentie met de probabilistische toets
 - semi-probabilistische toets conservatiever dan probabilistische toets
 - semi-probabilistische toets niet té conservatief

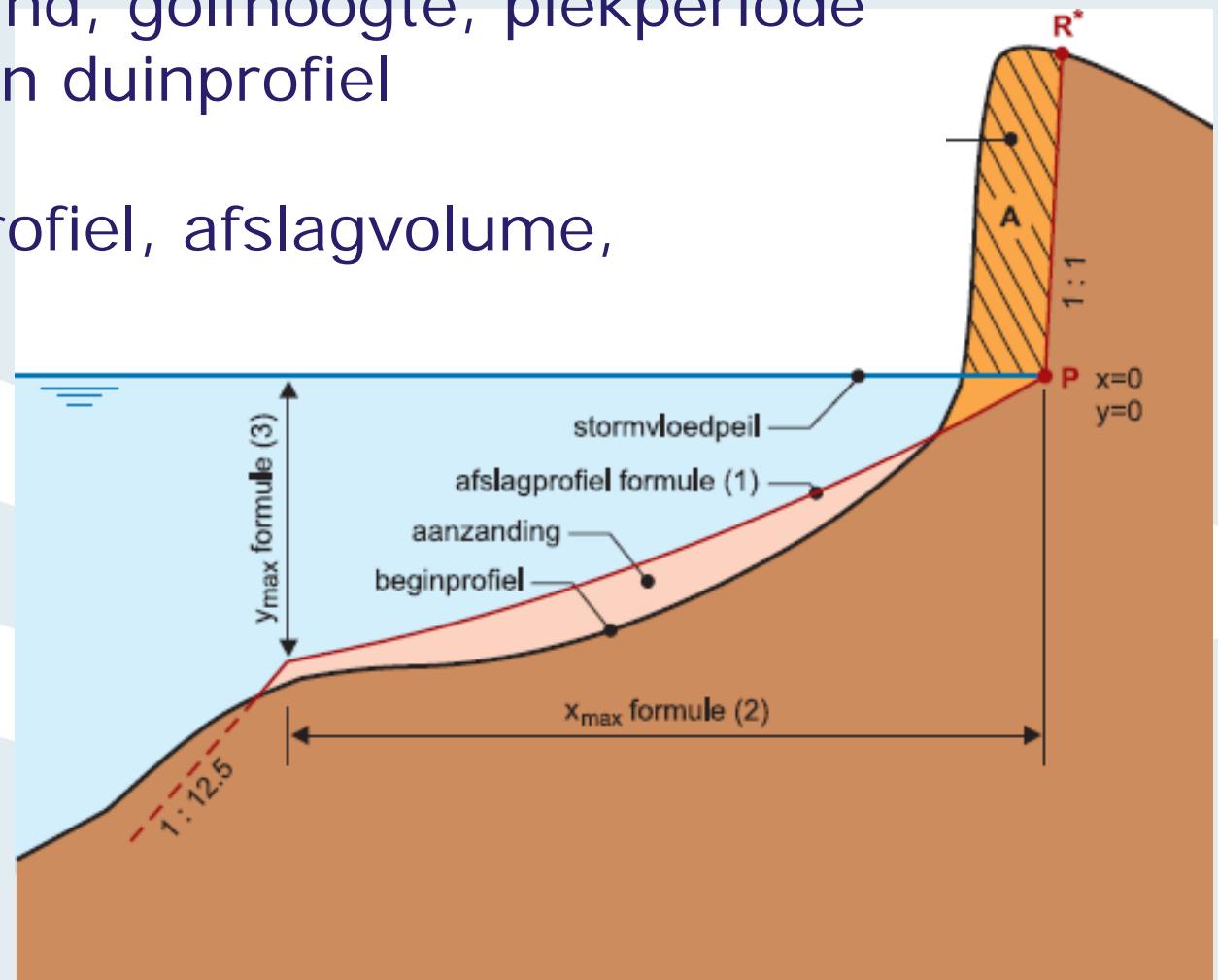


Voorbeeld semi-probabilistische toets

Duinafslagmodel Duros

Invoer: waterstand, golfhoogte, piekperiode
korreldiameter en duinprofiel

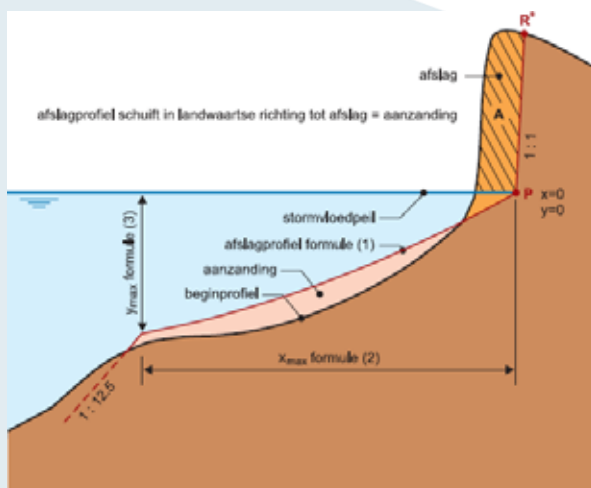
Uitvoer: afslagprofiel, afslagvolume,
afslagpunt



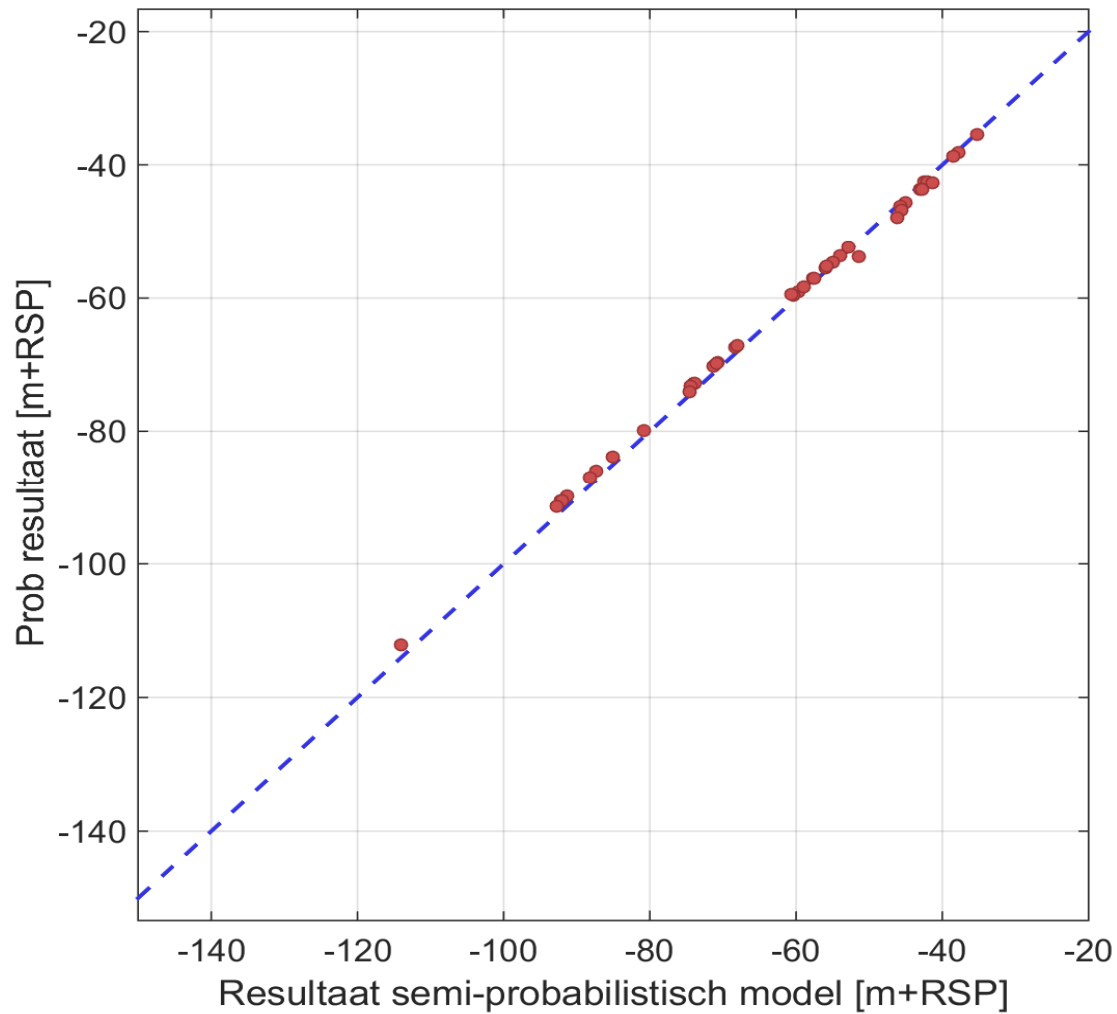
Semi-probabilistisch toetsvoorschrift

Op basis van de volgende invoergegevens wordt met DUROS+ één afslagberekening gemaakt:

- gemeten duinprofiel (Jarkus-profiel) van een gekozen referentiejaar
- hydraulische randvoorwaarden: waterstand, golfhoogte en piekperiode
- korreldiameter van het duinprofiel
- toeslag om rekening te houden met onzekerheden



Vergelijking met probabilistisch model





Hydraulische belastingen in semi-probabilistische rekenregels

- In principe wordt voor elk mechanisme de waterstand gekozen met een overschrijdingskans gelijk aan de trajectnorm
- Reden: geen wirwar van toetspeilen
- Uitzondering (net als in vorige toetsronden): duinafslag

Probabilistisch/semi-probabilistisch: overeenkomsten

Beide benaderingen berusten op:

- ⇒ *hetzelfde* faalmechanismemodel
- ⇒ *dezelfde* kansverdelingen van de belastingen en sterkte-eigenschappen (en dus *dezelfde* meetgegevens)
- ⇒ *dezelfde* faalkanseis voor het traject (de norm)

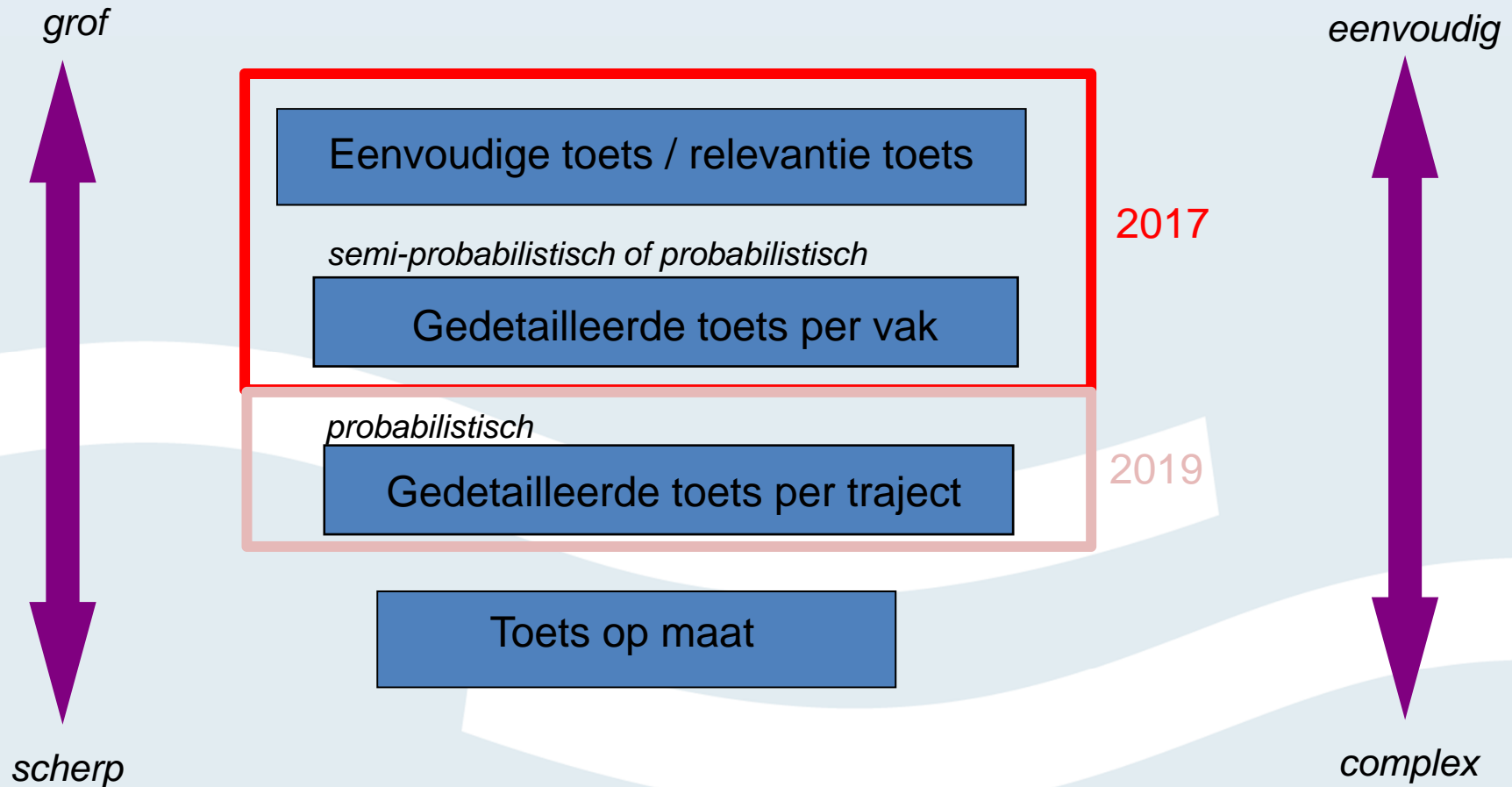


Probabilistisch/semi-probabilistisch: verschillen

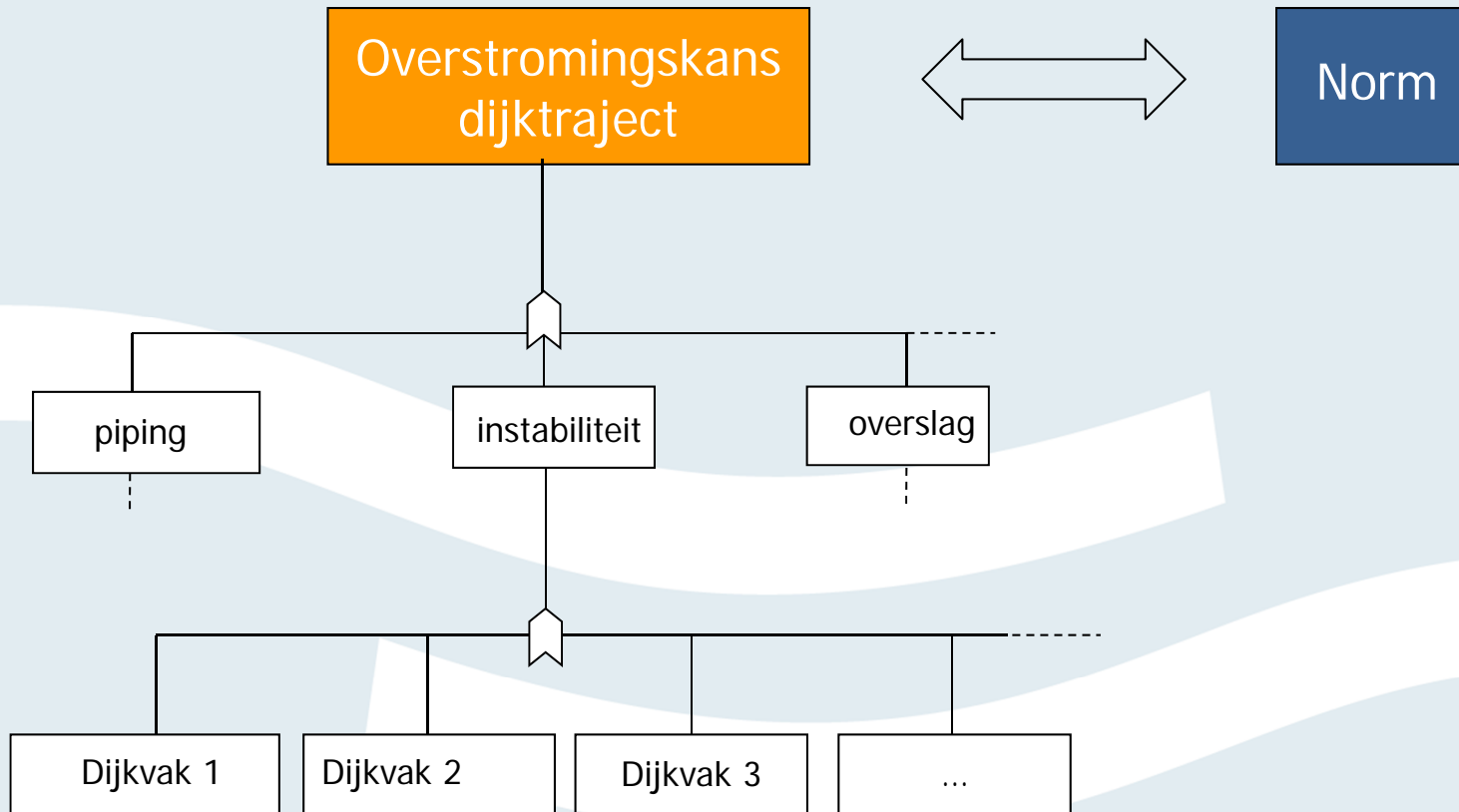
| onderdeel | probabilistisch | semi-probabilistisch |
|---------------------------|-----------------|------------------------------|
| invoer | kansverdelingen | karakteristieke waarden |
| uitvoer | faalkans | 'voldoet (niet)' |
| faalkans-begroting | vrij | 'vast' (vooraf te kiezen) |



Gelaagde beoordeling WBI



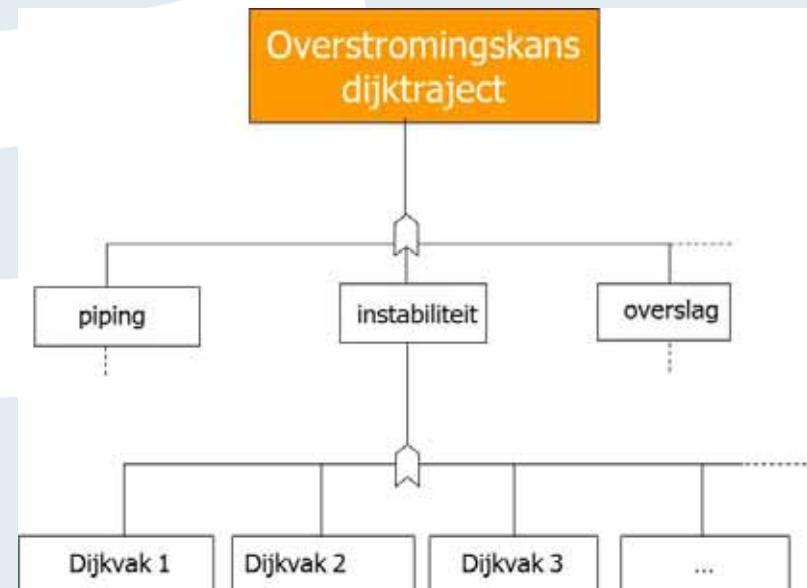
Faalkans vak → faalkans traject



Probleemstelling toets per vak

- Gedetailleerde toets op trajectniveau combineert kansen van dijkvakken en mechanismen. Dit is meer dan een eenvoudige optelsom!
- In 2017 wordt alleen de toets per vak beschikbaar gesteld

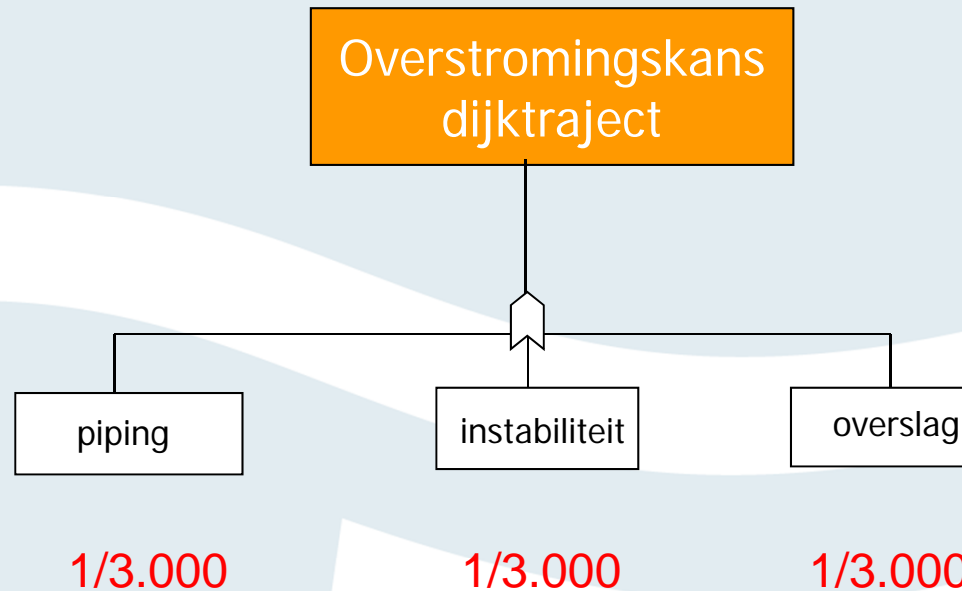
Hoe weten we dan in 2017 of het traject voldoet?





Wanneer voldoet het traject?

- In elk geval als de “optelsom” van overstromingskansen van de individuele componenten kleiner is dan de trajectnorm (optelsom = bovengrensbenadering faalkans)

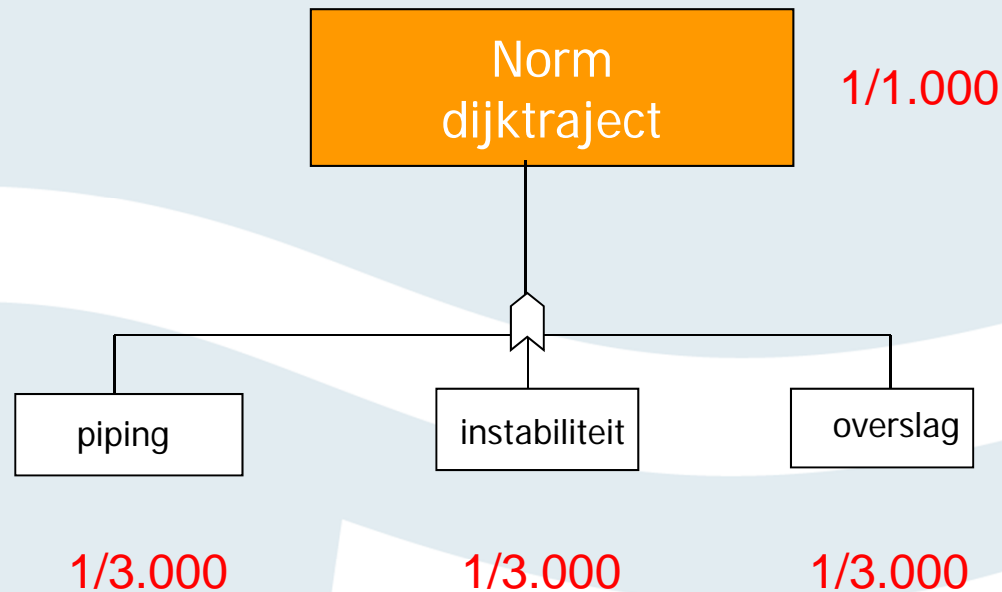


overstromingskans traject < $1/3.000 + 1/3.000 + 1/3.000 = 3/3.000 = 1/1.000$



Principe faalkansbegroting

Het principe van de “optelsom” kan ook toegepast worden bij het opstellen van faalkanseisen per mechanisme.

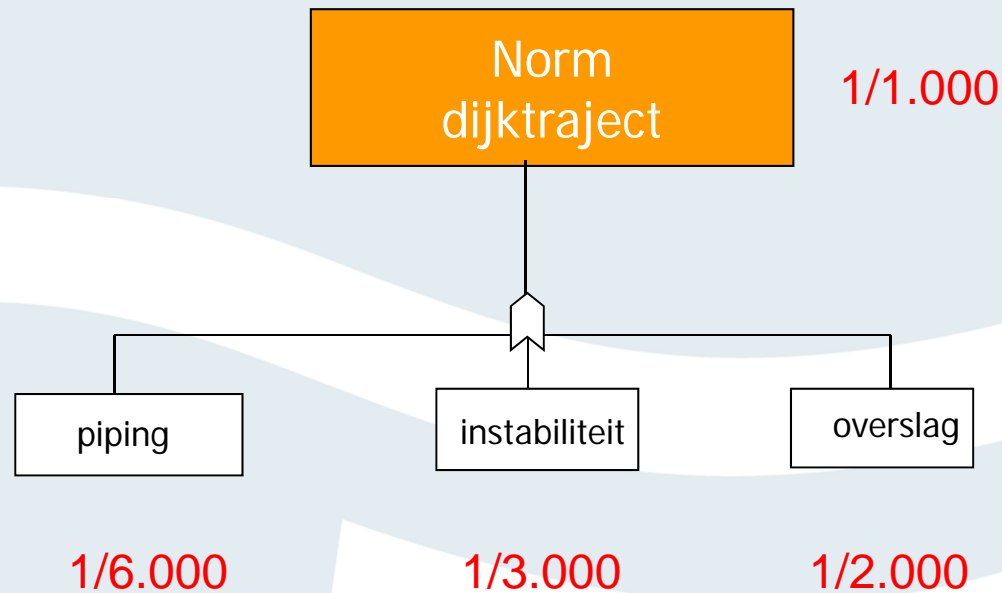


Benadering is conservatief



Principe faalkansbegroting

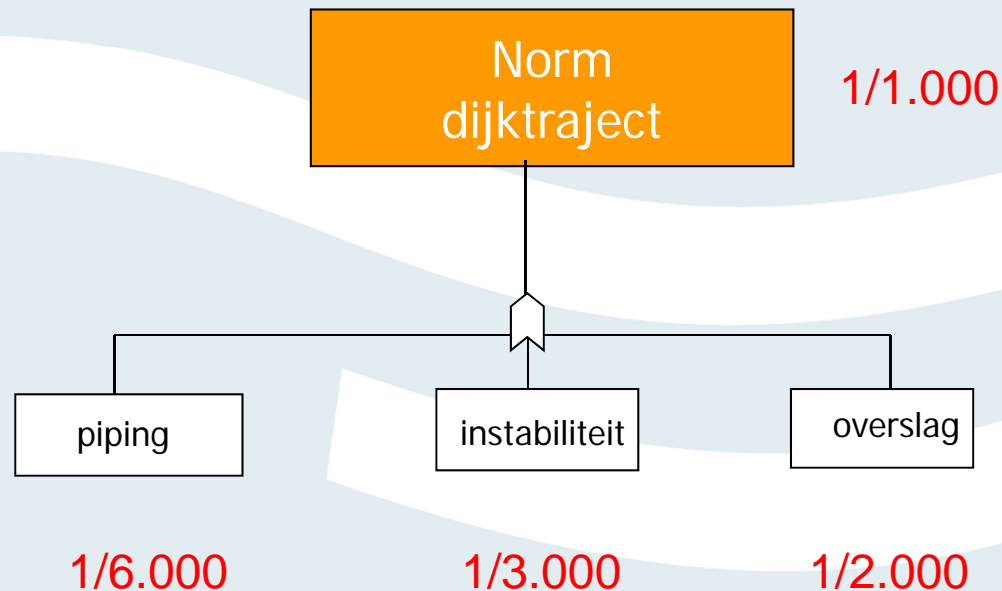
Elke combinatie is mogelijk, zolang de optelsom < norm





Principe faalkansbegroting

Door het toekennen van faalkanseisen aan mechanismen, kan elk mechanisme afzonderlijk getoets worden.





Faalkansbegroting ("startwaarden" in WBI)

| Type waterkering | Faalmechanisme | Type traject | |
|------------------|---|--------------|-------------------------|
| | | Zandige kust | Overig (dijken) |
| Dijk | Overloop en golfoverslag ^{a,b} | 0,0 | 0,24 |
| | Opbarsten en piping | 0,0 | 0,24 |
| | Macrostabieliteit binnenwaarts | 0,0 | 0,04 |
| | Beschadiging bekleding en erosie | 0,0 | 0,10 |
| Kunstwerk | Niet sluiten | 0,0 | 0,04 |
| | Piping | 0,0 | 0,02 |
| | Constructief falen | 0,0 | 0,02 |
| Duin | Duinafslag | 0,70 | 0,0 / 0,10 ^c |
| Overig | | 0,30 | 0,30 / 0,20 |
| Totaal | | 1,0 | 1,0 |

Wat betekent dit?

⇒ Stel: trajectnorm = 1/1.000

⇒ Piping (24%) ⇒ faalkanseis = $0,24 * 1/1.000$
 $\approx 1/4.000$

⇒ Macrostabilliteit (4%) ⇒ faalkanseis = $0,04 * 1/1.000 = 1/25.000$

Dus:

hoe lager het percentage,

hoe strenger de faalkanseis voor het mechanisme

Wat betekent dit?

- Faalkansbegroting is een inschatting van de individuele bijdragen van faalmechanismen aan de overstromingskans voor een “gemiddeld” traject
- Keuze kan tot onterecht afkeuren leiden; nooit tot onterecht goedkeuren (benadering is “conservatief”)
- Voorgestelde keuze leidt naar verwachting tot minimalisatie van onterecht afgekeurde keringen
- Indien voor een traject een andere faalkansbegroting beter van toepassing lijkt, mag afgeweken worden

Analogie: de broodjeslunch



Vrije verdeling (zelfbediening)

9 broodjes beschikbaar
voor 3 personen (A, B en C)

- A wil 4 broodjes en pakt 4 broodjes
- B wil 2 broodjes en pakt 2 broodjes
- C wil 3 broodjes en pakt 3 broodjes

➡ Iedereen tevreden



Vaste verdeling (broodjes uitdelen)

9 broodjes beschikbaar
voor 3 personen (A, B en C)

- A wil 4 broodjes en krijgt 3 broodjes
- B wil 2 broodjes en krijgt 3 broodjes
- C wil 3 broodjes en krijgt 3 broodjes

➡ A ontevreden



Aangepaste vaste verdeling

9 broodjes beschikbaar
voor 3 personen (A, B en C)

A wil 4 broodjes en krijgt ~~X~~ 4 broodjes
B wil 2 broodjes en krijgt 3 broodjes
C wil 3 broodjes en krijgt ~~X~~ 2 broodjes

➡ C ontevreden





Aangepaste vaste verdeling

9 broodjes beschikbaar
voor 3 personen (A, B en C)

A wil 4 broodjes en krijgt 4 broodjes

B wil 2 broodjes en krijgt 2 broodjes

C wil 3 broodjes en krijgt 3 broodjes

➡ Iedereen tevreden



Analoog voor waterkeringen

⇒ Stel: trajectnorm = $1/1.000$

⇒ Piping (24%)

⇒ faalkanseis = $0,24 * 1/1.000 \approx 1/4.000$

⇒ Macrostabiliteit (4%)

⇒ faalkanseis = $0,04 * 1/1.000 = 1/25.000$

Indien de kering wordt afgekeurd op macrostabiliteit, en (ruimschoots) goedgekeurd op piping, kan overwogen worden de percentages aan te passen (bijv 24% voor macrostabiliteit en 4% voor piping)

Conclusies (1)

- ⇒ Aanpassen van de vaste verdeling (faalkansbegroting) kan voorkomen dat een traject in de gedetailleerde toets op vakniveau onterecht wordt afgekeurd
- ⇒ Aanpassen van de faalkansbegroting is toegestaan.
- ⇒ Echter, aanpassen van de faalkansbegroting en opnieuw uitvoeren van beoordeling...
 - is “arbeidsintensief”
 - zal vaak niet tot goedkeuren leiden (“7 broodjes beschikbaar, 9 broodjes gewenst”)

Conclusies (2)

- Beoordelen traject op basis van beoordeling op vakniveau vraagt om vaste faalkansbegroting
- Vaste faalkansbegroting is conservatief en leidt daardoor mogelijk tot onterecht afkeuren
- Waarom dan toch de gedetailleerde toets op vakniveau toepassen?
 - Gedetailleerde toets op trajectniveau is pas in 2019 gereed en dan nog maar voor een deel van de mechanismen
 - Gedetailleerde toets op vakniveau lijkt op de oude manier van toetsen en maakt daardoor de overstap naar de overstromingskans kleiner.



Verschillen probabilistisch / semi-probabilistisch

| onderdeel | probabilistisch | semi-probabilistisch |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| invoer | kansverdelingen | karakteristieke waarden |
| uitvoer | faalkans | 'voldoet (niet)' |
| faalkans-begroting | vrij | 'vast' (vooraf te kiezen) |



Combineren van dijkvakken: het lengte-effect

Verhouding
faalkans dijktraject
versus
faalkans doorsnede
(dijkvak)

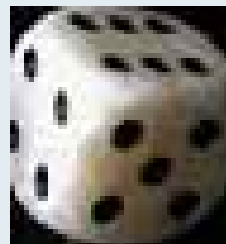


Combineren van dijkvakken: het lengte-effect



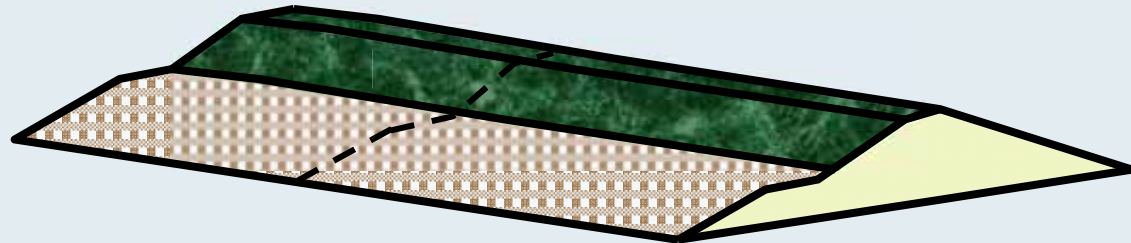
Hoe groter de lengte van de dijk,
hoe groter de kans op een “zwakke plek”

Het lengte-effect





Afhankelijkheid

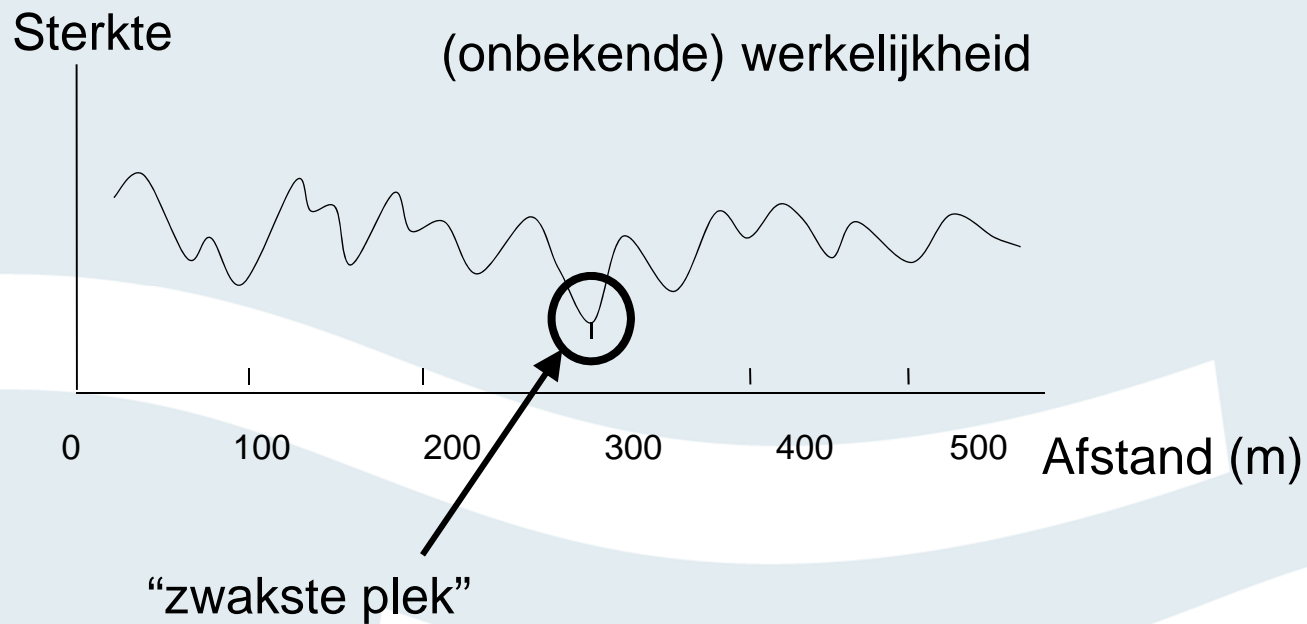


- Dijkvakken en –doorsneden zijn geen onafhankelijke schakels zoals de schakels van een ketting:
 - Ze worden bijvoorbeeld doorgaans gelijktijdig zwaar belast (hoogwaters)
 - Nabijgelegen dijklocaties hebben vaak overeenkomsten in opbouw

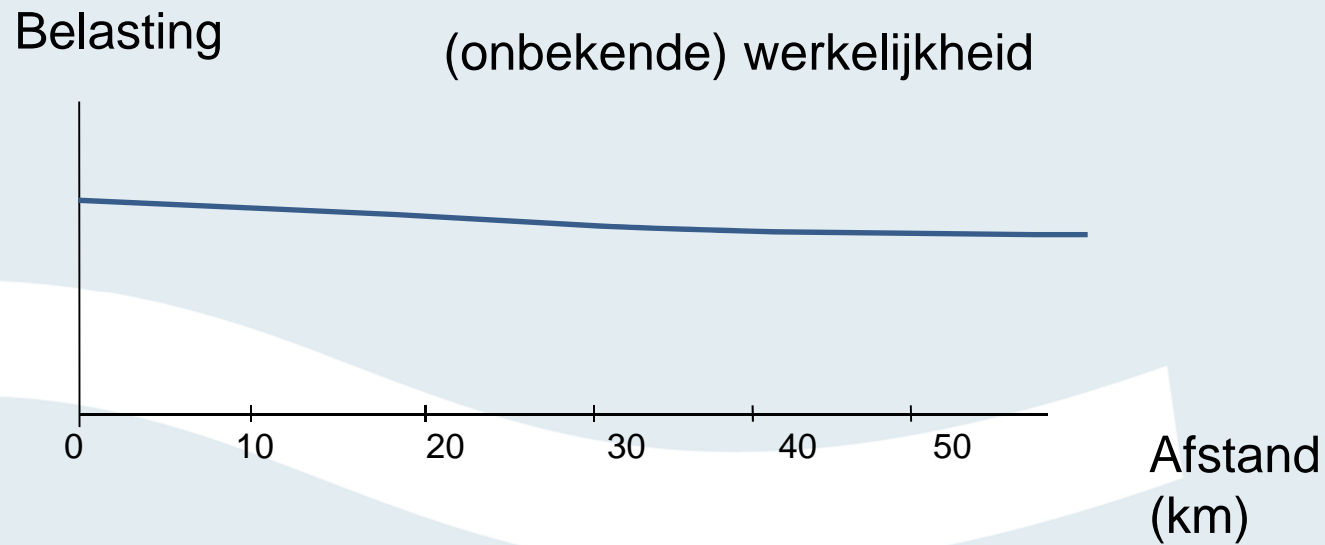
- Deze ruimtelijke samenhang is sterk bepalend voor de grootte van het lengte-effect



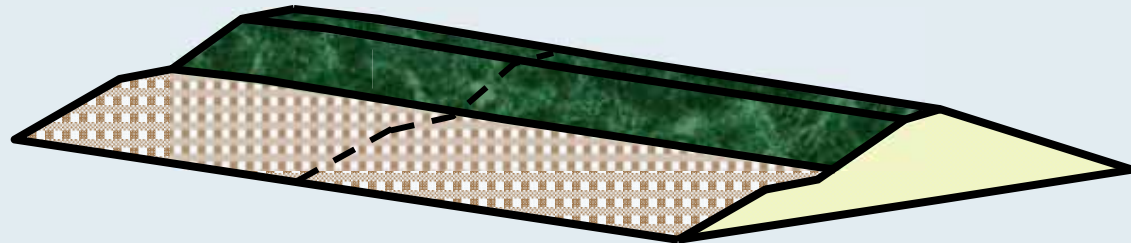
Ruimtelijke variatie in de sterkte



Ruimtelijke variatie in de belasting



Fictief voorbeeld (1)

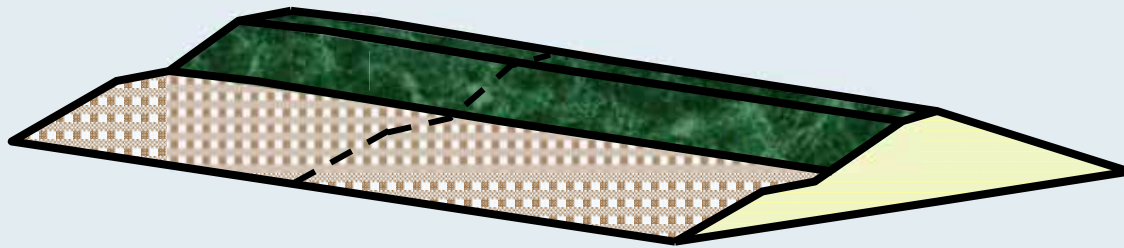


- Traject van 10 km langs een meer
- Kruin overal even hoog, waterstand ook
- Falen als kruin te laag
- Kruinhoogte bekend (geen onzekerheid sterkte)

In dit geval is de faalkans van een locatie gelijk aan de faalkans van het traject. Er is dus geen lengte-effect (lengte-effect factor = 1)



Fictief voorbeeld (2)



- Zelfde traject, 10 dijkvakken
- Elk dijkvak heeft een volledig verschillende ontstaansgeschiedenis
- Geschatte sterkte voor elk dijkvak gelijk
- Bepaal faalkans door macroinstabiliteit
- Variatie in waterstand is beperkt, onzekerheid sterkte is bepalend

In dit geval is de lengte-effectfactor $\gg 1$

Lengte-effect verschilt per mechanisme

⇒ Lengte-effect is relatief klein voor mechanismen waarbij de faalkans vooral wordt bepaald door de onzekerheid in de belasting

- Overloop en overslag
- Duinafslag

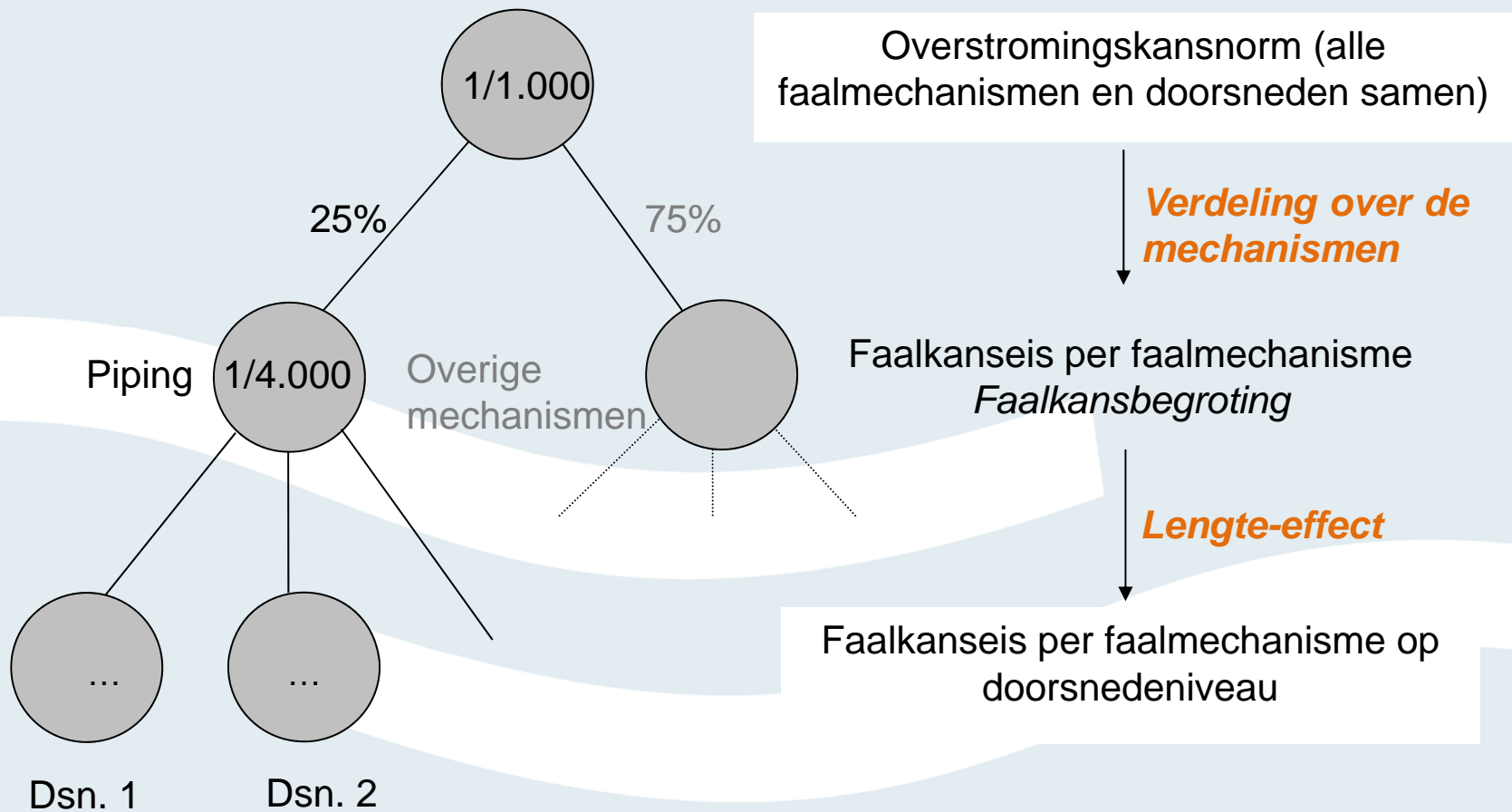


⇒ Lengte-effect is relatief groot voor mechanismen waarbij de faalkans vooral wordt bepaald door de onzekerheid in de sterkte

- Piping
- Macrostabieliteit



Faalkansbegroting voor vakttoets



Benadering is conservatief

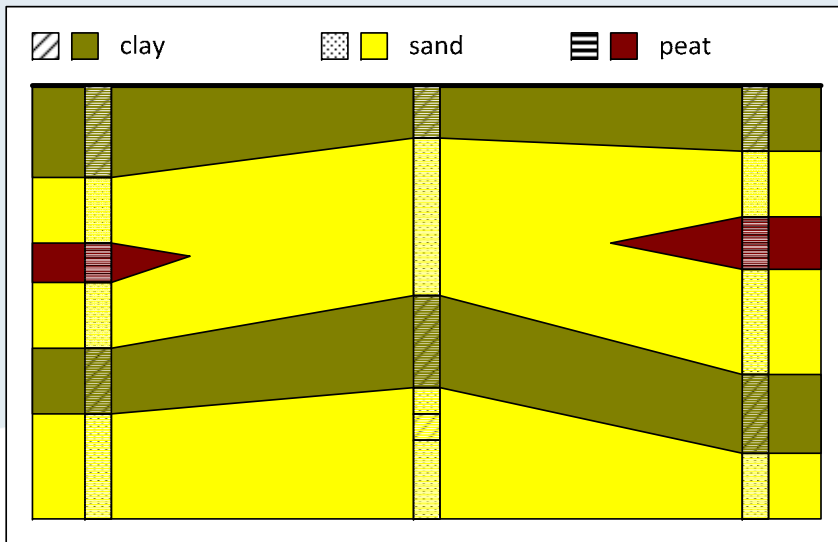
Doorwerking lengte-effect in vaktoets

- Voor mechanismen met een relatief groot lengte-effect (piping, macrostabiliteit) is de eis op doorsnedeniveau significant strenger dan de eis op trajectniveau.
- Voor mechanismen met een relatief klein lengte-effect (overloop en overslag, Duinafslag) is het verschil kleiner.



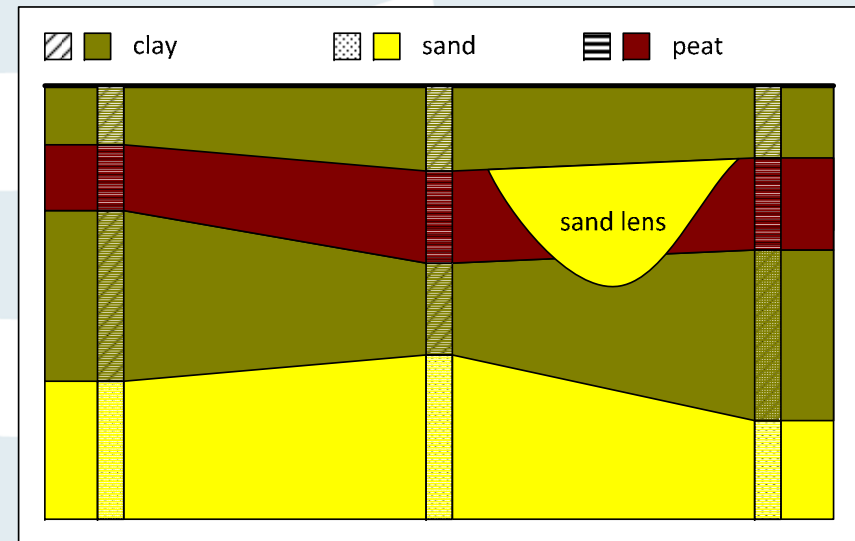
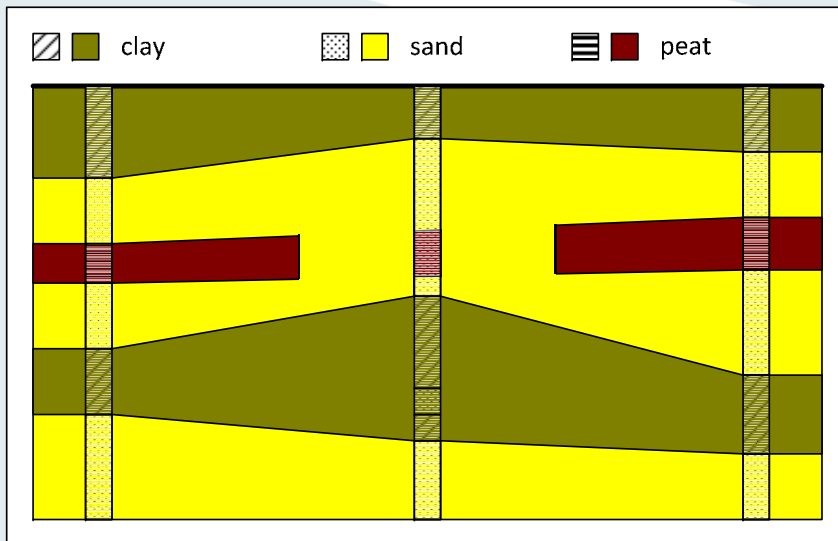


Scenario's - bodemopbouw



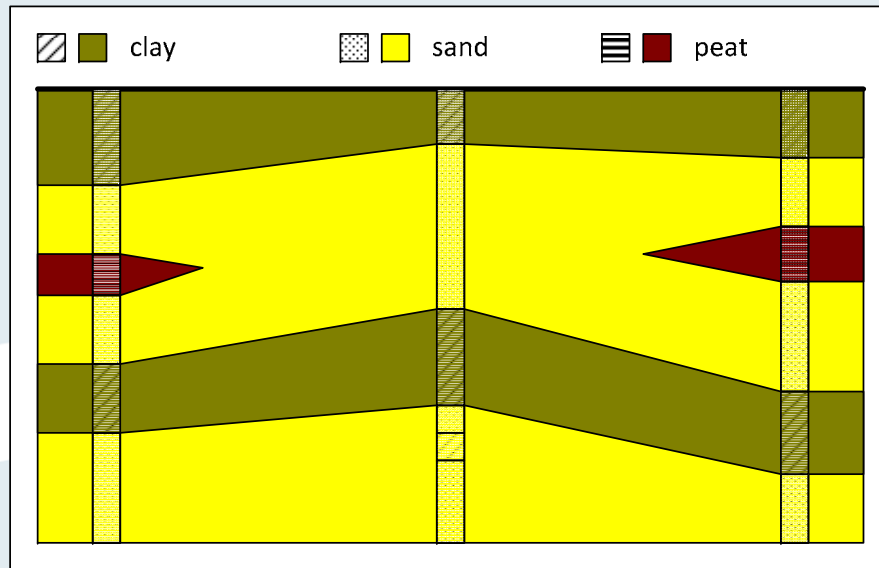
Verschillende mogelijke schematisaties op basis dezelfde beperkte hoeveelheid grondonderzoek

“anomaliën” (bv. zandbanen)



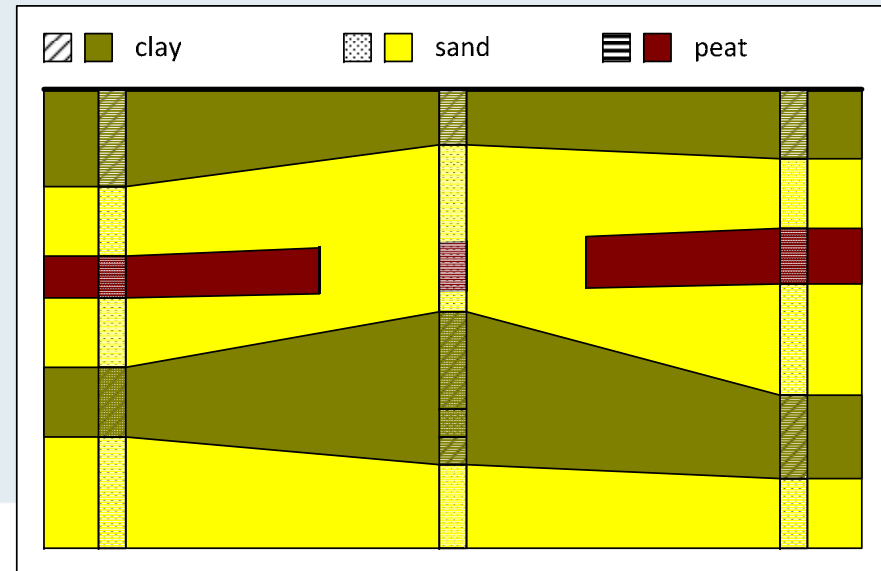
Probabilistisch - scenarios

2/10



Scenario 1

8/10



Scenario 2

Faalkans = 0.2*(faalkans kering bij scenario 1)

+ 0.8*(faalkans kering bij scenario 2)

Veiligheidsoordeel

- Geeft een oordeel over de veiligheid van het gehele traject.
- Geeft inzicht in de mate waarin het traject wel of niet voldoet aan de norm.
- Geeft voldoende informatie voor de vervolprocessen, o.a.
 - Opstellen landelijk veiligheidsbeeld
 - Prioriteren/programmeren HWBP
 - Beheer en onderhoud
- Om te komen tot veiligheidsoordeel is assemblageprotocol ontwikkeld.

Assemblageprotocol

Doel: Ongelijksoortige informatie uit toetsoordelen assembleren tot veiligheidsoordeel:

- **Algemeen Filter op trajectniveau:** Filter is van toepassing op traject
- **Eenvoudige toets:** Mechanismevak voldoet aan beslisregel
- **Gedetailleerde toets semi-probabilistisch op vakniveau:** Veiligheidsfactor per mechanismevak (gegeven representatieve hydraulische belasting)
- **Gedetailleerde toets probabilistisch op vakniveau:** faalkans per mechanismevak
- **Gedetailleerde toets probabilistisch op trajectniveau:** faalkans per traject en indien nodig per toetsspoor op trajectniveau.
- **Toets op Maat:** alle voorgaande soorten toetsoordelen op vakniveau zijn mogelijk.

Categorieën

| Cat. | Aanduiding categorie veiligheidsoordeel | Begrenzing categorie |
|------|---|---|
| A+ | Overstromingskans van het dijktraject is veel kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet ruim aan de signaleringswaarde</i> | $P_{\text{traject}} < 1/30 * P_{\text{eis};\text{sig}}$ |
| A | Overstromingskans van het dijktraject is kleiner dan de signaleringswaarde. <i>Dijktraject voldoet aan de signaleringswaarde.</i> | $1/30 P_{\text{eis};\text{sig}} < P_{\text{traject}} < P_{\text{eis};\text{sig}}$ |
| B | Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde, maar kleiner dan ondergrens. <i>Dijktraject voldoet aan de ondergrens, maar niet aan de signaleringswaarde.</i> | $P_{\text{eis};\text{sig}} < P_{\text{traject}} < P_{\text{eis};\text{ond}}$ |
| C | Overstromingskans van het dijktraject is groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet niet aan de signaleringswaarde en ook niet aan de ondergrens</i> | $P_{\text{eis};\text{ond}} < P_{\text{traject}} < 30 * P_{\text{eis};\text{ond}}$ |
| D | Overstromingskans het dijktraject is veel groter dan de signaleringswaarde en de ondergrens. <i>Dijktraject voldoet ruim niet aan de signaleringswaarde en aan de ondergrens.</i> | $P_{\text{traject}} > 30 * P_{\text{eis};\text{ond}}$ |

Categorieën

- Stoppen na algemeen filter op trajectniveau
=> categorie D
- Stoppen na eenvoudige toets => categorie A+
- Stoppen na gedetailleerde toets vakniveau
 - 'VNK' mechanismen => categorie A+ t/m D
 - Direct oordeel probabilistische analyses
 - Extrapolatie semi-probabilistische regels
 - 'WTI 2011' mechanismen => categorie A of C

Besproken onderwerpen

- Trajecten, dijkvakken, doorsneden en mechanismen
- Overschrijdingskans versus overstromingskans
- Probabilistisch versus semi-probabilistisch
- Vertaalslag normering naar doorsnede/dijkvak
 - Lengte-effect
 - Faalkansbegroting
- Omgaan met scenario's
/schematiseringonzekerheden
- Vertaalslag van toetsoordelen naar veiligheidsoordeel



Cases



Meer informatie
STOWA

opleidingen@stowa.nl

www.opleidingen.stowa.nl