

Betrouwbaar rekenen met DIANA

Adri Vervuurt



Overzicht

- **Probabilistisch rekenen: nut en noodzaak?**
- **Rekentechnieken**
- **DIANA – Probab**
 - Werkwijze
 - Beschikbare methoden
 - Voorbeelden
- **Toekomstperspectief**

Wat is betrouwbaarheid ?

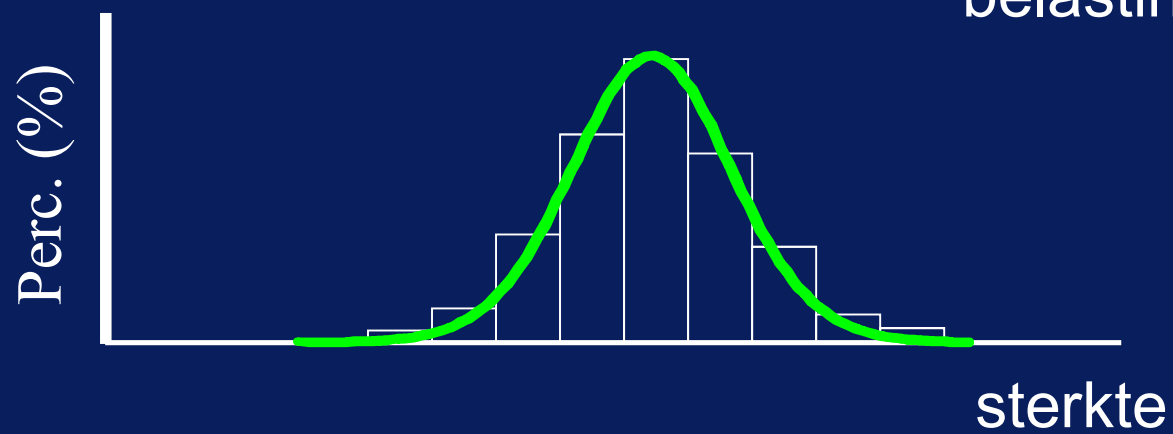
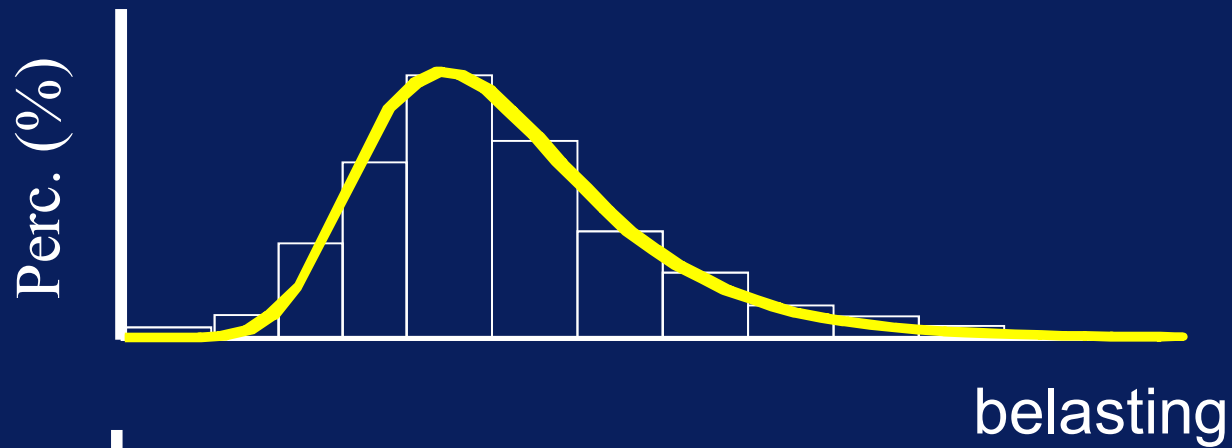
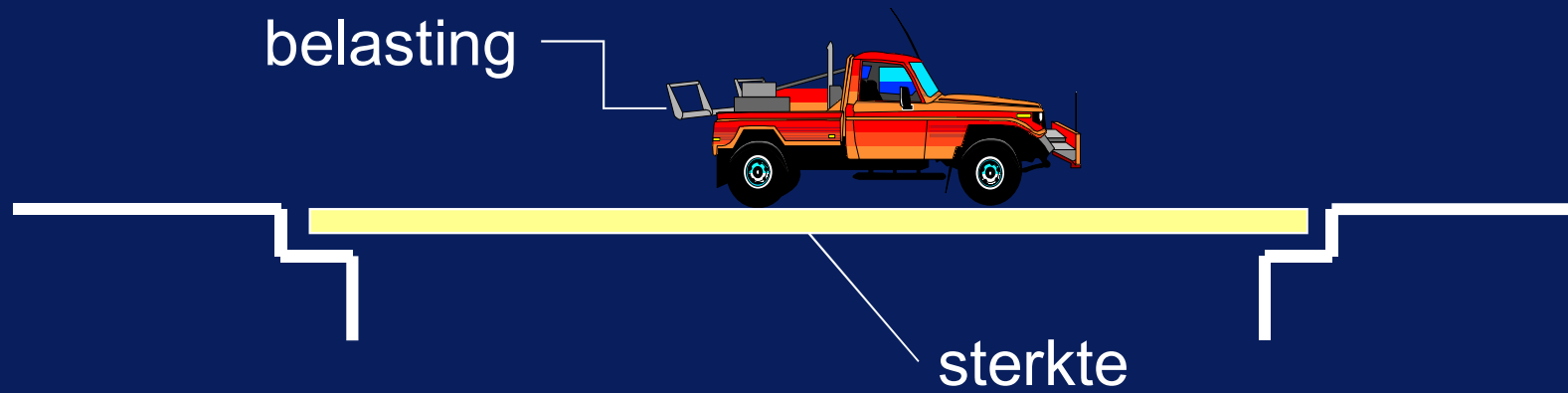
- **Kans op falen**

- Vervormingen (doorbuiging)
- Lokaal bezijken (vloer, wand kolom)
- Bezwijken van het bouwwerk (of onderdeel daarvan)

- **Oorzaak**

- Te hoge belasting
- Te lage stijfheid
- Onvoldoende sterk



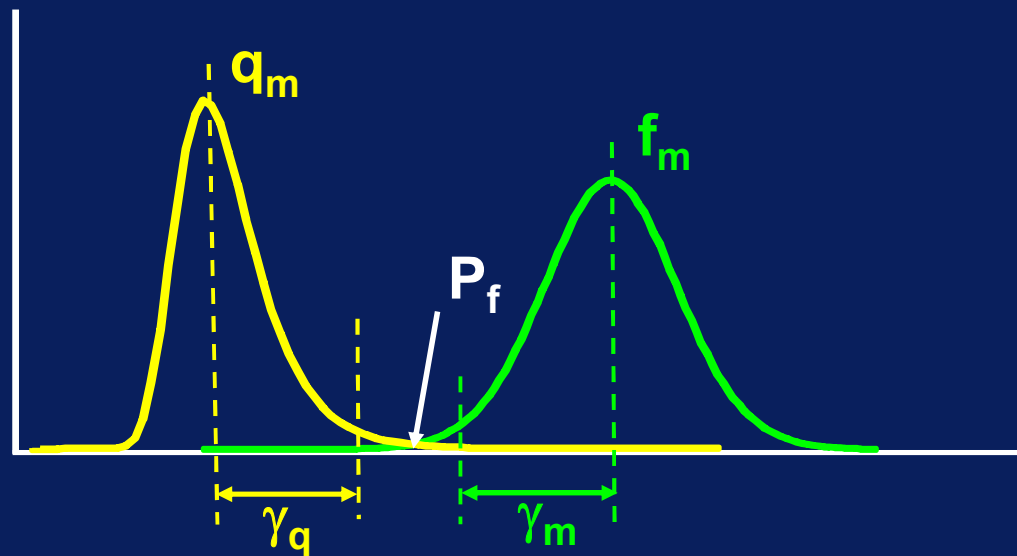


Traditionele ontwerpmethodiek

- **Eisen volgens TGB**
 - NEN 6700
 - Aangewezen in het bouwbesluit
- **Faalkansen gedurende de levensduur (ref. 50 jaar)**
 - Eisen worden gesteld aan betrouwbaarheidsindex β ($P_f \approx 10^{-\beta}$)
 - Instorten: $P_f = 10^{-4}$ (ULS)
 - Vervormingen: $P_f = 10^{-2}$ (SLS)

Traditionele ontwerpmethodiek

- **Partiële veiligheidsfactoren**
 - Rekenwaarde van de sterkte: f_m/γ_m
 - Rekenwaarde van de belasting: $q_m \cdot \gamma_m$
- Rekenwaarden worden gebruikt als invoer voor EEM



Realiteit

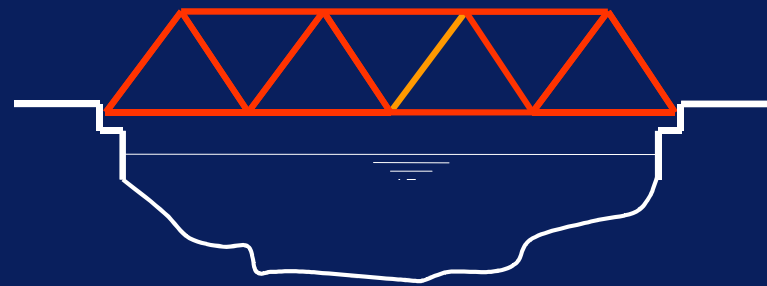
- Veiligheidsfactoren vaak gebaseerd op ervaring
- Factoren bepaald voor onderdelen van de constructie
- In werkelijkheid is veiligheid vaak groter
 - Systeemwerking
 - Herverdeling van spanningen
 - Verborgene veiligheden



Voorbeeld

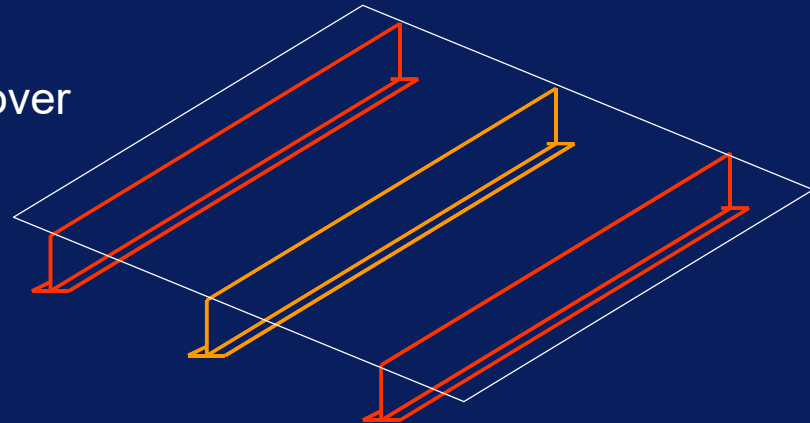
- **Vakwerkbrug**

- Bezwijken van één ligger
- Bezwijken van de gehele constructie
- $P_f = 10^{-4}$



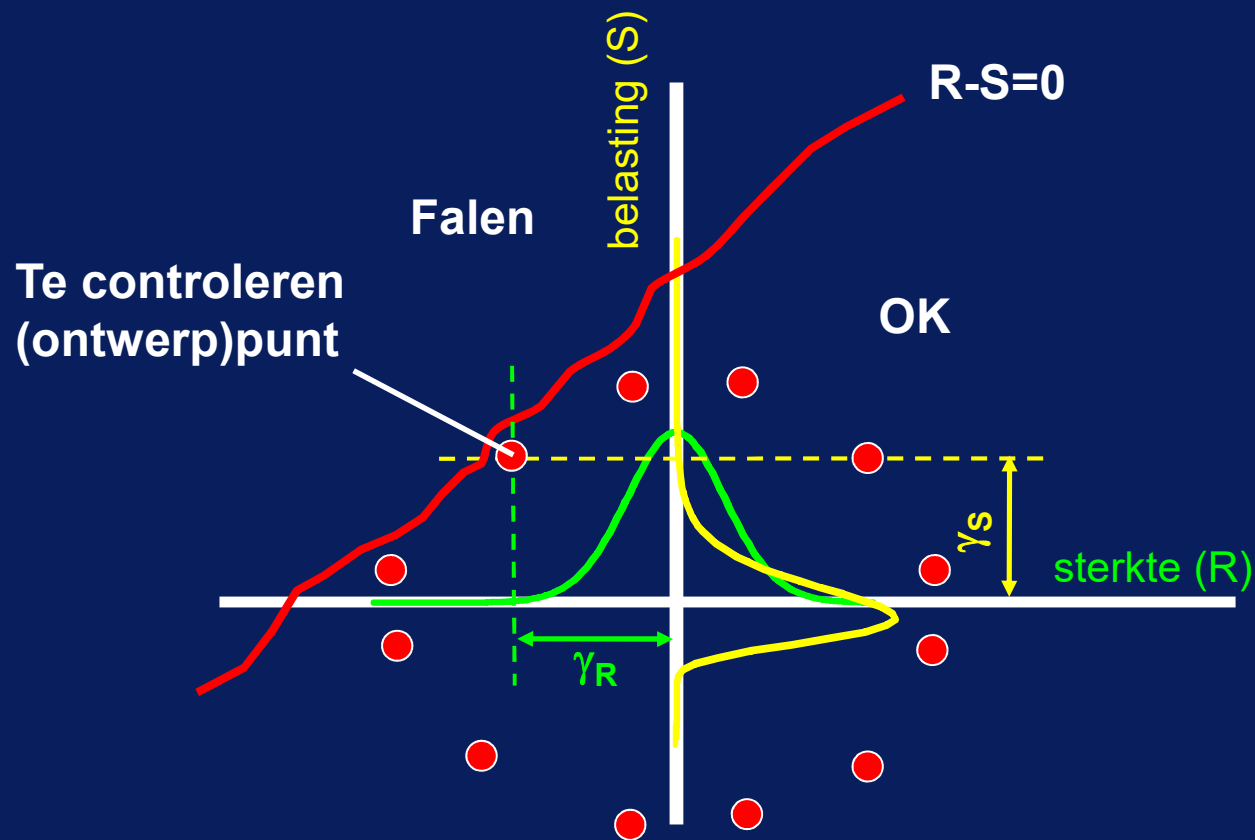
- **Brug met meerdere liggers**

- Bezwijken van één ligger
- Andere liggers nemen belasting over
- $P_f \ll 10^{-4}$



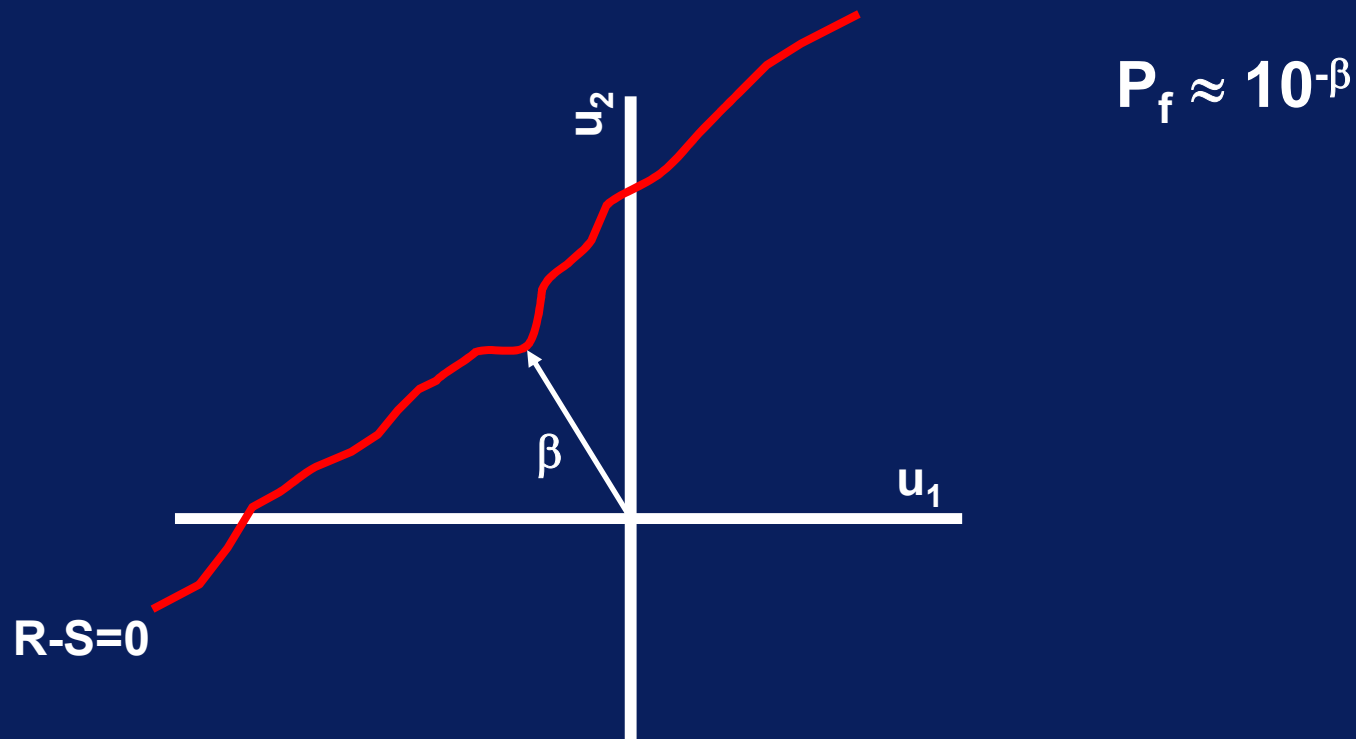
Berekeningsmethoden

- Partiële veiligheidsfactoren (level I)



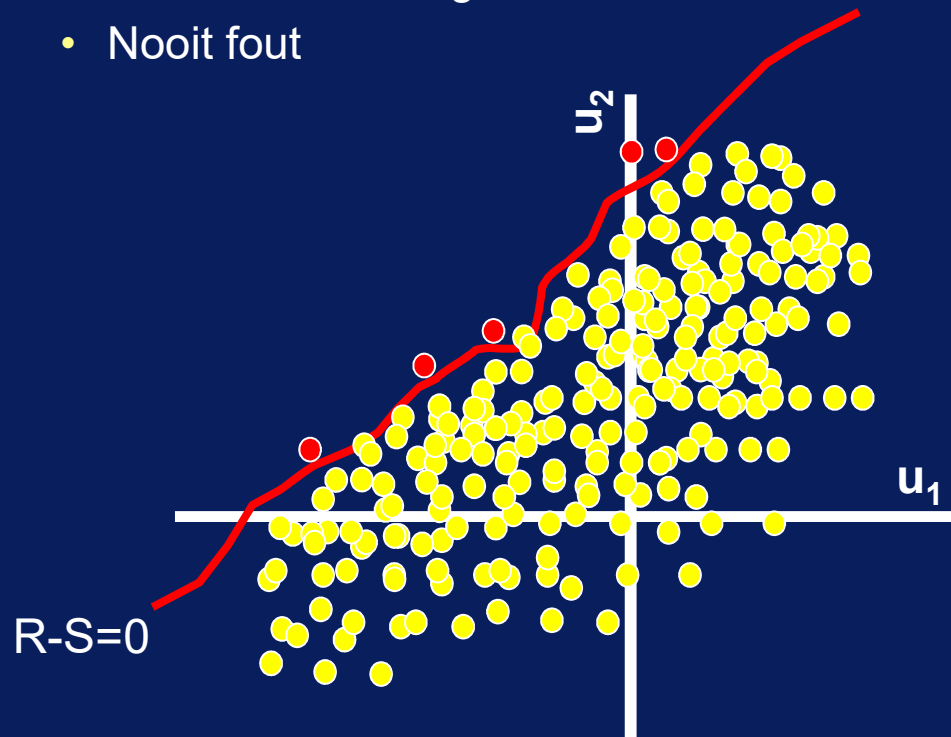
Berekeningsmethoden

- Voor speciale zaken level II
 - Gebruik maken van lineairisatie van de responsefunctie (FORM/SORM)
 - Meer bewerkelijk
 - Nauwkeurigere berekening van de faalkans
 - Meestal goed



Berekeningsmethoden

- Meest nauwkeurig level III
(o.a. Monte Carlo, Directional Sampling)
 - Eenvoudig en inzichtelijk
 - Zeer bewerkelijk (veel berekeningen)
 - Meest nauwkeuriger
 - Nooit fout



N simulaties
 N_f maal falen
 $P_f = N_f/N$

met

$N > 100.000$ voor $\beta \approx 4$

Samenvatting berekeningsmethoden

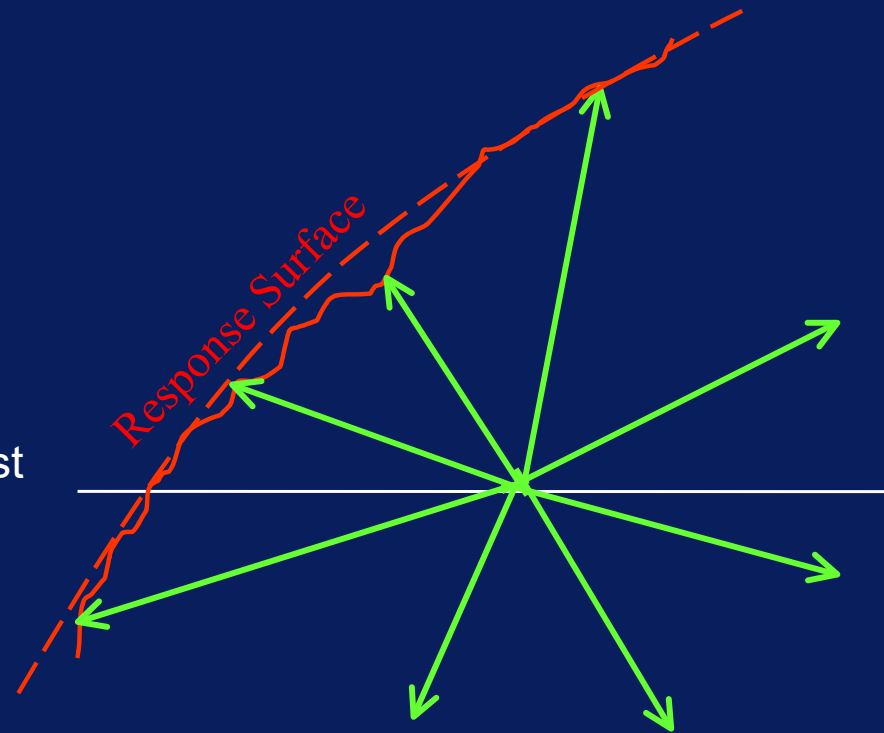
- **Level I: γ -factoren**
 - Eenvoudig
 - Veilig
 - Duur
 - soms fout
- **Level II: FORM / SORM**
 - Bewerkelijk
 - Goede benadering
 - Soms fout
- **Level III: MC / DS**
 - Zeer veel berekeningen
 - Nooit fout
 - Exact resultaat

Probabilistisch rekenen in DIANA

- **Partiële veiligheidsfactoren (level I)**
 - Meest gangbaar
 - Problemen bij complexe problemen (nlin, fase, tijdsafhankelijk)
 - Onbekend welke veiligheidsfactoren maatgevend zijn
 - Grote sommen
 - Veel onzekere variabelen
 - Veel berekening “noodzakelijk”
 - Weinig berekeningen mogelijk (3 dagen regel)
 - Onduidelijk bij onbekende situaties
 - Normen niet van toepassing
 - Aparte belastingen
 - Nieuwe materialen
 - Bestaande constructies met schade

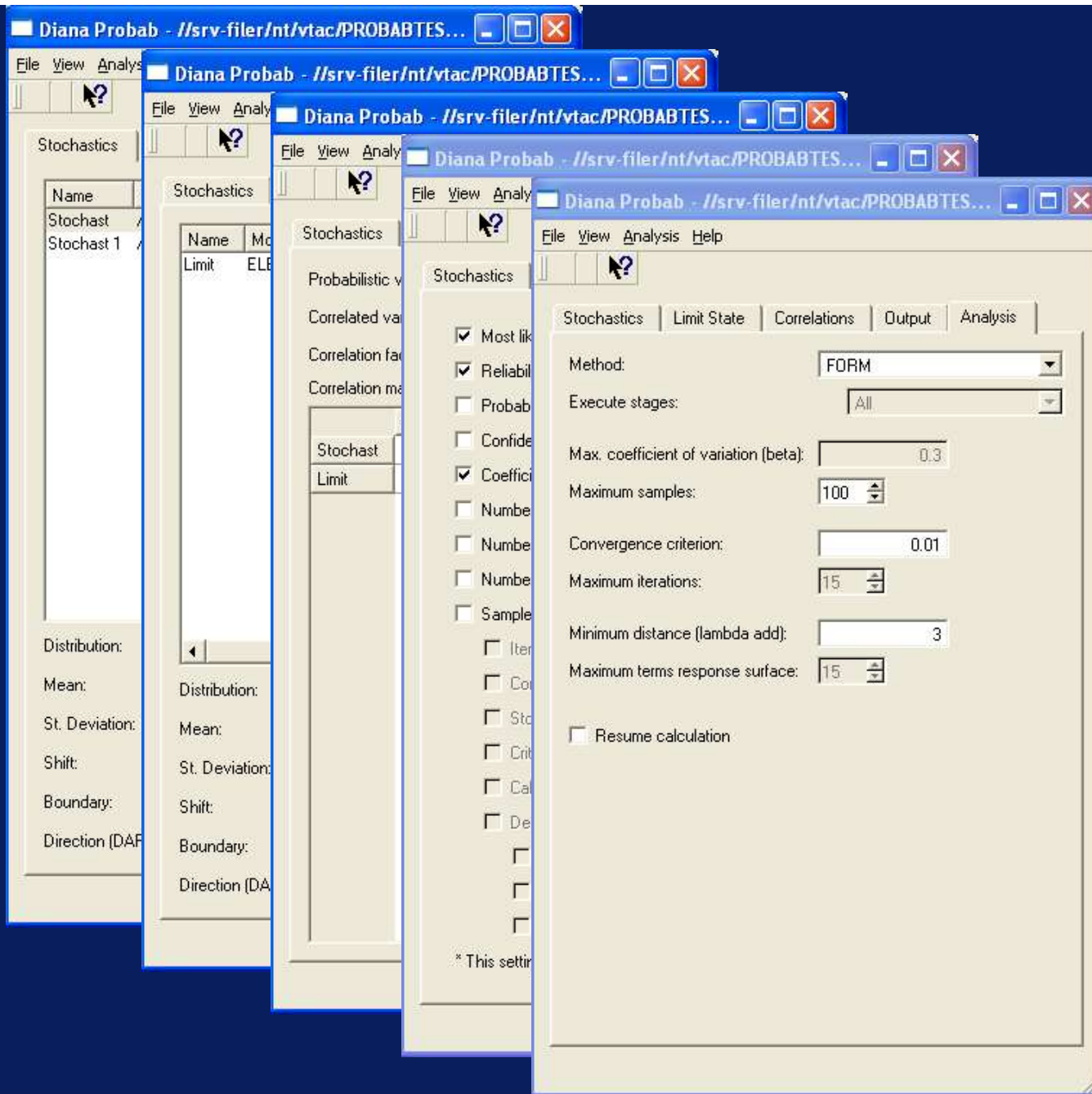
Probabilistisch rekenen in DIANA

- **Level II en III**
 - Ontwikkelingen: module Probab
 - Mogelijkheden:
 - FORM, DS
 - Nieuwe methodiek DARS
- **Output van de analyse**
 - Betrouwbaarheidsindex
 - Bijbehorende nauwkeurigheid
 - Invloedsfactoren van iedere stochast



Voordelen

- **Probabilistiek is aanvullend, niet in plaats van traditionele aanpak**
- **Directe toets op veiligheid**
- **Inzicht in:**
 - Aanwezige veiligheid
 - Bepalende parameters (indirect ook mogelijk voor complexere analyses)
 - Optimalisatie van veiligheid, materiaal en geld
- **Invoer voor:**
 - Risico-analyses
 - Beslissingsmodellen
 - Foutenbomen, gebeurtenissenbomen
- **Nadeel: rekentijd?**



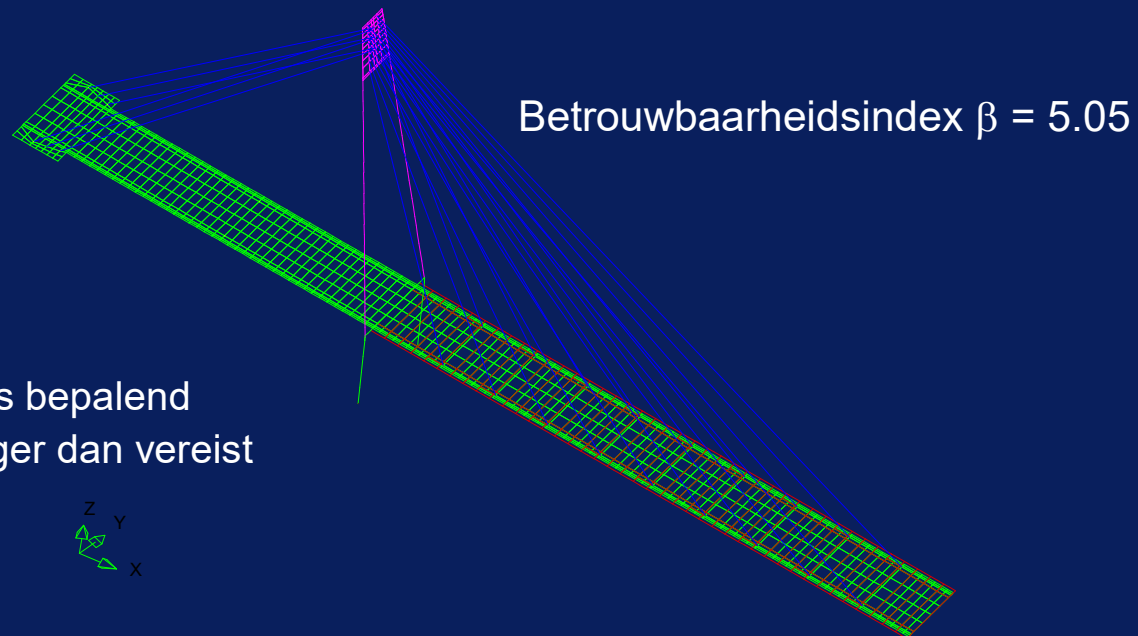
Brugconstructie

- **58 stochastische, onafhankelijke variabelen**

- E-modulus, f_y , ε_c , q , etc

- **Level I – analyse**

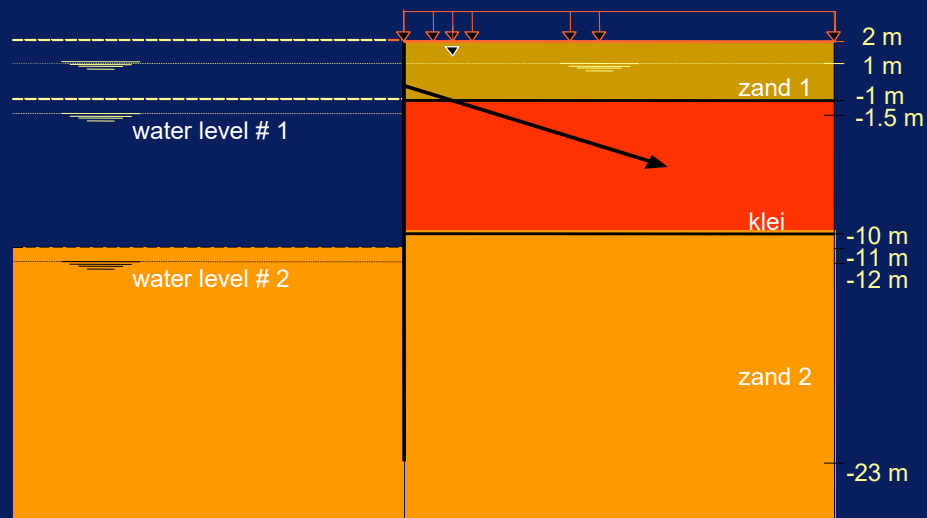
- alle combinaties en mogelijkheden (full level I): 3000 grenstoestanden
- Op basis van normen, logica en ervaring: 30
- Level III: DARS 230 analyses



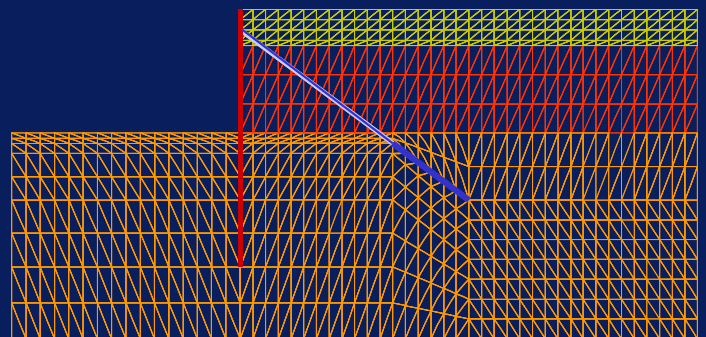
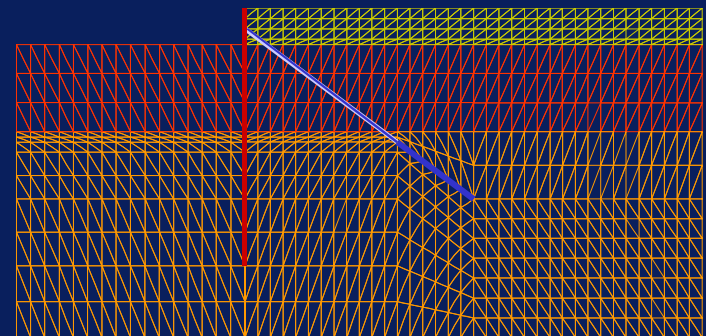
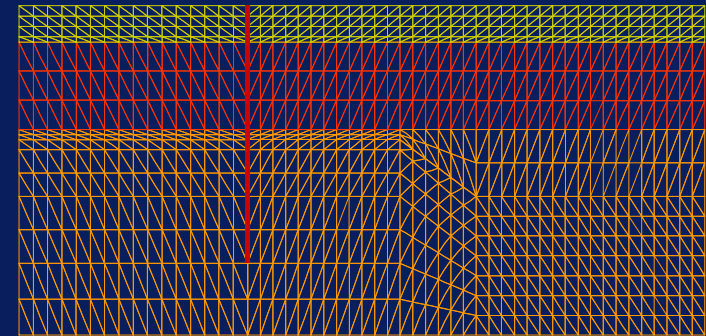
- **Evaluatie**

- Level I = te veilig
- F_p en ε_u van kabels bepalend
- Brugdek veel veiliger dan vereist

Damwand



-  Zand 1
-  Klei
-  Zand 2
-  Damwand
-  Grondanker



Damwand

- **19 onafhankelijke, stochastische variabelen**
 - E-modulus
 - Wrijvingshoek
 - Cohesie
 - Belasting
 - etc
- **Level I – analyse**
 - alle combinaties en mogelijkheden (full level I): 1024 grenstoestanden
 - Op basis van normen, ervaring en logica: 2
 - Level III: DARS 200 analyses ($\beta=2$)
- **Evaluatie**
 - Volgens level I: minder veilig dan vereist
 - Optredend bezwijkmechanisme niet onderkent in normen
 - Invloedsfactoren bekend

Conclusies

- Voordelen level III EEM berekeningen
 - Inzicht in veiligheid
 - Inzicht in bepalende factoren
- Grotere betrouwbaarheid/veiligheid, lagere kosten
- Meer berekeningen (minder dan volledig level I)
- Toepassingsgebieden
 - Ontwerp
 - Uitvoering
 - Beheer en Onderhoud

Toekomstperspectief

- Vragen
 - Systeemmodellering
 - Geometrische onzekerheden
 - Tijdsafhankelijke aspecten
- Systematiek ook voor andere modellen mogelijk
 - Initiatief bij TNO Bouw om dit te realiseren (o.a. brand- en rookverspreidings-modellen, gekoppelde fysische processen, levensduurbeschouwingen)
 - Toegang voor risicomodellen