



Robuuste veiligheid

- Traditionele dijk en Delta-/Klimaatdijk
- Aanbevelingen Afsluitdijk

Symposium De Brede Dijk - 9 december 2008



Harry Schelfhout

Uitgangspunten en randvoorwaarden

Klimaatbestendig (WB21-max)

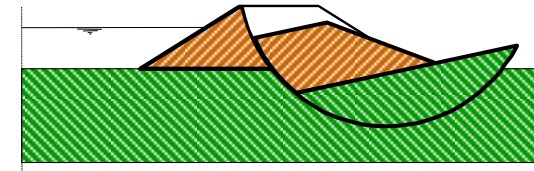
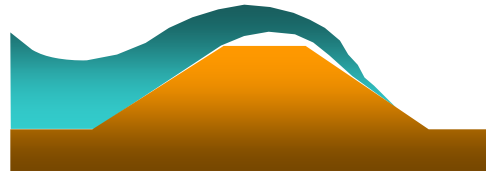
- Zeespiegelstijging 1,1 m en Bovenrijnafvoer 18.000 m³/s

Robuuste veiligheid

- Factor 10 tot 100 veiliger

Dominante faaloorzaken

- Overloop
- **Golfoverslag**
- **Afschuiving**
- Piping



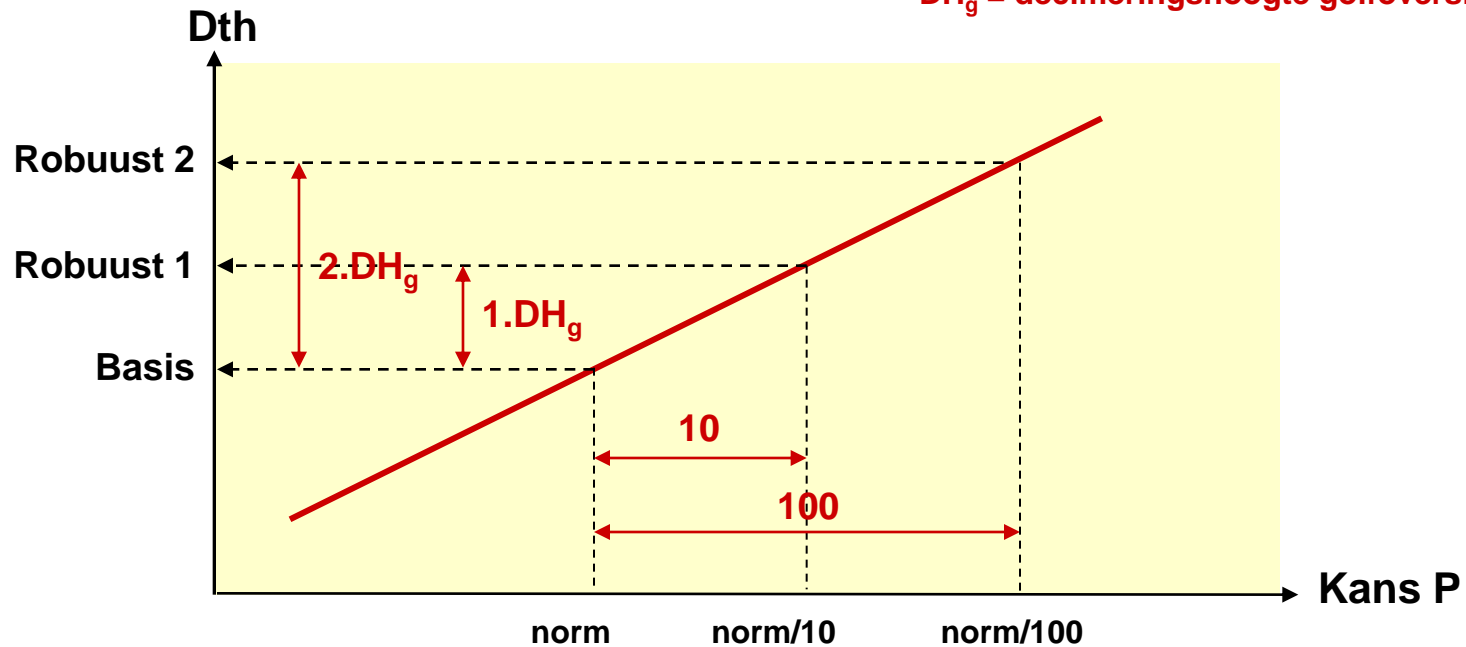
Criteria voor overloop/golfoverslag

Faaloorzaak	Criterium	Basisontwerp	Robuust ontwerp	
			P/10	P/100
Overloop	Minimum waakhoogte	$D_{th} = H_w + 0,5 \text{ m}$	$H_w + 1 \cdot DH_w$	$H_w + 2 \cdot DH_w$
Golfoverslag	Overslaghoogte	D_{th}	$D_{th} + 1 \cdot DH_g$	$D_{th} + 2 \cdot DH_g$

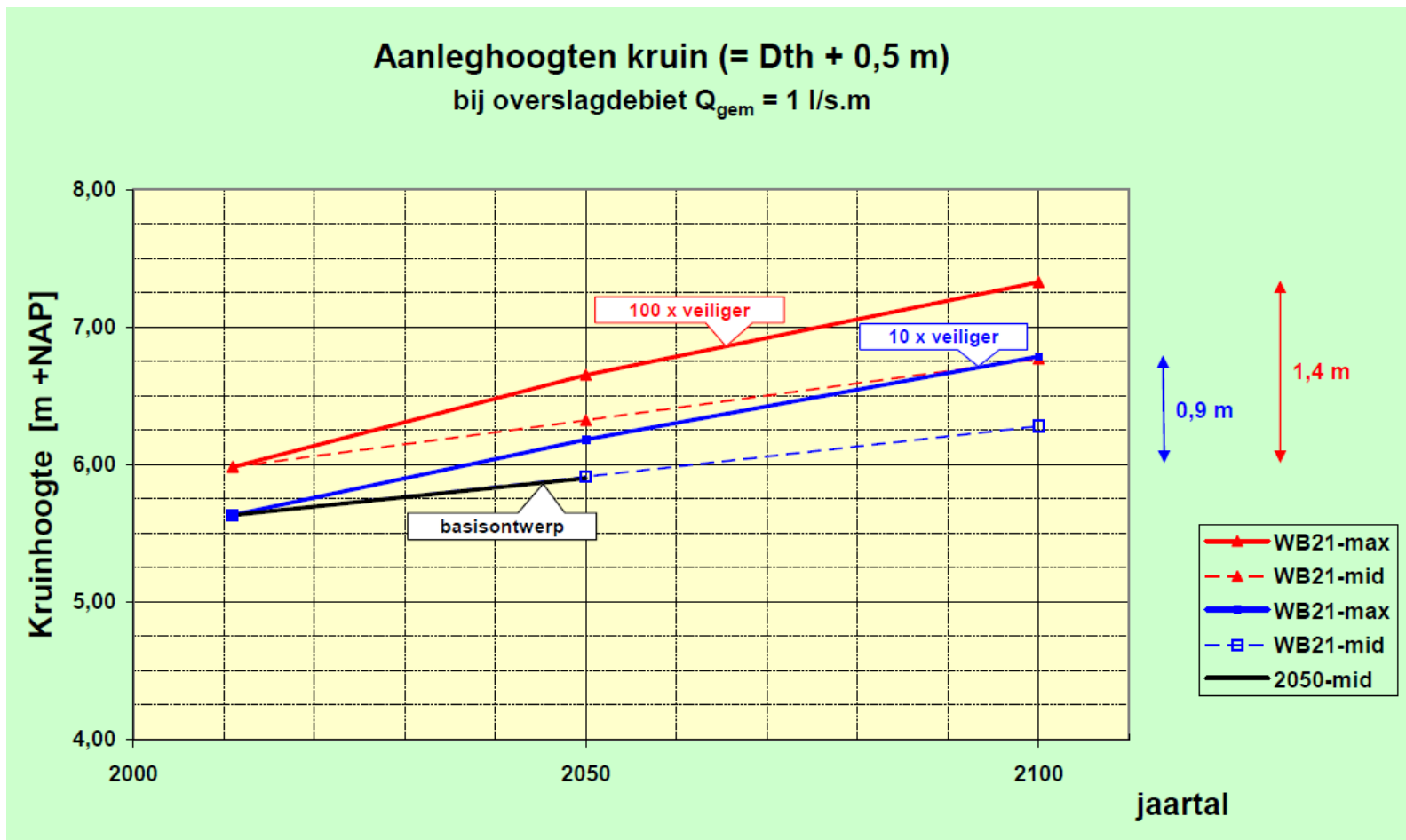
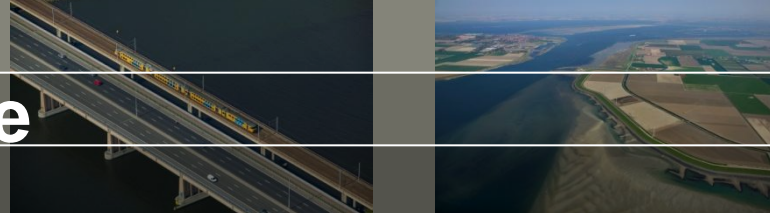
D_{th} = dijktafelhoogte (minimaal vereiste kruinhoogte)

DH_w = decimeringshoogte waterstand

DH_g = decimeringshoogte golfoverslag



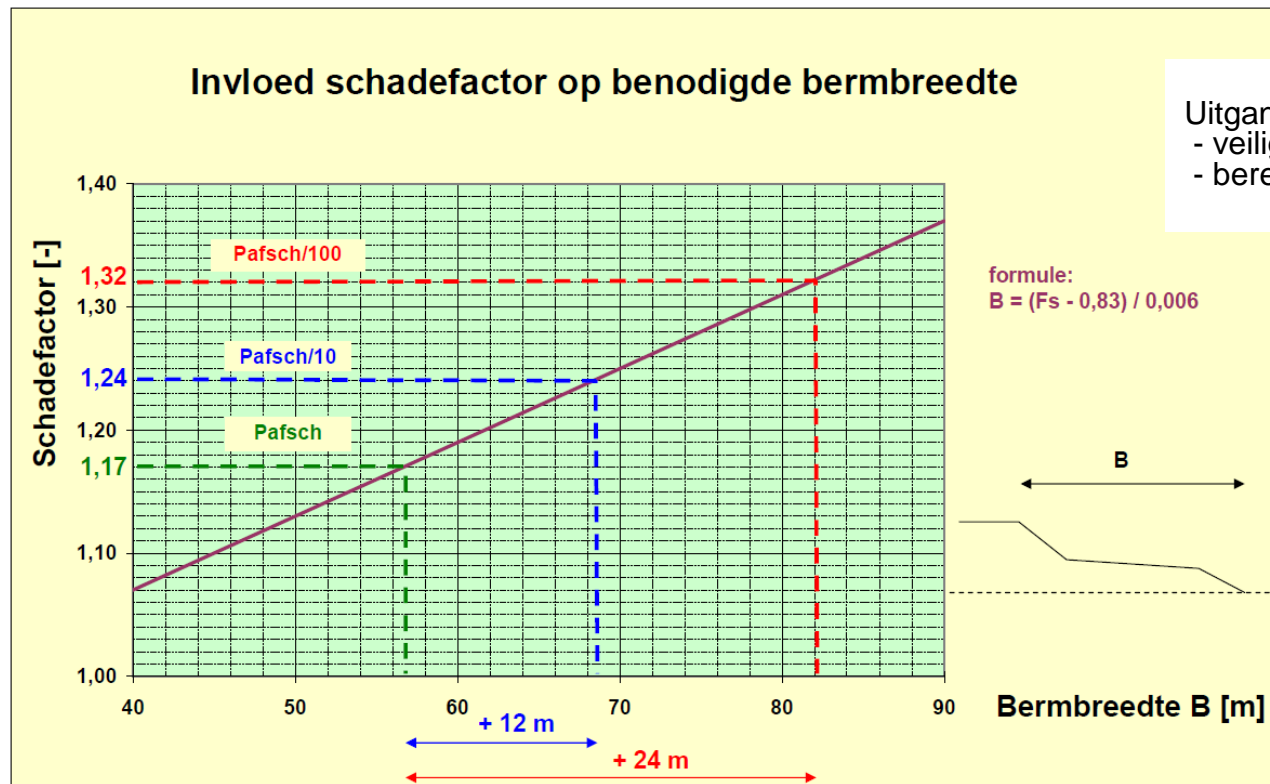
Voorbeeld resultaten kruinhoogte



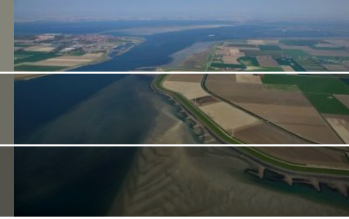
- Uitgangspunten:
- veiligheidsnorm 1/2000 per jaar
 - excl. PKB-maatregelen, aftopping en robuustheidstoeslag
 - dijkringbenadering (dijkringtoeslag 0,4 – 0,6 m)
 - decimeringshoogte 0,25 – 0,4 m

Voorbeeld binnenwaartse stabiliteit

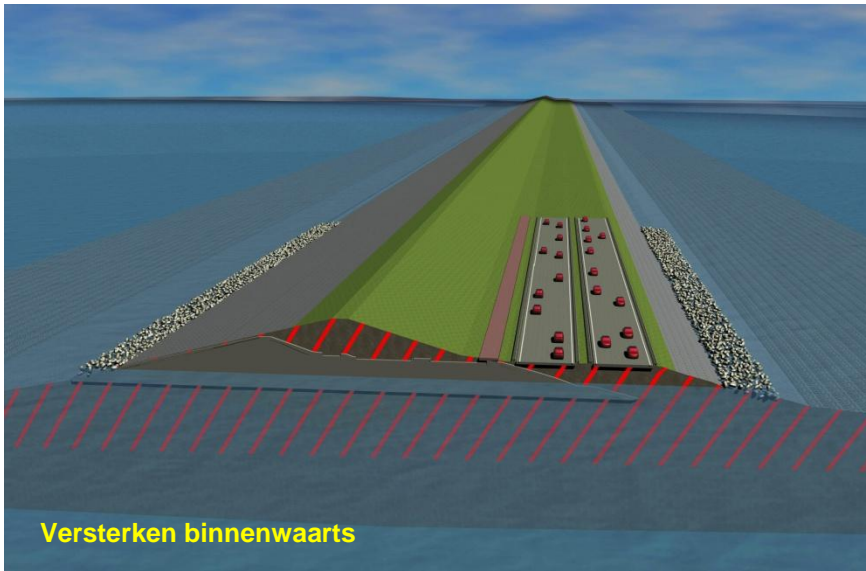
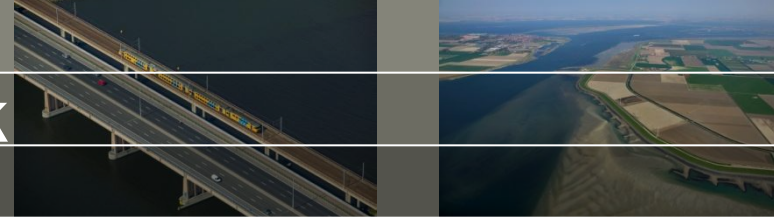
Faaloorzaak	Toelaatbare kans op afschuiving	...% van de norm	β_{nodig}	Schadefactor
Basisontwerp	P_{afsch}	0,17%	4,78	
Robuust ontwerp 1	$P_{afsch}/10$	0,017%	5,23	
Robuust ontwerp 2	$P_{afsch}/100$	0,0017%	5,64	



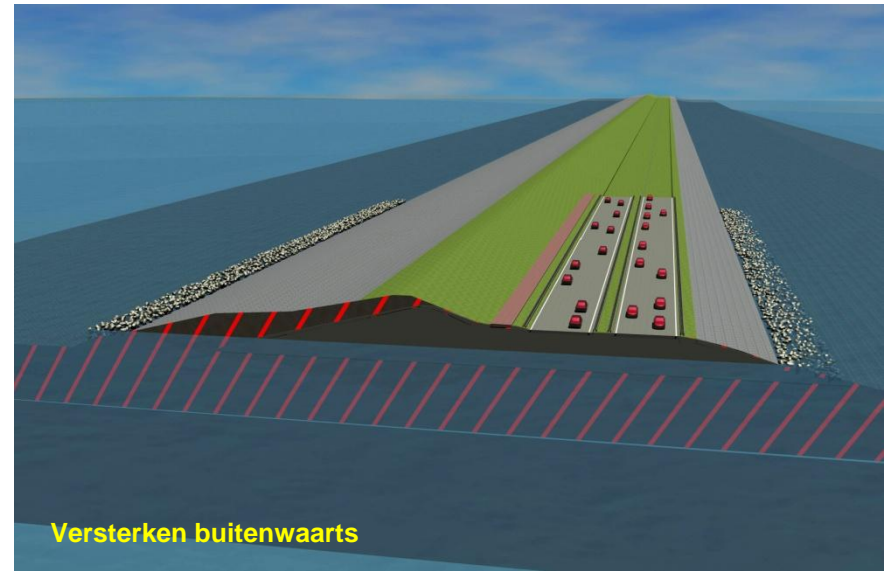
Aanbevelingen voor Afsluitdijk



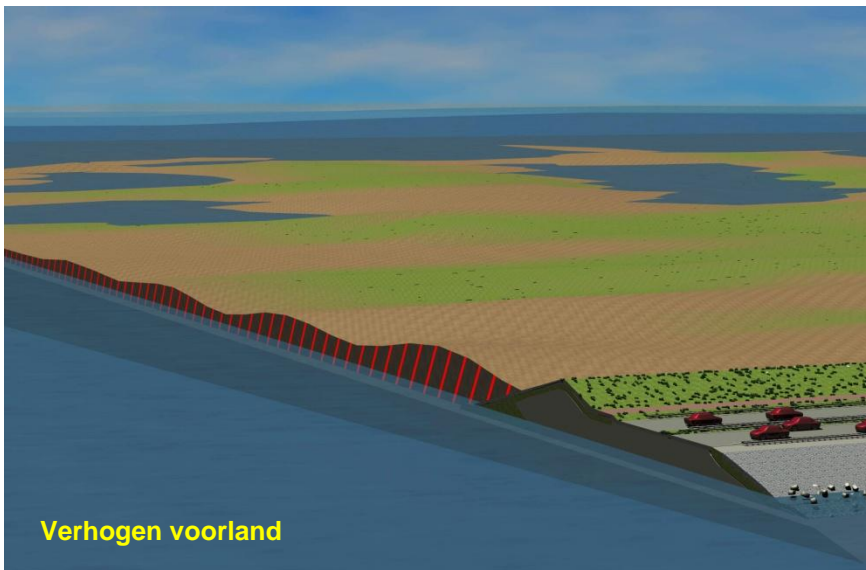
Versterkingsvarianten Afsluitdijk



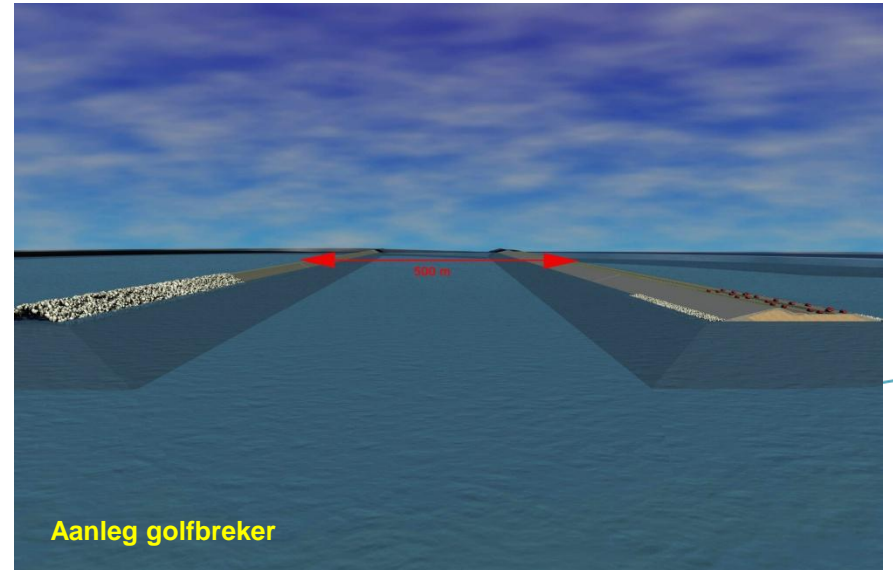
Versterken binnenwaarts



Versterken buitenwaarts



Verhogen voorland



Aanleg golfbreker

Afsluitdijk: kerende hoogte

Basisontwerp (voldoet a/d norm)

Binnenwaarts versterken

- **Klimaatscenario 2050-mid: zss = 0,3 m**
- **Klimaatscenario 2100-mid: zss = 0,6 m**
- **SWL = +5,73 m, $H_s = 3,5$ m en $T_p = 8,1$ s**
- **Basalton ($r_f = 0,9$), 1:4**
- **$q = 1$ l/s.m: $\Delta H_{kr} = 7,0$ m**
- **$q = 10$ l/s.m: $\Delta H_{kr} = 4,8$ m**

Buitenwaarts versterken

- **Taludverflauwing 1:6: $\Delta H_{kr} = 1,9$ m**
- **Reductie golfoploop door:**
 - **1) breuksteen ($r_f = 0,55$): $\Delta H_{kr} = 1,8$ m**
 - **2) buitenberm 10 m (op MHW): $\Delta H_{kr} = 3,0$ m**
 - **Combi van 1 en 2 ($r_f \geq 0,4$): $\Delta H_{kr} = 0,4$ m**

Bestaande hoogte/talud handhaven

- **Overslagbestendige bekleding**
- **Reductie golfhoogte $H_s = 1,05$ m door:**
 - **Voorland op +4,3 m**
 - **Golfbrekers**

10x (of 100x) veiliger: $\approx +1.DH$ (of $\approx +2.DH$)

Binnenwaarts versterken

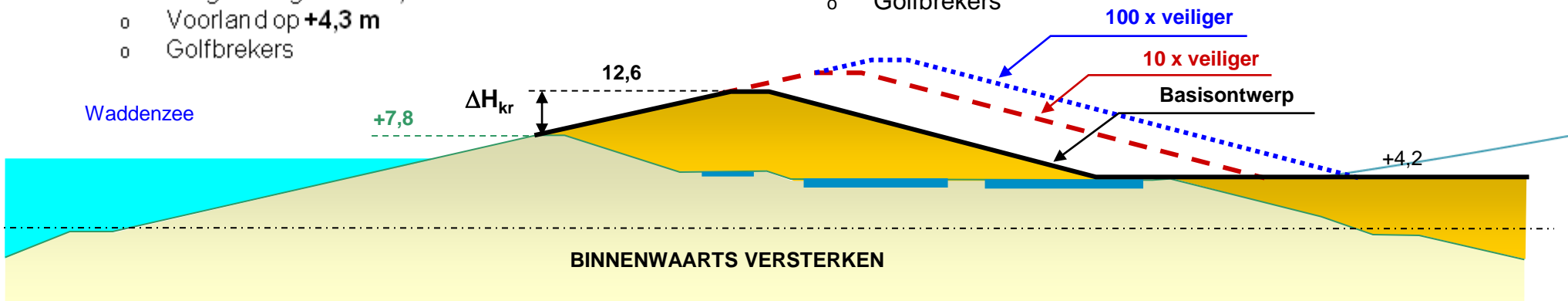
- **Klimaatscenario 2050-max: zss = 0,45 m**
- **Klimaatscenario 2100-max: zss = 1,1 m**
- **Klimaatscenario 2100- Δ -cie: zss = 1,3 m (extreem 2100)**
- **SWL = +6,73 m., $H_s = 3,5$ m en $T_p = 8,1$ s**
- **$q = 1$ l/s.m: $\Delta H_{kr} = 8,5$ m (9,0 m)**
- **$q = 10$ l/s.m: $\Delta H_{kr} = 6,3$ m (6,8 m)**

Buitenwaarts versterken (10 l/s.m)

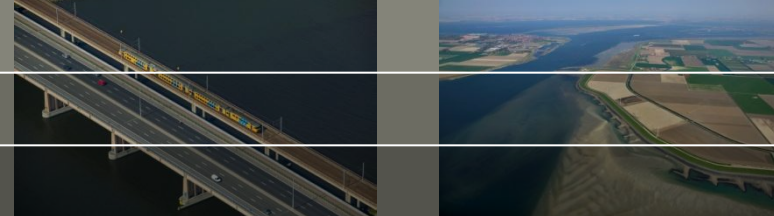
- **Taludverflauwing 1 : 6: $\Delta H_{kr} = 3,4$ m (3,9 m)**
- **Reductie golfoploop door:**
 - **1) breuksteen ($r_f = 0,55$): $\Delta H_{kr} = 3,3$ m (3,8 m)**
 - **2) buitenberm 10 m (op MHW): $\Delta H_{kr} = 4,5$ m (5,0 m)**
 - **Combi van 1 en 2 ($r_f = 0,4$): $\Delta H_{kr} = 1,9$ m (2,4 m)**

Bestaande hoogte/talud handhaven

- **Overslagbestendige bekleding**
- **Reductie golfhoogte $H_s = 1,05$ m door:**
 - **Voorland op +5,9 m (6,3 m)**
 - **Golfbrekers**



Afsluitdijk: stabiliteitseisen



Ontwerp	Toelaatbare kans op afschuiving binnenwaarts	% norm	β_{nodig}	γ_n (zone 1)	γ_b	F_{toel}
Basisontwerp	P_{afsch}	0,26%	5,02	1,13	1,3	1,47
10 × veiliger	$P_{afsch}/10$	0,026%	5,44	1,19	1,3	1,54
100 × veiliger	$P_{afsch}/100$	0,0026%	5,84	1,24	1,3	1,61

Ontwerp	Toelaatbare kans op afschuiving buitenwaarts	% norm	β_{nodig}	γ_n (zone 1)	γ_b	F_{toel}
Basisontwerp	P_{afsch}	2,6%	4,55	1,07	1,3	1,39
10 × veiliger	$P_{afsch}/10$	0,26%	5,02	1,13	1,3	1,47
100 × veiliger	$P_{afsch}/100$	0,026%	5,44	1,19	1,3	1,54

