



Deltares

Probabilistisch beoordelen en ontwerpen grasbekleding **Samenvoegen GEBU en GEKB, en meer...**

Alfons Smale

20 mei 2021

Inhoudsopgave

- Aanleiding voor de koppeling van de mechanismen GEKB en GEBU
- Aanpak op hoofdlijnen
- Geïmplementeerde mechanismen
 - GEBU-Golfklap
 - GEBU-Golfoploop
 - GEKB
- Aanscherping(en) ten opzichte van BOI

Aanleiding koppeling mechanismen

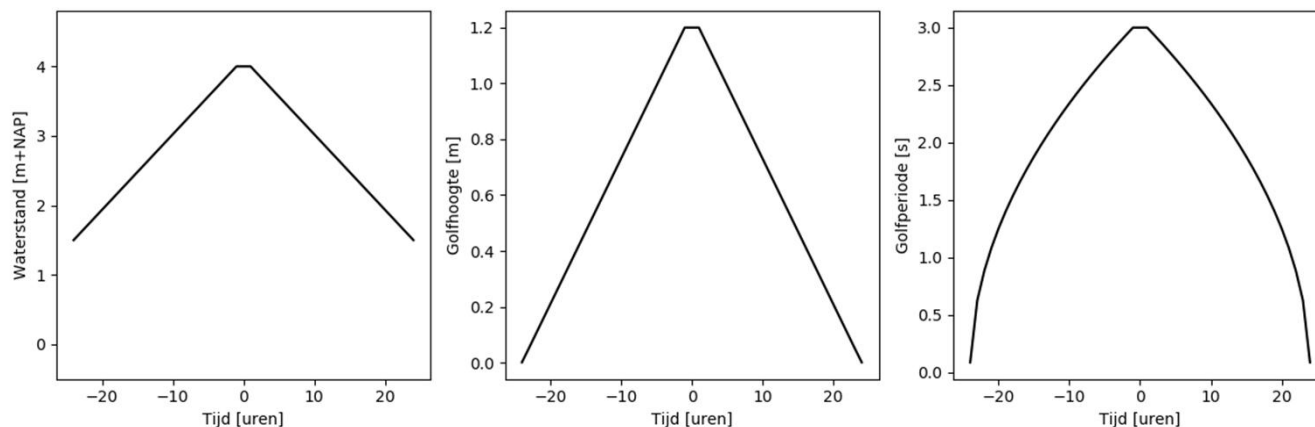
- Aanleiding:
 - Moeilijk uitlegbaar dat de “graspriet” aan de buitenzijde van de buitenkruinlijn aan een strengere eis moet voldoen dan de “grasspriet” aan de binnenzijde van de buitenkruinlijn
 - Gedachte dat de mechanismen GEBU en GEKB voor dit dijktraject gecorreleerd zijn: als er een hoge belasting optreedt voor GEKB dan geldt dit ook voor GEBU
- Oplossing:
 - de twee mechanismen samenvoegen, anders gezegd:
 - tijdens “elke storm” nagaan of de grasbekleding op het buitentalud OF op de kruin en het binnentalud faalt

Aanpak op hoofdlijnen

- Uitgangspunten:
 - software/tool die door specialisten gebruikt kan worden (geen User Interface, invoer via tekstbestanden)
 - geen nieuwe kennis ontwikkelen: uitgaan van bestaande kennis
- Oplossingsrichting:
 - Nieuwe plug-in voor Hydra-Ring (rekenhart Riskeer)
 - Plug-in doet voor GEBU effectief dezelfde som als de BM-Gras (golfklap en golfoploop)
 - Plug-in doet voor GEKB de zuivere berekening voor cumulatieve overbelasting benadering
 - Plug-in maakt het mogelijk om bestaande belastingmodellen probabilistisch te koppelen aan sterktebeschrijvingen
- Werkwijze:
 - Implementatie individuele mechanismen
 - Koppelen van individuele mechanismen via foutenboom (bestaande Hydra-Ring functionaliteit)

Tijdsverlopen waterstanden/golven binnen storm (1)

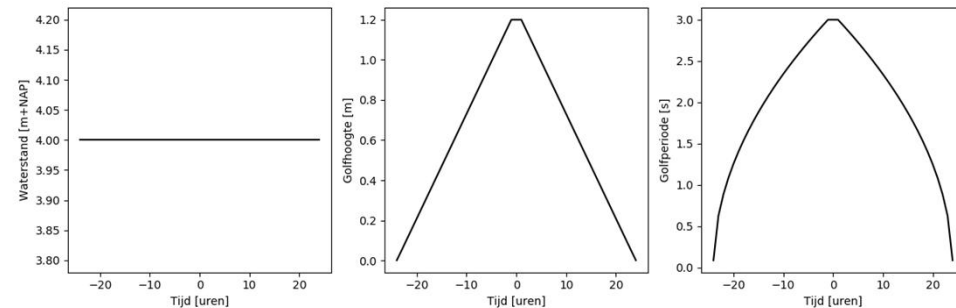
- GEBU-golfklap en GEBU-golfoploop vragen om een tijdsverloop van waterstanden en golven
- Meteen ook tijdsverloop meegenomen bij GEKB, als we toch bezig zijn...
- Specifiek voor traject 8-3 (IJsselmeer) een tijdsverloop (reekstype=3) met:
 - Opzet als trapezium gesuperponeerd op een constant meerpeil
 - Golfhoogte als trapezium (aannname van trapezium verloop wind en golfcondities)
 - Golfperiode als functie van golfhoogte met golfsteilheid gelijk aan golfsteilheid tijdens piek
- Dit wijkt voor golfcondities af van gebruik BM-Gras, want die gebruikt Q-variant (let op: gebruik van trapezium voor golfhoogte is een benadering van de werkelijkheid)



Tijdsverlopen waterstanden/golven binnen storm (2)

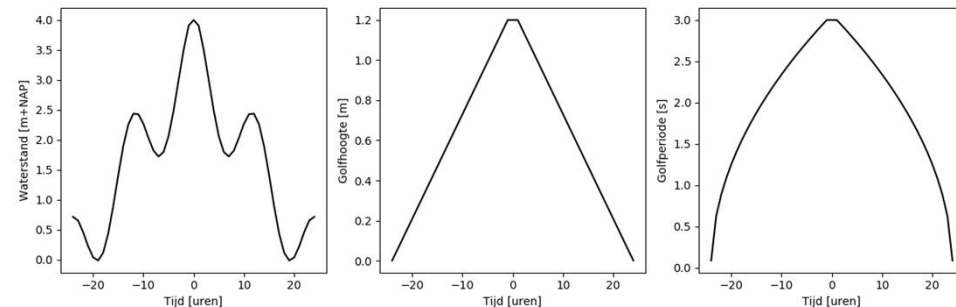
- Voor bovenrivieren (reekstype=1):

- Contante waterstand
- Trapezium golfhoogte
- Golfperiode via golfsteilheid



- Voor kust (reekstype=2)

- Opzet trapezium gesuperponeerd op getij-signaal
- Trapezium golfhoogte
- Golfperiode via golfsteilheid

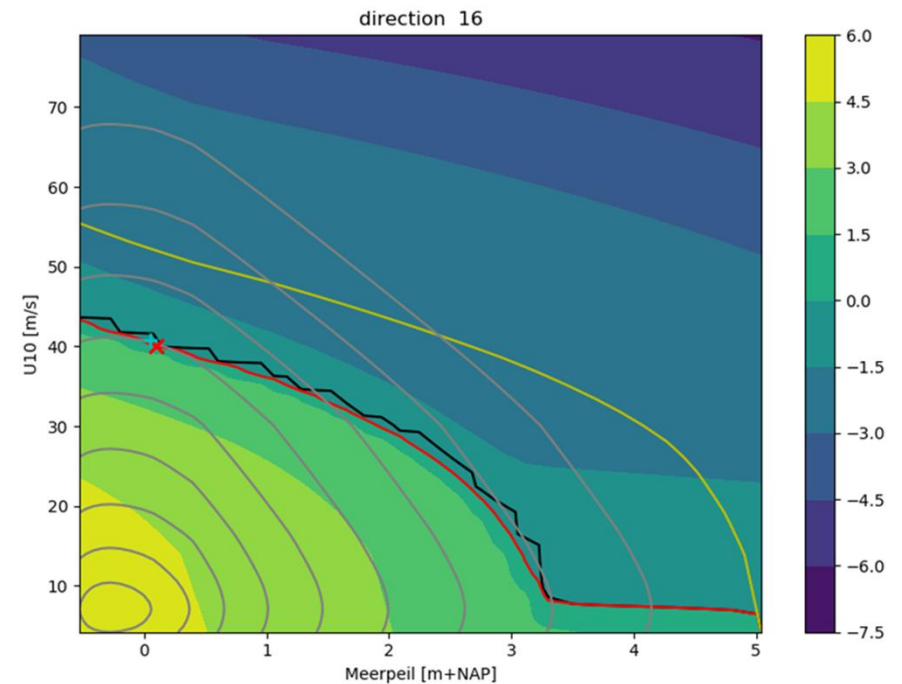
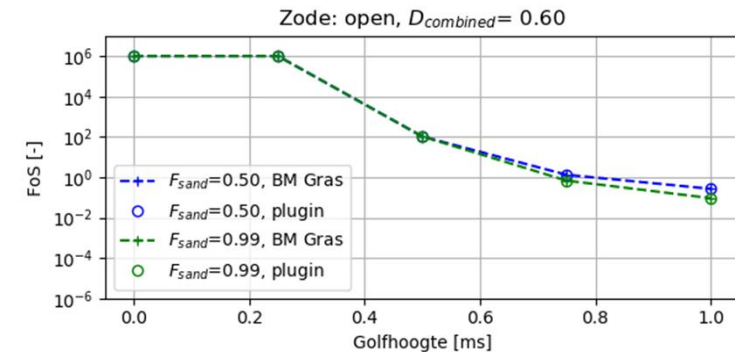


Overige systemen nog niet geïmplementeerd

Deltares

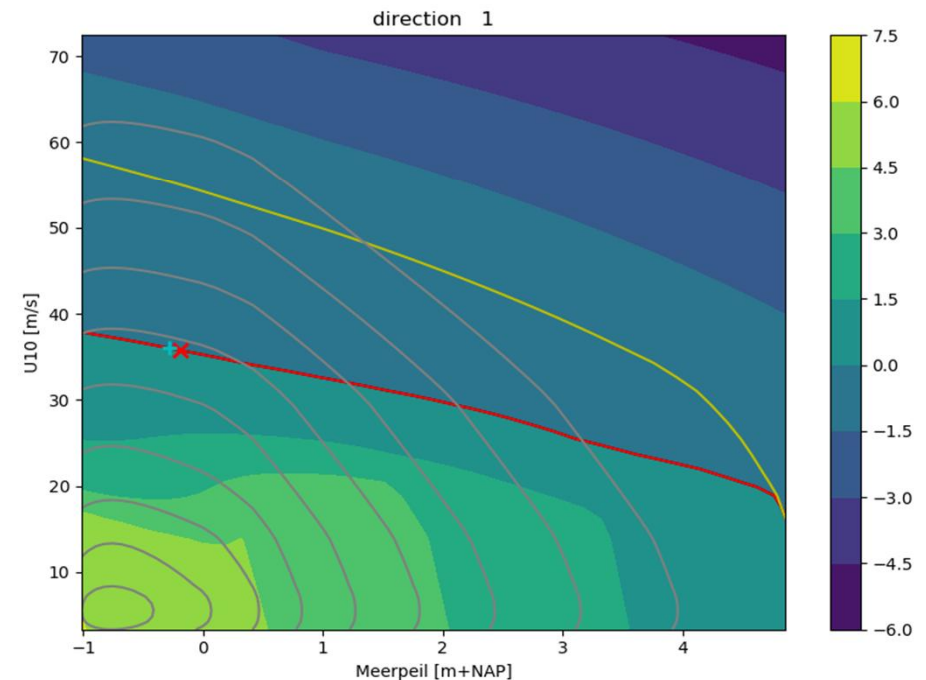
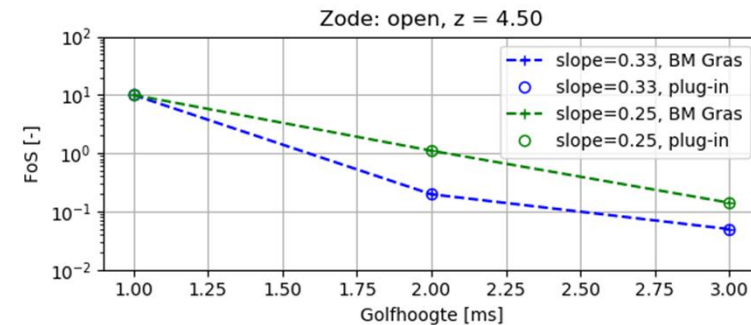
Implementatie GEBU-Golfklap

- Beschrijving fysica/onzekerheden:
 - conform BM Gras
 - Sterkte-eigenschappen als rekenwaarden gedefinieerd
 - Tijdsafhankelijke belastingen binnen storm op basis van reekstype (3), waardoor aanname Q-variant niet nodig is
- Implementatie: aanpassing om rekentechniek FORM toe te kunnen passen



Implementatie GEBU-Golfoploop

- Beschrijving fysica/onzekerheden:
 - conform BM Gras (fysica-beschrijving)
 - Implementatie niet op basis van discretisatie overschrijdingscurve individuele golfhoogten, maar continue
 - Rekening houdend met stochastische processen:
 - a. onzekerheid 2%-golfoploop
 - b. onzekerheid als gevolg van beperkt aantal golven (natuurlijke variabiliteit individuele golven)
 - Sterkte-eigenschappen als rekenwaarden gedefinieerd
 - Tijdsafhankelijke belastingen binnen storm op basis van reekstype (3), waardoor aanname Q-variant niet nodig is

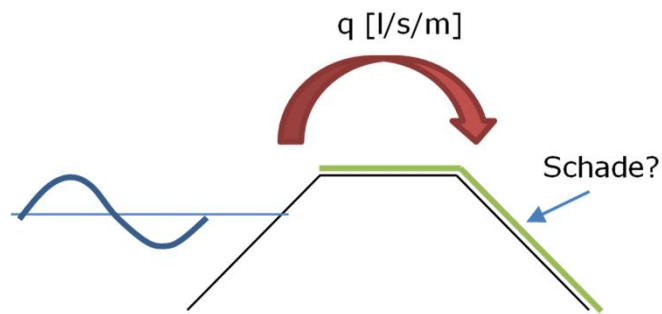


Implementatie GEKB (1)

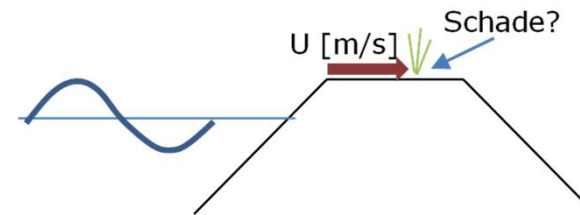
- Beschrijving fysica/onzekerheden:
 - conform cumulatieve overbelasting methode (kansverdelingen q_{crit} is een benadering)
 - Implementatie niet op basis van discretisatie overschrijdingscurve individuele golfhoogten, maar continue
 - Rekening houdend met stochastische processen:
 - a. onzekerheid 2%-golfoploop
 - b. onzekerheid als gevolg van beperkt aantal golven (natuurlijke variabiliteit individuele golven)
 - Rekening houdend met tijdafhankelijke verloop belastingen
 - Sterkte-eigenschappen als rekenwaarden gedefinieerd, uitgezonderd: D_{crit} , U_{crit} (dat zijn conform fysica beschrijving stochasten)
 - Belastingen binnen storm op basis van reekstype (3), waardoor aanname Q-variant niet nodig is

Implementatie GEKB, achtergrond (1)

- Van HBN naar GEKB.....



Falen: $q > q_{crit}$

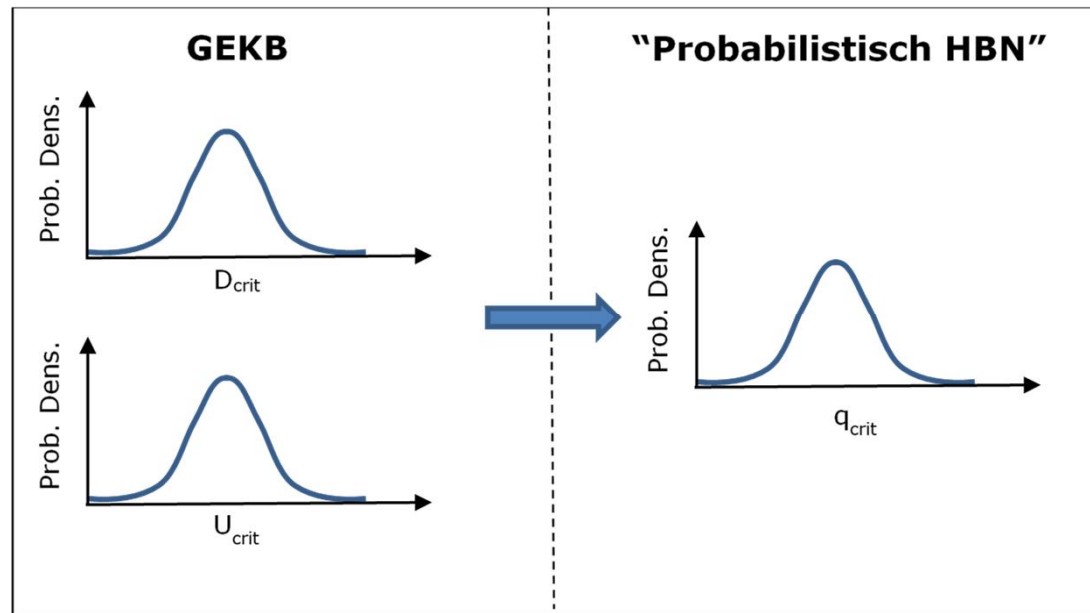


Falen: $D > D_{crit}$

$$\sum_N \max(0; \alpha_M U_i^2 - \alpha_S U_{crit}^2) > D_{crit}$$

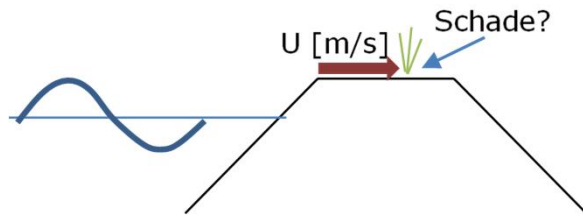
Implementatie GEKB, achtergrond (2)

- Implementatie in WBI/BOI....



Implementatie GEKB, achtergrond (3)

- In deze tool:



Falen: $D > D_{crit}$

$$\sum_N \max(0; \alpha_M U_i^2 - \alpha_S U_{crit}^2) > D_{crit}$$

- Sterktebeschrijving middels:

- Stochasten U_{crit} en D_{crit}
- Invloedscoëfficiënten α_M , α_S en α_a (zie SH-gras en Deltares 2019)

Implementatie GEKB (2)

- Beschrijving fysica/onzekerheden:
 - conform cumulatieve overbelasting methode (kansverdelingen q_{crit} is een benadering)
 - Implementatie niet op basis van discretisatie overschrijdingscurve individuele golfhoogten, maar continue
 - Rekening houdend met stochastische processen:
 - a. onzekerheid 2%-golfoploop
 - b. onzekerheid als gevolg van beperkt aantal golven (natuurlijke variabiliteit individuele golven)
 - Rekening houdend met tijdafhankelijke verloop belastingen
 - Sterkte-eigenschappen als rekenwaarden gedefinieerd, uitgezonderd: D_{crit} , U_{crit} (dat zijn conform fysica beschrijving stochasten)
 - Belastingen binnen storm op basis van reekstype (3), waardoor aanname Q-variant niet nodig is

Aanscherping(en) ten opzichte van BOI

Individuele procesbeschrijvingen:

- GEBU: geen Q-variant aanpak, niet de aanname dat de windsnelheid constant is binnen storm, maar een trapeziumvorming verloop van waterstand en golfcondities (= benadering van werkelijke stormverlopen)
- GEKB: geen aanname voor golfhoogteklassen, golfsteilheid, talud, stormduur

Faalkansberekening:

- Geen faalkansverdeling tussen GEBU-golfklap, GEBU-golfoploop en GEKB: volledig automatisch:
 - Faalkansbegroting voor combinatie GEKB+GEBU is $24\% + 5\% = 29\%$
 - Eventuele “oversterkte” wordt automatisch herverdeeld naar het andere mechanisme
- Automatisch rekening houden met correlatie tussen mechanismen

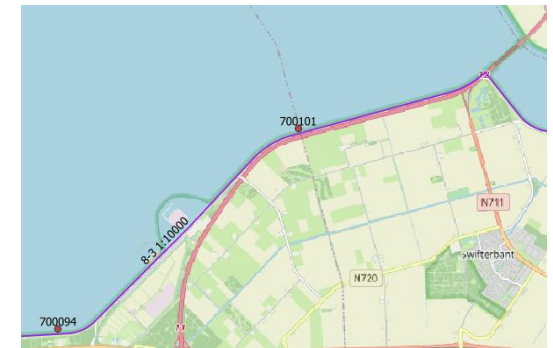
Geen User Interface: hoe ziet de invoer er dan uit?

- Invoer via tekst-bestand
- Som uitvoeren via batch-bestand
- Analyse resultaten via SQLite-Browser
 - Over controle op convergentie uit
 - Als FORM niet convergeert: andere rekentechniek, bv Directional Sampling

```
1..1.sql
23 DELETE FROM [Breakwaters];
24
25 INSERT INTO [HydraulicModels] VALUES (1, 1, 'WTI2017');
26 INSERT INTO [Sections] VALUES (1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 700101, 700101, 100, 345, 0);
27 INSERT INTO [SectionCalculationSchemes] VALUES (1, 101, 1);
28 INSERT INTO [DesignTables] VALUES (1, 101, 1, 1, 3, 15, 0, 3.4, 3.4, 0.2, 0, 0, 0);
29 INSERT INTO [Numerics] VALUES (1, 101, 1, 1, 421, 1, 0, 500, 0.15, 0.005, 0.005, 0.005, 1, 3, 100, 40000, 0.1, 0.0, 6.0, 60);
30 INSERT INTO [Numerics] VALUES (1, 101, 1, 1, 422, 1, 0, 500, 0.15, 0.005, 0.005, 0.005, 1, 3, 100, 40000, 0.1, 0.0, 6.0, 60);
31 INSERT INTO [Numerics] VALUES (1, 101, 1, 1, 423, 1, 0, 500, 0.15, 0.005, 0.005, 0.005, 1, 3, 100, 40000, 0.1, 0.0, 6.0, 60);
32
33 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 1, 3, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --reekstype;
34 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 2, 48, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --basisduur;
35 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 3, 2, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --piekduur;
36 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 4, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --getijamplitude;
37 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 5, 0.25, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --dt_in;
38 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 6, 1.0, 19, 1.0, 0.07, 0.0, 5.0, 1, 0.00, 300); --varf_runp;
39 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 7, 0.0, 19, 0.0, 1.00, -1.0, 5.0, 1, 0.00, 300); --varf_Dload;
40 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 10, 0.333, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --slope;
41 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 11, 1.92, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --berm_level;
42 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 12, 7, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --berm_length;
43 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 13, 5.1, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --crest_height;
44 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 14, 345, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --dike_normal;
45 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 15, 3.4, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --htrans;
46 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 16, 0.1, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --dz;
47 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 20, 900, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEKB_dt;
48 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 21, 8.0, 19, 8.0, 1.00, 0.0, 12.0, 1, 0.00, 300); --GEKB_U_c;
49 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 22, 1.1, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEKB_alpha_m;
50 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 23, 1.4, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEKB_alpha_a;
51 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 24, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEKB_alpha_s;
52 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 25, 1.45, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEKB_cu;
53 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 26, 7000, 19, 7000.0, 700.00, 0.0, 10000, 1, 0.00, 300); --GEKB_Dcrit;
54 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 30, 900, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_dt;
55 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 31, 6.6, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_U_c;
56 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 32, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_alpha_m_trans;
57 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 33, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_alpha_s_trans;
58 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 34, 1.1, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_cu;
59 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 35, 7000, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_Dcrit;
60 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 36, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_alpha_m_slope;
61 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 37, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_RU_alpha_s_slope;
62 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 40, 900, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_dt;
63 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 41, 1.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_a;
64 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 42, -0.035, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_b;
65 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 43, 0.25, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_c;
66 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 44, 0.5, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_Fsand;
67 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 45, 0.6, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_Dcombined;
68 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 46, 20, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_Lambda1;
69 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 47, 0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --GEBU_WI_Lambda2;
70 INSERT INTO [VariableDatAs] VALUES (1, 101, 1, 1, 500, 0.0, 0, 0.0, 0.00, NULL, NULL, 1, 0.00, 300); --dummy;
71
72
73 INSERT INTO [SectionFaultTreeModels] VALUES (1, 101, 1, 1, 1017);
74
75 -- INSERT INTO [CalcWindDirections] VALUES (1, 101, 1, 0);
```

En wat komt daar dan uit? (1)

- Voor 1 doorsnede in normtraject 8-3, 700101
- Observatie:
 - GEKB (net) dominant
 - Binnen GEBU oploop dominant
 - GEBU sterk gecorreleerd
- Sterke correlatie GEKB-GEBU impliceert effectief een faalkansbijdrage voor GEBU richting de 29%
- Dus orde 5 keer soepeler eis: van 1/600.000 naar orde 1/120.000

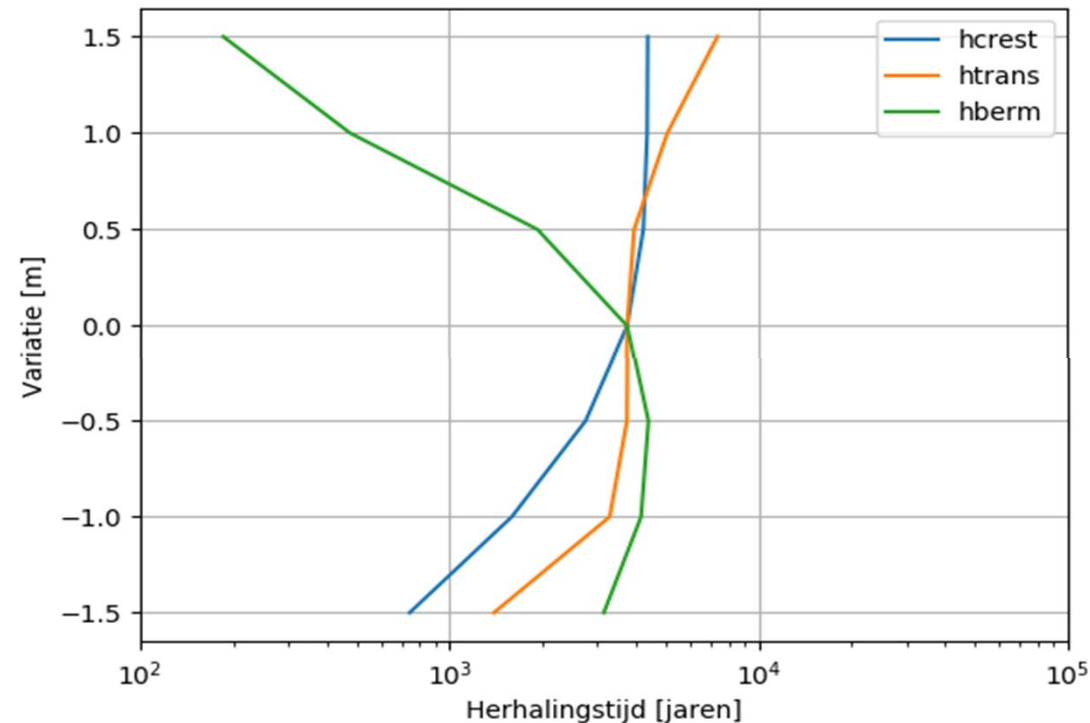


Windrichting [graden t.o.v. Noord]	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5
GEKB	5.59	6.75	8.97	11.05	10.25	10.69	10.10	10.09
GEBU-oploop	5.68	6.85	8.90	10.07	11.81	14.02	10.10	10.09
GEBU-klap	6.61	7.89	8.51	10.08	10.09	10.10	10.10	10.09
GEBU-oploop+klap	5.68	6.85	8.50	10.01	10.09	10.10	10.10	10.09
GEKB+GEBU-oploop+klap	5.59	6.75	8.50	10.01	10.08	10.10	10.10	10.09

Windrichting [graden t.o.v. Noord]	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
GEKB	10.09	13.36	9.08	7.84	6.21	5.31	4.98	4.99
GEBU-oploop	10.09	13.06	8.79	7.83	6.48	5.55	5.16	5.09
GEBU-klap	10.09	10.08	13.50	9.94	7.16	6.17	5.90	5.98
GEBU-oploop+klap	10.09	10.08	8.79	7.83	6.48	5.55	5.16	5.09
GEKB+GEBU-oploop+klap	10.09	10.08	8.79	7.82	6.21	5.31	4.98	4.98

En wat komt daar dan uit? (2)

- Voor 1 doorsnede in normtraject 8-3 gevarieerd met:
 - Kruinhoogte
 - Overgang hard/gras
 - Hoogte berm
- Observatie:
 - Meer dan 0,5 meter hogere kruin levert geen veilige dijk op (blijkbaar is GEBU dan dominant)
 - Hogere overgang pas effectief als deze minimaal 0,5 meter verhoogd wordt (bij lagere overgang is GEKB dominant)
- Blijf resultaten controleren op convergentie (en gebruik eventueel duurdere rekentechnieken)



Doorkijk naar rest van Nederland (1)

- Gecombineerd beoordelen van GEBU en GEKB is vooral zinnig als
 - er een sterke correlatie is tussen het optreden van beide mechanismen, of
 - er een grote oversterkte is op 1 van beide mechanismen
- Correlatie tussen beide mechanismen is sterk als er een correlatie is tussen waterstanden en golfcondities, denk aan:
 - Oostelijke oevers van de Meren
 - Waddenzee en estuaria
- Veelal is het effect het grootst voor GEBU (hoogte overgang), want bij volledige correlatie wordt 29% in plaats van 4% kansruimte gebruikt voor GEBU
- Daarnaast kan toepassen zuivere cumulatieve overbelasting benadering voor GEKB effect hebben

Doorkijk naar rest van Nederland (2)

- Tool is ontwikkeld voor Waterschap Zuiderzeeland en gevalideerd voor traject 8-3
- Gebruik andere trajecten/watersystemen is mogelijk (maar niet gevalideerd)
- Toepasbaarheid hangt vooral af van het watersysteem (en relevante schematisatie tijdsverloop belasting)
- Een schematisatie van tijdsverlopen belastingen beschikbaar voor:
 - IJsselmeer
 - Bovenrivieren
 - Kust en estuaria
- Kies hierbij bewust voor een schematisatie/waarden van de tijdsverlopen voor de belasting (trapezium is ook maar een benadering)

Doorkijk naar rest van Nederland (3)

- Tool is ontwikkeld voor Waterschap Zuiderzeeland en gevalideerd voor traject 8-3
- Op verzoek van Waterschap Zuiderzeeland wordt de tool beschikbaar gesteld voor andere trajecten
- Uitlevering ten behoeve van gebruik voor andere trajecten/watersystemen kan via:
 - Verzoek naar Alfons.Smale@Deltares.nl met een CC naar: d.smeenge@zuiderzeeland.nl
 - Na ondertekening gebruikersovereenkomst is de tool kosteloos te gebruiken (met eerder genoemde beperkingen qua toepassingsgebied)

Contact

 www.deltares.nl

 [@deltares](https://twitter.com/deltares)

 [linkedin.com/company/deltares](https://www.linkedin.com/company/deltares)

 info@deltares.nl

 [@deltares](https://www.instagram.com/deltares)

 [facebook.com/deltaresNL](https://www.facebook.com/deltaresNL)

