

Bijlagenboek 9.13

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II

Projectomschrijving	Versterking Markermeerdijken		
Documentnummer	AMMD-005499		
Bedrijfsonderdeel	Markt- en Productontwikkeling		
Werkpakket	WP-00123 - Bewezen sterkte-methodiek		
Status	Definitief		
Revisie	1.0	Revisiedatum	10-7-2018

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



ALLIANTIE MARKERMEERDIJKEN

Pagina 2 van 60
Revisiedatum 10-7-2018
Documentnummer AMMD-005499

Autorisatiekader

Opsteller	Controleur	Vrijgever
A.W. van der Meer Ben Castricum	Ben Castricum	Erica Nijpels

Documenthistorie

Versienummer	Versiedatum	Omschrijving
0.1	20 april 2018	Concept 01
0.2	26 april 2018	Wijzigingen na opmerkingen en controle berekeningen Deltares
0.3	3 mei 2018	Tekstuele verduidelijking na opmerkingen AMMD. Titel gewijzigd in 'Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II'
1.0	10 juli 2018	Definitieve versie

Inhoudsopgave

1	Deel I: Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel van deze rapportage	6
1.3	Werkwijze	7
1.4	Leeswijzer	7
2	Deel II - HE7B Oosterkoog	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Basisgegevens HE7B	8
2.3	Aanpak	9
2.4	Deterministische basissom HE7B	10
2.5	Gevoeligheidsanalyse HE7B	11
2.6	Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE7B	12
2.7	(Scenario's HE7B)	15
2.8	Keuze waterstand HE7B	15
2.9	Bepalen kritieke glijvlakken HE7B	16
2.10	FORM-analyse per kritiek glijvlak HE7B	16
2.11	"Uitintegreren" HE7B	17
2.12	Duiding resultaten probabilistische som HE7B	18
2.13	Overleefde situatie	19
2.14	Bewezen sterkte HE7B	19
2.15	Duiding resultaten bewezen sterkte HE7B	20
3	Deel III - HE8A Etersheim	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Basisgegevens HE8A	21
3.3	Aanpak	22

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II

**ALLIANTIE MARKERMEERDIJKEN**

Pagina	Revisiedatum	Documentnummer
4 van 60	10-7-2018	AMMD-005499

3.4	Deterministische basissom HE8A	23
3.5	Gevoeligheidsanalyse HE8A	24
3.6	Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE8A	24
3.7	(Scenario's HE8A)	27
3.8	Keuze waterstand HE8A	28
3.9	Bepalen kritieke glijvlakken HE8A	28
3.10	FORM-analyse per kritiek glijvlak HE8A	29
3.11	"Uitintegreren" HE8A	30
3.12	Duiding resultaten probabilistische som HE8A	30
3.13	Overleefde situatie	31
3.14	Bewezen sterkte HE8A	32
3.15	Duiding resultaten bewezen sterkte HE8A	33
4	Deel IV - HE9B Warder	34
4.1	Inleiding	34
4.2	Basisgegevens HE9B	34
4.3	Aanpak	35
4.4	Deterministische basissom HE9B	36
4.5	Gevoeligheidsanalyse HE9B	37
4.6	Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE9B	38
4.7	(Scenario's HE9B)	41
4.8	Keuze waterstand HE9B	41
4.9	Bepalen kritieke glijvlakken HE9B	42
4.10	FORM-analyse per kritiek glijvlak HE9B	43
4.11	"Uitintegreren" HE9B	44
4.12	Duiding resultaten probabilistische som HE9B	44
4.13	Overleefde situatie	45
4.14	Bewezen sterkte HE9B	46

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II

**ALLIANTIE MARKERMEERDIJKEN**

Pagina	Revisiedatum	Documentnummer
5 van 60	10-7-2018	AMMD-005499

4.15	Duiding resultaten bewezen sterkte HE9B	47
5	Deel V - HE12 Edam	48
5.1	Inleiding	48
5.2	Basisgegevens HE12	48
5.3	Aanpak	49
5.4	Deterministische basissom HE12	50
5.5	Gevoeligheidsanalyse HE12	51
5.6	Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE12	52
5.7	(Scenario's HE12)	55
5.8	Keuze waterstand HE12	55
5.9	Bepalen kritieke glijvlakken HE12	56
5.10	FORM-analyse per kritiek glijvlak HE12	56
5.11	"Uitintegreren" HE12	57
5.12	Duiding resultaten probabilistische som HE12	58
5.13	Bewezen sterkte HE12	59
6	Referenties	60

1 Deel I: Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van het project Versterking Markermeerdijken wordt verkent of in de ontwerpogave van de versterking opgenomen dijksecties, die in de toetsing het oordeel onvoldoende hebben gekregen op het faalmechanisme macrostabiliteit, op basis van een overleefde situatie het oordeel voldoende kunnen krijgen op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Dit rapport bevat de probabilistische en 'bewezen sterkte' berekeningen van de vier in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** aangegeven dijksecties. In de rapportage zijn de gebruikte uitgangspunten, resultaten en een korte duiding van de resultaten opgenomen.

Afbeelding 1 Beschouwde secties.



1.2 Doel van deze rapportage

Doel van deze rapportage is verkennen of het toepassen van probabilistische berekeningen en 'bewezen sterkte' tot het verkleinen van de versterkingsopgave kan leiden. Dit rapport dient als

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina	Revisiedatum	Documentnummer
7 van 60	10-7-2018	AMMD-005499

input voor een verantwoordingsrapportage, van waaruit voor de berekeningsresultaten naar deze rapportage wordt verwezen.

1.3 Werkwijze

De volgende stappen zijn uitgevoerd:

- 1 Omzetten deterministische ontwerpberekeningen uit het ontwerp van het AMMD naar deterministische berekeningen die bruikbaar zijn voor de probabilistic toolkit;
- 2 Uitvoeren van een probabilistische berekening;
- 3 Updaten van de met de probabilistische berekening gevonden faalkans op basis van fictieve overleefde situaties.

1.4 Leeswijzer

De vier beschouwde dijksecties zijn opgenomen in vier aparte hoofdstukken (hoofdstukken 2 t/m 5).

2 Deel II - HE7B Oosterkoog

2.1 Inleiding

De dijksectie HE7B is onderdeel van het project Versterking Markermeerdijken en is afgekeurd op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Aan de buitenzijde van de dijk is een hoog voorland (hoogteligging ongeveer NAP-0,5 m) aanwezig met een voorlanddam (hoogteligging minima ongeveer NAP+0 m). Tijdens de harde oostenwind van 8 januari 2018 (lokale waterstand ongeveer NAP+0,09 m) is de voorlanddam overgelopen en heeft er water aan de dijk gestaan.

Afbeelding 2 Situatie 8 januari 2018 - Voorland Oosterkoog.



2.2 Basisgegevens HE7B

De dijkdoorsnede is berekend is Dijk 23 DP25+90. De gegevens zijn afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel: DoV-Tool 3.1.0_M5 HE-7B 0-var DEF.xlsm. Deze doorsnede maakt deel uit van de sectie HE-7B en ligt in het dijktraject 13-8. De locatie van deze doorsnede en de gegevens van het traject zijn opgenomen in Afbeelding 3 en Tabel 1.

Tabel 1 Gegevens dijktraject 13-8.

Parameters	Waarde
Normtraject [-]	13-8
P_{norm} , maximaal toelaatbare faalkans [1/jaar]	1/1000
Trajectlengte [m]	11.600
ω [-]	0,24
$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$3,0 \cdot 10^{-5}$
$\beta_{eis,dsn}$ [β/jaar]	4,0
$\gamma_{n,eis}$	1,01

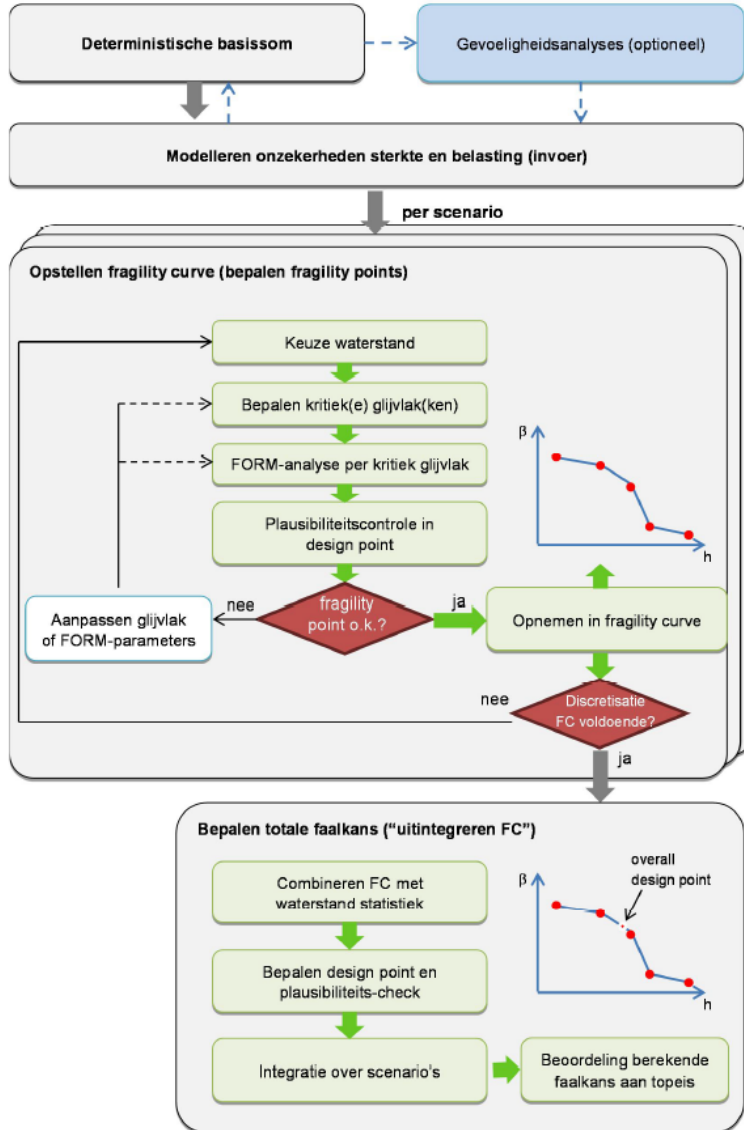
Afbeelding 3 Dijktraject 13-8, dijkvak HE-7.



2.3 Aanpak

De probabilistische som is uitgevoerd volgens de methodiek uit de Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieliteit, versie oktober 2017 [ref. 1]. Het stroomschema van de methodiek is opgenomen in Afbeelding 4. Elke stap uit de methodiek is opgenomen in een separaat hoofdstuk (hoofdstukken 2.4 t/m 2.12).

Afbeelding 4 Stroomschema faalkansanalyse macrostabiliteit met fragility curves.



2.4 Deterministische basissom HE7B

De beschouwde doorsnede is een kleidijk. De geometrie en grondopbouw is opgenomen in Afbeelding 5. Er is geen verkeersbelasting meegenomen. Het maatgevende glijvlak loopt grotendeels door de dikke kleilaag, Klei Calais.

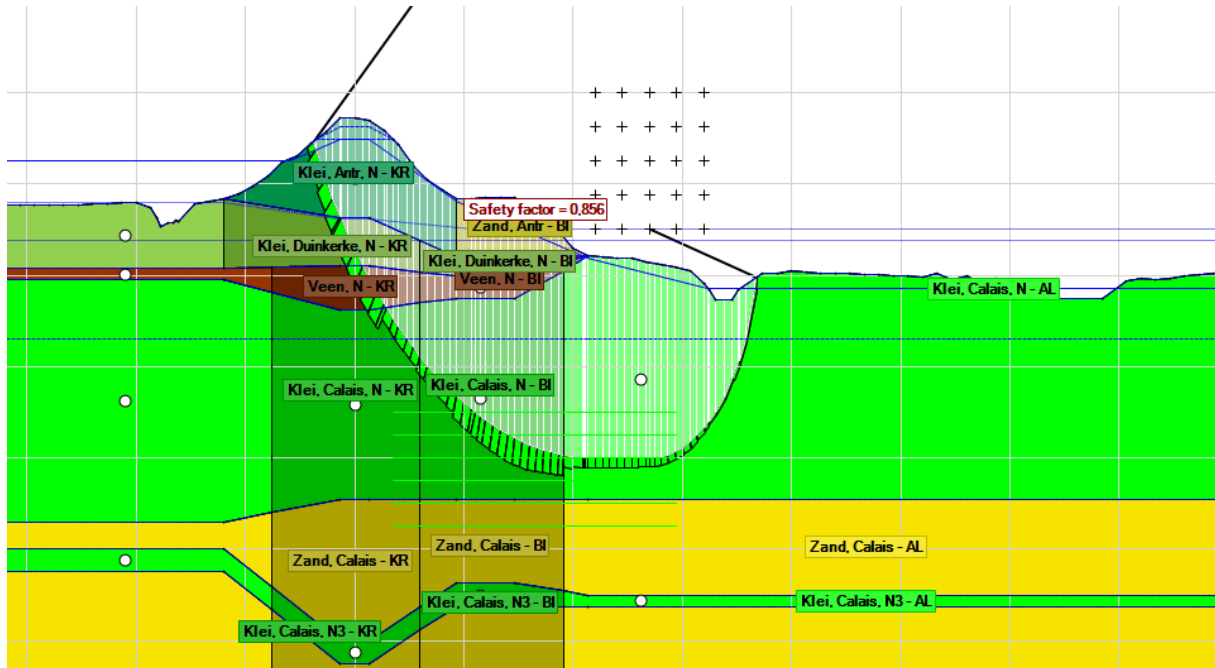
De berekende schadefactor van de deterministische som is 0,81¹. Volgens de kalibratiestudie van het WBI betekent dit een betrouwbaarheid van:

$$\beta = \frac{\gamma_n - 0,41}{0,15} = \frac{0,81 - 0,41}{0,15} = 2,68$$

¹Geen schematiseringsfactor meegenomen i.v.m. vergelijking probabilistische berekening

Dit komt overeen met een faalkans van 1/(300 jaar). De vereiste betrouwbaarheid voor de betreffende doorsnede is 4,0 wat overeenkomt met een faalkans van 1/(30.000 jaar).

Afbeelding 5 Basissom HE7B (Dijk 23 DP25+90).



2.5 Gevoeligheidsanalyse HE7B

Tabel 2 Sommen gevoeligheidsstudie.

Waterstand	Opmerkingen	Grondparameters en waterspanningen	Unity check ²
Peil bij norm		Karakteristieke waarden	0,81 (=0,86/1,06)
Peil bij norm		Gemiddelde waarden	1,58 (=1,68/1,06)
Dagelijks		Karakteristieke waarden	0,83 (=0,88/1,06)
Extreem hoogwater		Karakteristieke waarden	0,79 (=0,84/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak, door de veenlaag	Karakteristieke waarden	1,92 (=2,04/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak door de klei Duinkerke laag	Karakteristieke waarden	2,06 (=2,18/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak door de klei antropogeen en zand antropogeen laag	Karakteristieke waarden	1,76 (=1,87/1,06)

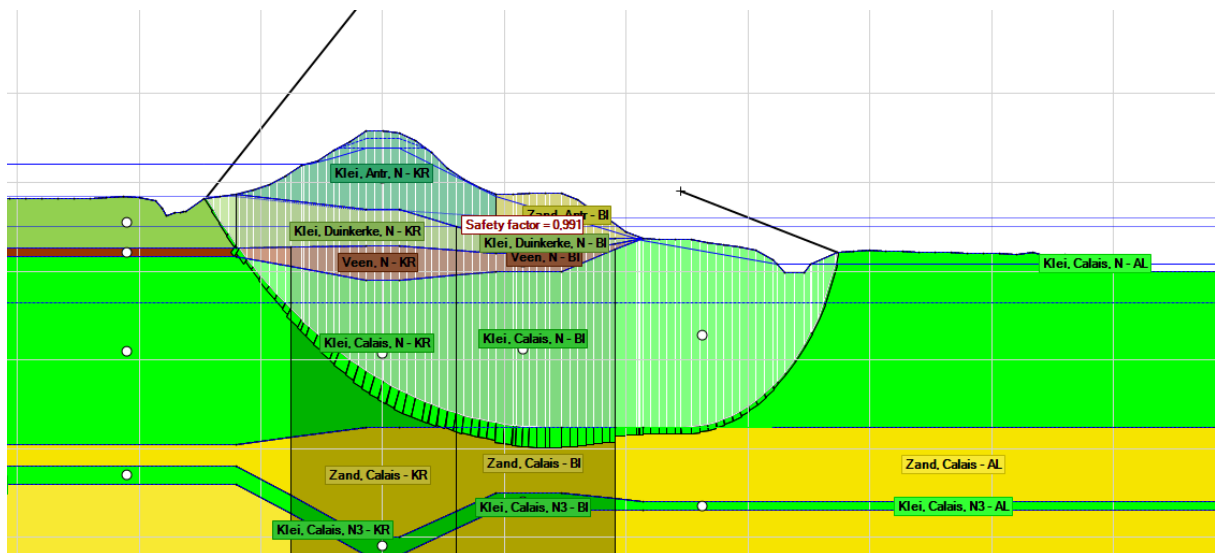
²1,06 is de modelfactor

Pagina	Revisiedatum	Documentnummer
12 van 60	10-7-2018	AMMD-005499

Waterstand	Opmerkingen	Grondparameters en waterspanningen	Unity check ²
Peil bij norm	Vastgezet diep glijvlak vanuit het voorland door de klei Calais	Karakteristieke waarden	0,93 (=0,99/1,06)

Uit de gevoeligheidsstudie is te zien dat er een lichte waterstandsafhankelijkheid is en dat alternatieve ondiepere glijvlakken een significant hogere stabiliteitsfactor hebben. Een diepere glijcirkel vanuit het voorland onder de gehele dijk (Afbeelding 6) heeft een iets hogere glijcirkel en is ook met een probabilistische berekening beschouwd.

Afbeelding 6 Alternatieve glijcirkel HE7B (Dijk 23 DP25+90).



2.6 Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE7B

De onzekerheden van de sterkte en belastingparameters zijn in dit hoofdstuk opgenomen. Per parameter is omschreven hoe deze in de probabilistische som is meegenomen. De volgende parameters zijn behandeld:

- Geometrie en zakkingen;
- Bodemopbouw;
- Volumegewicht, γ ;
- Sterkteparameters:
 - Schuifsterkteratio, S ;
 - Sterktetoename exponent, m ;
 - Effectieve grensspanning, σ'_{grens} ;
 - Hoek van inwendige wrijving, \square ;
- Hydraulische belasting/waterspanningen:
 - Buitenwaterstand;
 - Freatische lijn;
 - Waterspanning watervoerende lagen;
 - Waterstandsverloop slecht doorlatende lagen;
- Verkeersbelasting;
- Modelonzekerheid;

- Correlaties;

Geometrie en zakkingen

De geometrie is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 2.4). Zakkingen zijn niet expliciet meegenomen.

Bodemopbouw

De bodemopbouw is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 2.4).

Volumegewicht, γ

Het volumegewicht is als determinist meegenomen volgens de deterministische som.

Schuifsterkteratio, S

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 3 Verdeling schuifsterkte ratio, S .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen	NORM	0,470	0,03	0,45
Klei Antropogeen	NORM	0,303	0,05	0,22
Klei Duinkerke	NORM	0,333	0,05	0,25
Klei Calais	NORM	0,303	0,05	0,22

Sterkte toename exponent, m

De sterkte toename exponent is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 4 Verdeling sterkte toename exponent, m .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen	NORM	0,9	0,03	0,85
Overig	NORM	0,883	0,05	0,80

Effectieve grensspanning, σ'_y

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en afgeleid uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 3.1.0_M5 HE-7B 0-var DEF.xlsm. De gemiddelde grensspanning is in overeenstemming met de voorgaande berekeningen [ref. 3] berekend via de karakteristieke grensspanning. De grensspanningen zijn gecorreleerd in de verticaal. De berekeningswijze is als volgt: *De verdeling van de grensspanning is verkregen op basis van de karakteristieke waarde, variatie coëfficiënt en dagelijkse effectieve spanning die zijn berekend in de VO fase van het versterkingsproject op basis van de Dijken op Veen methode. De gemiddelde waarde is dus teruggerekend. De dagelijkse effectieve spanning is de shift aangezien de grensspanning nooit lager kan zijn dan de dagelijkse effectieve spanning. De verdeling is zodoende een lognormale verdeling omdat deze verdeling het niet mogen overschrijden van een ondergrens het best benadert. De ondergrens is in dit geval de dagelijkse effectieve spanning.*

Tabel 5 Grensspanning HE7B berekend via de gemiddelde ongedraineerde schuifsterkte³.

X-coördinaat	Y-coördinaat	Verdeling	Shift [kPa]	μ [kPa]	VC [-]	Kar [kPa]
79	-2.25	LOGN	6	30	0,25	20
79	-3.95	LOGN	12	27	0,25	19
79	-9.5	LOGN	42	71	0,25	52
79	-16.5	LOGN	90	131	0,25	100
100	0.23	LOGN	26	162	0,25	107
100	-2.55	LOGN	41	146	0,25	98
100	-4.55	LOGN	46	71	0,25	53
100	-9.65	LOGN	82	121	0,25	92
100	-20.5	LOGN	187	246	0,25	197
111.5	-3.6	LOGN	32	179	0,25	118
111.5	-4.5	LOGN	34	127	0,25	85
111.5	-9.4	LOGN	60	124	0,25	87
111.5	-18	LOGN	129	178	0,25	139
126.2	-8.58	LOGN	17	39	0,25	27
126.2	-18.25	LOGN	82	121	0,25	92

Hoek van inwendige wrijving, ϕ

De hoek van inwendige wrijving is meegenomen als stochast en deze is volledig gecorreleerd per grondlaag aangenomen.

Tabel 6 Verdeling hoek van inwendige wrijving.

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde
Zand	NORM	32,5	1,5	30,05

Buitenwaterstand

De buitenwaterstand is berekend met Hydra-NL.

Tabel 7 Buitenwaterstand in [m] t.o.v. NAP voor hydraulisch uitvoerpunt MM_2_13-8_dk_01428.

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m t.o.v. NAP]
1	-0,33
10	0,326
30	0,429

³ De lichtgrijs gemarkeerde grensspanningspunten bevinden zich niet in het relevante gebied voor het kritieke glijvlak en zijn dus als determinist (laag karakteristieke waarde) meegenomen

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina 15 van 60
Revisiedatum 10-7-2018
Documentnummer AMMD-005499

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m t.o.v. NAP]
100	0,541
300	0,647
1.000	0,775
3.000	0,903
10.000	1,058
30.000	1,217
100.000	1,404

Freatische lijn & Stijghoogte doorlatende lagen (aquifers)

De bodemopbouw is als determinist meegenomen. De numerieke waardes zijn opgenomen in hoofdstuk 2.8.

Waterstandsverloop in slecht doorlatende lagen

De indringingslengte is meegenomen als determinist met een waarde van 7,0 meter volgens het ontwerp van de Markermeerdijken.

Verkeersbelasting

Verkeersbelasting is conform het WBI2017 niet meegenomen in deze analyse.

Modelonzekerheden

Er is gerekend met het model uplift-van. De modelfactor is overgenomen uit de handreiking faalkansanalyse macrostabiliteit [ref. 1].

Tabel 8 Parameters van de kansverdeling van de modelonzekerheid ($1/m_d$), [ref. 1].

Model	μ_{md} [-]	σ_{md} [-]
Uplift-Van	1,005	0,033

2.7 (Scenario's HE7B)

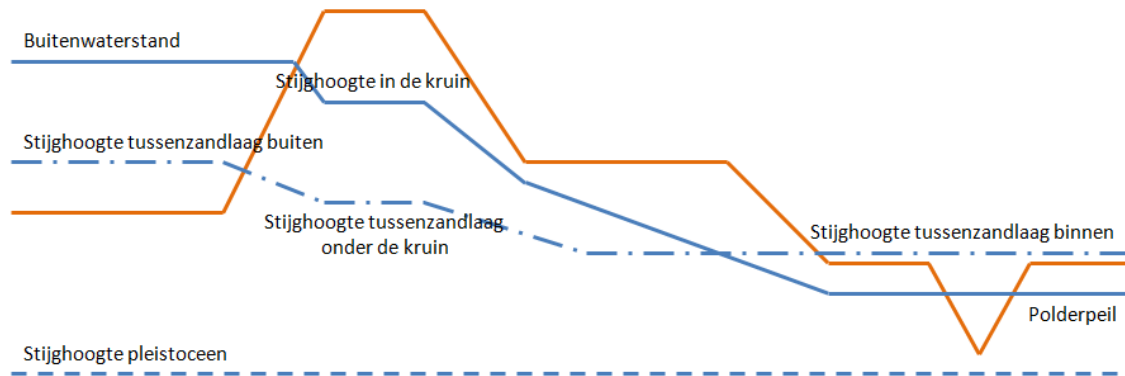
Er is in deze studie één scenario beschouwd, namelijk geen significante golfoverslag. Er wordt dus niet gerekend met infiltratie door golfoverslag omdat de terugkeertijd behorende bij significante golfoverslag ($q > 1,0$ l/s/m) klein is (orde 10^5 jaar). Het effect van het scenario met significante golfoverslag is dus klein en 'optimistisch' niet meegenomen.

2.8 Keuze waterstand HE7B

Er worden drie waterstanden beschouwd:

- 4 NAP-0,4 meter (dagelijkse waterstand);
- 5 NAP+1,0 meter (peil bij norm);
- 6 NAP+1,7 meter (zeer extreme waterstand).

Afbeelding 7 Verloop waterspanningen.



Het verloop van de waterstand gegeven de buitenwaterstand is afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 3.1.0_M5 HE-7B 0-var DEF.xlsm, gegeven in de onderstaande tabel. De stijghoogtes voor de extreme waterstand zijn geëxtrapoleerd.

Tabel 9 Waterspanningen HE7B voor situatie zonder infiltratie door golfoverslag in [m] t.o.v. NAP.

Buitenwaterstand	-0,4	1,0	1,7
Stijghoogte in de kruin	1.15	1.95	2.35
Polderpeil	-4.6	-4.6	-4.6
Stijghoogte tussenzandlaag buiten	-2.45	-0.8	0.025
Stijghoogte tussenzandlaag onder de kruin	-2.45	-1.55	-1.1
Stijghoogte tussenzandlaag binnen	-2.45	-2	-1.775
Stijghoogte pleistoceen	-3.1	-2.5	-2.2

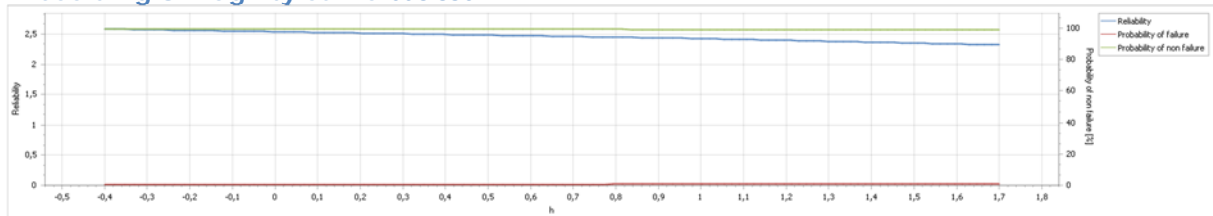
2.9 Bepalen kritieke glijvlakken HE7B

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat ondiepere glijvlakken dan het maatgevende glijvlak een significant hogere stabiliteitsfactor hebben. Het in de deterministische som gevonden kritieke glijvlak is in de probabilistische berekening als maatgevend glijvlak verondersteld. Gegeven de onzekerheid in de grensspanning is tevens een berekening met optimistische waarde van de grensspanning (afgeleide grensspanning +10 kPa) gemaakt. Om de gevoeligheid van een gunstigere observatie fragility curve ten opzichte van de beoordelings-fragility curve te onderzoeken is tevens een fictieve observatie fragility curve berekend (waterspanning freatische lijn en stijghoogte zandlaag -0,2 m) Daarnaast is ook een alternatief dieper glijvlak berekend (Afbeelding 6). Dit glijvlak heeft een hogere stabiliteitsfactor, maar ook een grotere waterstandsafhankelijkheid. Voor de 'reliability updating' kan dit glijvlak dus maatgevend zijn.

2.10 FORM-analyse per kritiek glijvlak HE7B

De fragility curve en invloedscoëfficiënten van de berekeningen zijn opgenomen in de onderstaande tabel en afbeeldingen.

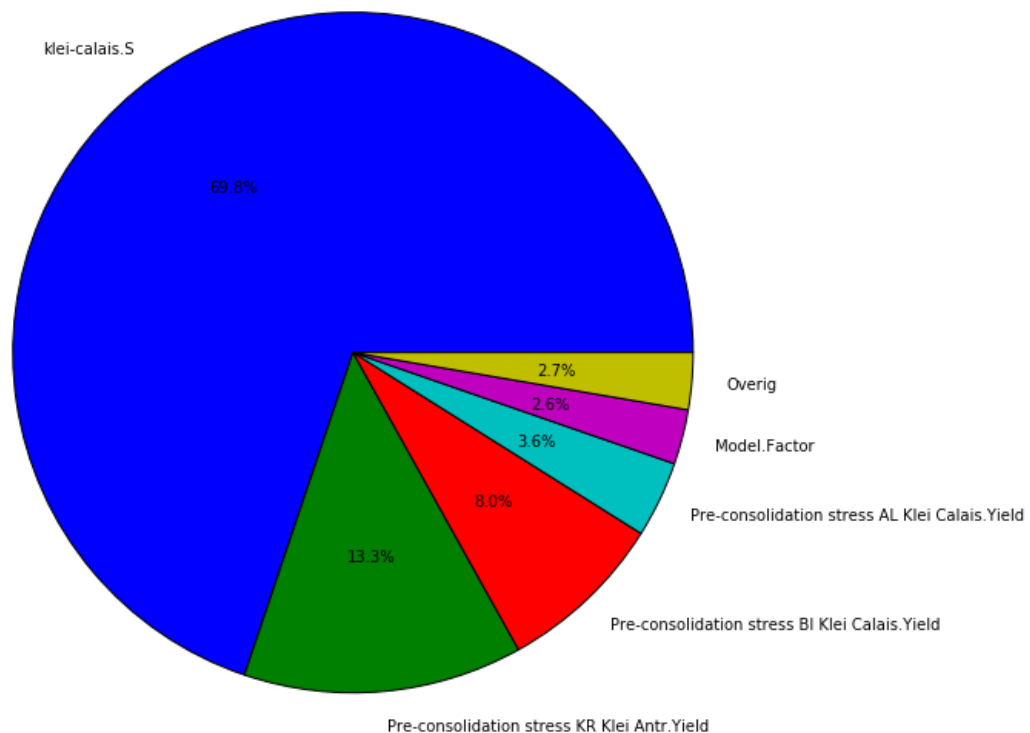
Afbeelding 8 Fragility curve basissom HE7B.



Tabel 10 Betrouwbaarheid HE7B conditioneel op de waterstand.

Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand basissom	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand optimistische POP	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand fictieve observatie	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand alternatief glijvlak
-0,4	2,59	3,03	2,63	2,96
1,0	2,43	2,88	2,48	2,53
1,7	2,32	2,79	2,37	2,24

Afbeelding 9 Invloedscoëfficiënten basissom HE7B voor berekening conditioneel op buitenwaterstand NAP+ 1,0 m.



2.11 "Uitintegreren" HE7B

De fragility curves zijn i geïntegreerd met de verdeling van de waterstand, als opgenomen in Tabel 7. De resultaten zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

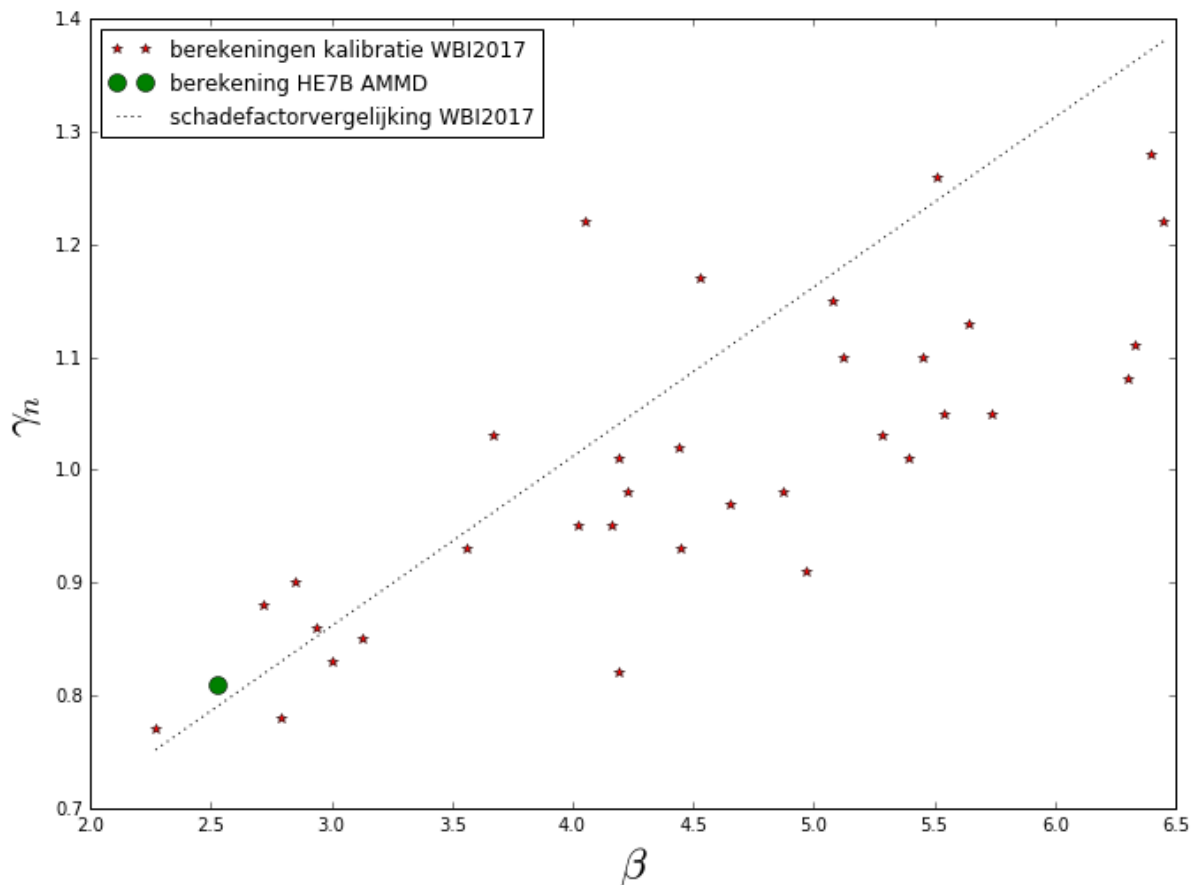
Tabel 11 Resultaten probabilistische som HE7B.

Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , basissom	Betrouwbaarheid, β , optimistische POP	Betrouwbaarheid, β , fictieve observatie	Betrouwbaarheid, β , alternatief glijvlak
-0,4	2,59	3,03	2,63	2,96
1,0	2,43	2,88	2,48	2,53
1,7	2,32	2,79	2,37	2,24
Geïntegreerd	2,53	2,96	n.v.t.	2,82

2.12 Duiding resultaten probabilistische som HE7B

Het resultaat van de probabilistische som komt overeen met het resultaat van de deterministische som (kalibratiestudie). De klei Calais laag is dominant, de invloed van de andere grondlagen beperkt is. Het alternatieve glijvlak heeft een grotere betrouwbaarheid maar ook een grotere waterstandsafhankelijkheid. Net als voor het glijvlak in de basissom is voor het alternatieve glijvlak de invloed van de schuifsterkte ratio S dominant. Het falen van het glijvlak in de basissom is dus in hoge mate gecorreleerd met het falen van het alternatieve glijvlak.

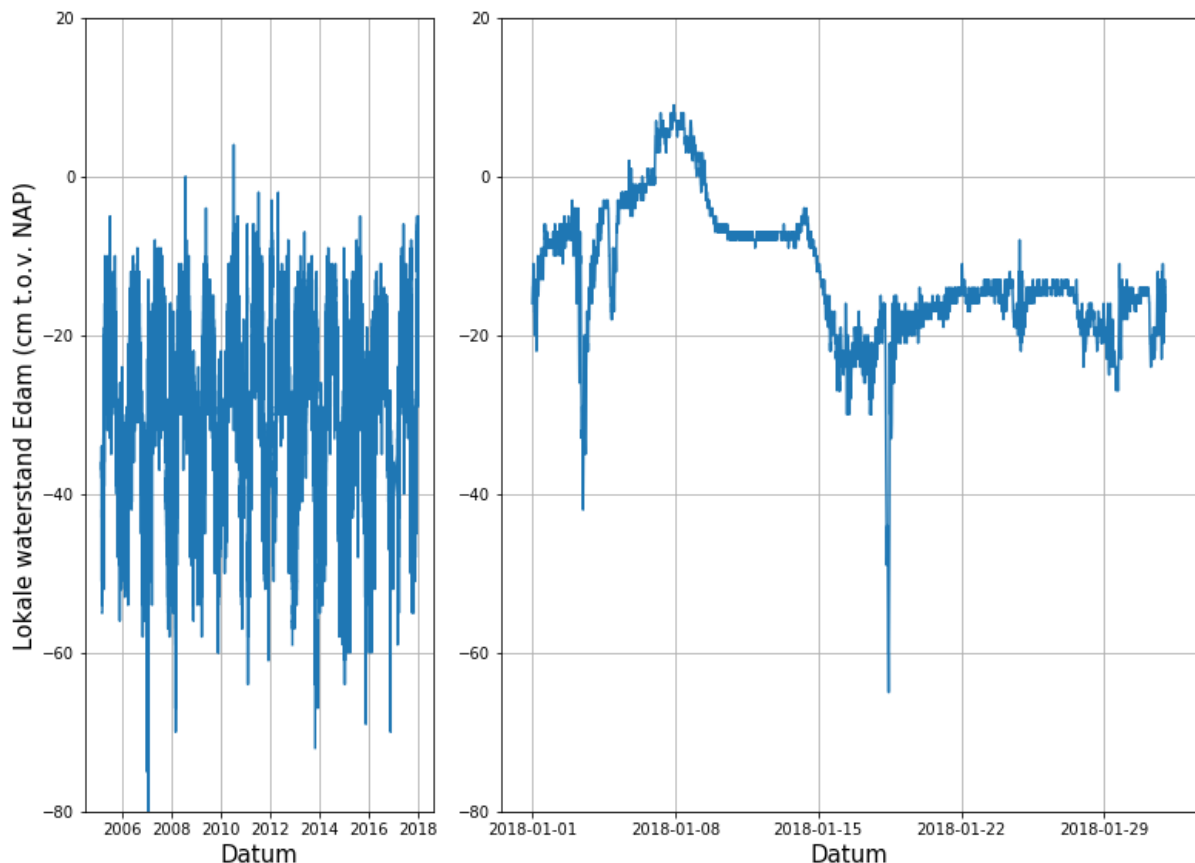
Afbeelding 10 Resultaat basissom HE7B in verhouding met kalibratie WBI2017.



2.13 Overleefde situatie

De overleefde situatie heeft plaatsgevonden op 8 januari 2018, Afbeelding 2. Het waterstandsverloop (meetpunt Edam) is weergegeven in Afbeelding 11. De waterstand is maximaal NAP+0,09 m. In 1998 heeft de dijk een waterstand van NAP+0,18 m overleefd.

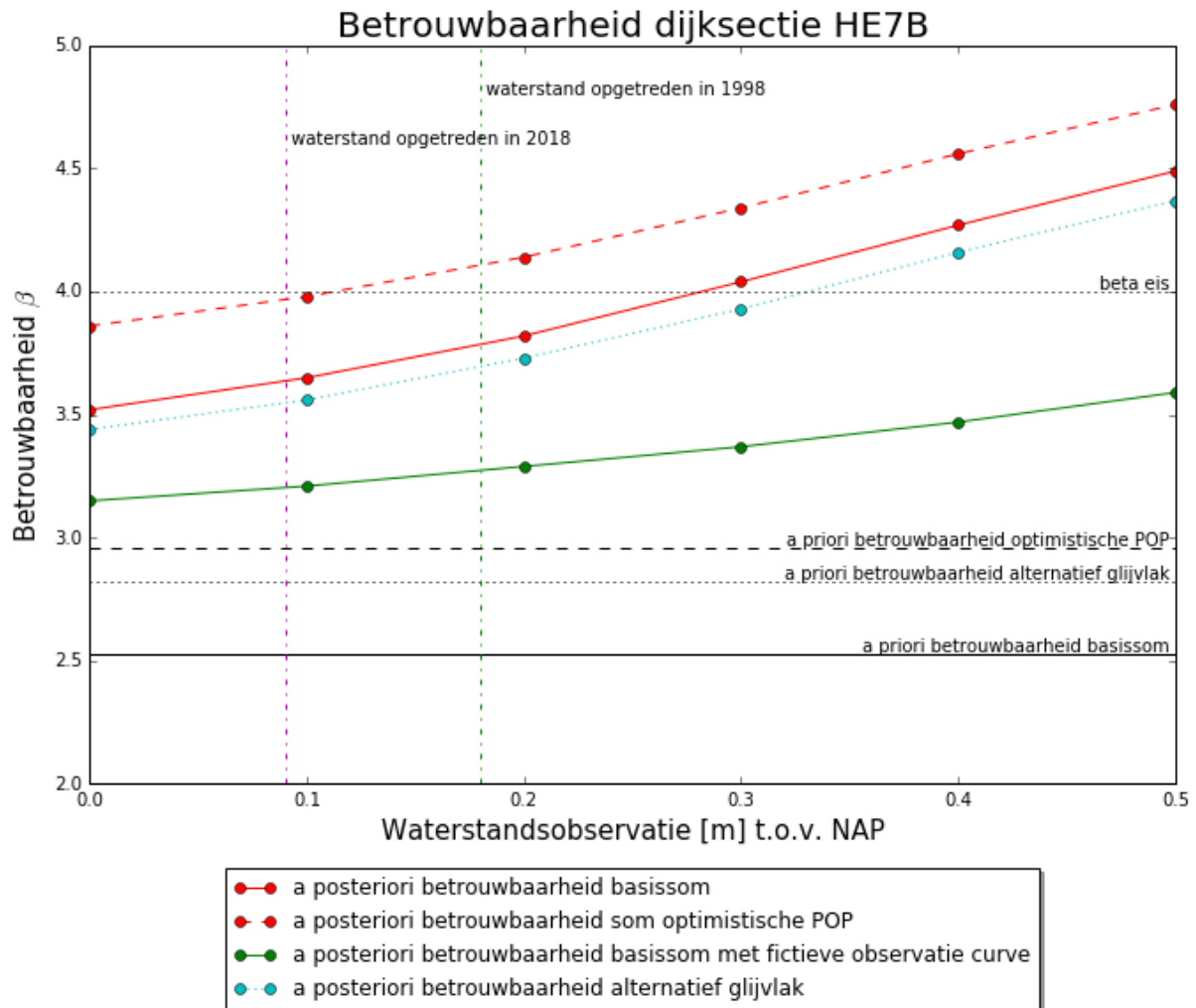
Afbeelding 11 Waterstand Edam (download: waterinfo.rws.nl).



2.14 Bewezen sterkte HE7B

De betrouwbaarheid van de doorsnede is geüpdate gegeven een waterstandsobservatie van NAP+0 m tot NAP+0,5 m. Er is geen degradatie van de dijk meegenomen. De fragility curve observatie is dus gelijk aangenomen aan de fragility curve van de beoordeling (hoofdstuk 2.10). Aangezien de bepaling van de POP veel onzekerheden heeft is tevens gerekend met 1) een optimistische POP en 2) een observatie met waterspanningen (freatische lijn en stijghoogtes) 0,2 m lager dan de beoordelings-schematisatie om tot een robuuste conclusie te komen. Tevens het alternatieve glijvlak is beschouwd. Het resultaat is opgenomen in Afbeelding 12.

Afbeelding 12 Betrouwbaarheid gegeven observatie HE7B.



2.15 Duiding resultaten bewezen sterkte HE7B

De geüpdate, a posteriori, faalkans is significant hoger dan de a priori faalkans. De faalkans is gegeven een overleefde buitenwaterstand van NAP+0,3 m aantoonbaar voldoende klein. Met optimistische inschatting van de POP bij NAP+0,12. Gegeven een positievere schematisatie van de overleefde situatie reduceert de winst van de update significant. Het a priori betrouwbaardere alternatieve glijvlak is a posteriori net maatgevend als gevolg van de grotere waterstandsafhankelijkheid.

3 Deel III - HE8A Etersheim

3.1 Inleiding

De dijksectie HE8A is onderdeel van het project Versterking Markermeerdijken en is afgekeurd op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Tijdens de harde oostenwind van 8 januari 2018 (lokale waterstand ongeveer NAP+0,09 m) is de voorlanddam overgelopen en heeft er water aan de dijk gestaan. In 1998 is de dijk belast met een buitenwaterstand van NAP+0,18 m.

Deze probabilistische berekening is gemaakt in een eerdere fase van het spoor bewezen sterkte en overgenomen in deze rapportage. De stap bewezen sterkte is in deze rapportage toegevoegd.

3.2 Basisgegevens HE8A

De dijkdoorsnede is berekend is DP28+90. De gegevens zijn afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel: DoV-Tool 3.1.0_M6 HE-8A1 ontwerp3_def. Deze doorsnede maakt deel uit van de sectie HE-8A1&2 en ligt in het dijktraject 13-8. De locatie van deze doorsnede en de gegevens van het traject zijn opgenomen in Afbeelding 13 en Tabel 12.

Tabel 12 Gegevens dijktraject 13-8.

Parameters	Waarde
Normtraject [-]	13-8
P_{norm} , maximaal toelaatbare faalkans [1/jaar]	1/1000
Trajectlengte [m]	11.600
ω [-]	0,24
$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$3,0 \cdot 10^{-5}$
$\beta_{eis,dsn}$ [β/jaar]	4,0
$Y_{n,eis}$	1,01

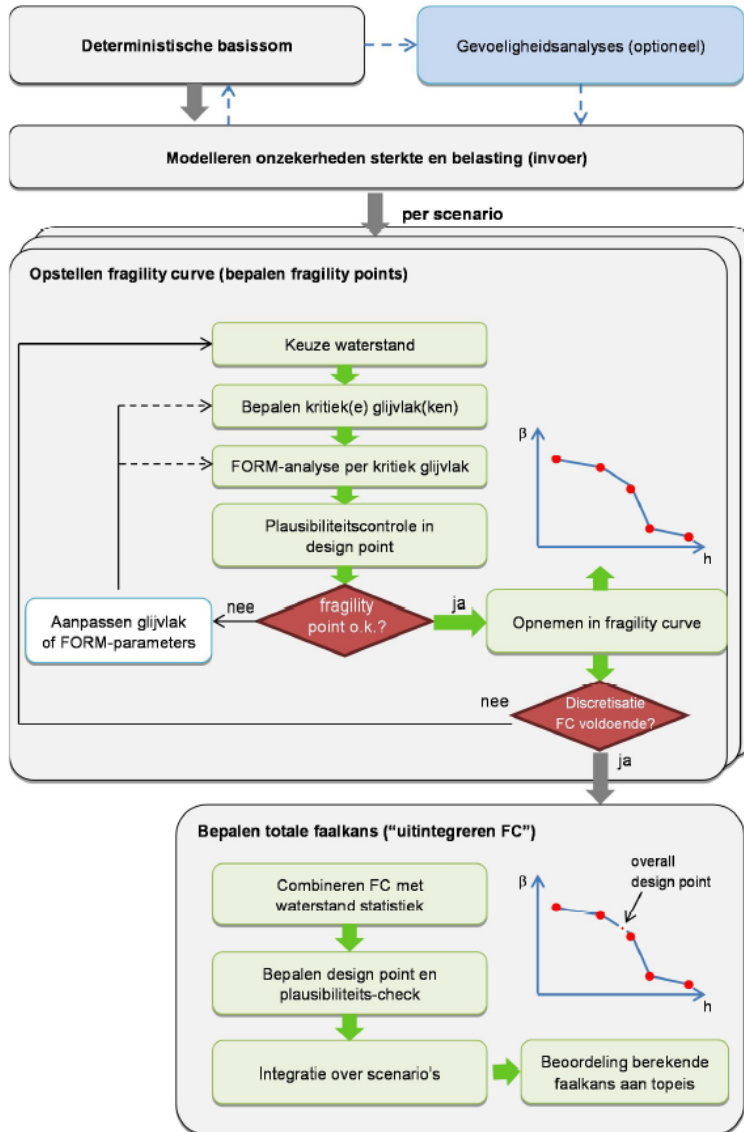
Afbeelding 13 Dijktraject 13-8, dijkvak HE-8A.



3.3 Aanpak

De probabilistische som is uitgevoerd volgens de methodiek uit de Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieliteit, versie oktober 2017 [ref. 1]. Het stroomschema van de methodiek is opgenomen in Afbeelding 14. Elke stap uit de methodiek is opgenomen in een separaat hoofdstuk (hoofdstukken 3.4 t/m 3.12).

Afbeelding 14 Stroomschema faalkansanalyse macrostabiliteit met fragility curves.



3.4 Deterministische basissom HE8A

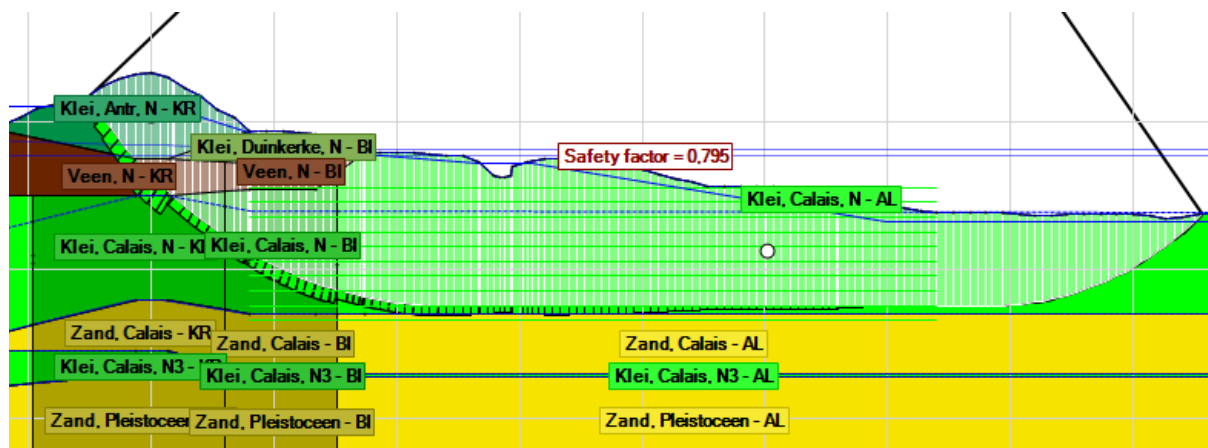
De beschouwde doorsnede is een kleidijk. De geometrie en grondopbouw is opgenomen in Afbeelding 15. Er is geen verkeersbelasting meegenomen. Het maatgevende glijvlak loopt grotendeels door de dikke kleilaag, Klei Calais.

De berekende schadefactor van de deterministische som is 0,74. Volgens de kalibratiestudie van het WBI betekent dit een betrouwbaarheid van:

$$\beta = \frac{\gamma_n - 0,41}{0,15} = \frac{0,74 - 0,41}{0,15} = 2,2$$

Dit komt overeen met een faalkans van 1/(72 jaar). De vereiste betrouwbaarheid voor de betreffende doorsnede is 4,0 wat overeenkomt met een faalkans van 1/(30.000 jaar).

Afbeelding 15 Basissom HE8A (DP28+90).



3.5 Gevoeligheidsanalyse HE8A

Tabel 13 Sommen gevoeligheidsstudie HE8A.

Waterstand	Opmerkingen	Grondparameters en waterspanningen	Unity check
Peil bij norm		Karakteristieke waarden	0,74 = (0,795 / 1,07)
Dagelijks		Karakteristieke waarden	0,78 = (0,835 / 1,07)
Dagelijks		Gemiddelde waarden	1,48 = (1,582 / 1,07)
Extreem hoogwater		Karakteristieke waarden	0,71 = (0,756 / 1,07)
Peil bij norm	Vastgezet diep glijvlak (Klei Calais N3)	Karakteristieke waarden	1,39 = (1,485 / 1,07)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak (Klei, Duinkerke)	Karakteristieke waarden	1,83 = (1,956 / 1,07)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak (Veen)	Karakteristieke waarden	1,43 = (1,533 / 1,07)

Uit de gevoeligheidsstudie is te zien dat er een lichte waterstandsafhankelijkheid is en dat alternatieve glijvlakken een significant hogere stabiliteitsfactor hebben.

3.6 Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE8A

De onzekerheden van de sterkte en belastingparameters zijn in dit hoofdstuk opgenomen. Per parameter is omschreven hoe deze in de probabilistische som is meegenomen. De volgende parameters zijn behandeld:

- Geometrie en zakkingen;
- Bodemopbouw;

- Volumegewicht, γ ;
- Sterkteparameters:
 - Schuifsterkteratio, S ;
 - Sterktetoename exponent, m ;
 - Effectieve grensspanning, σ'_{grens} ;
 - Hoek van inwendige wrijving, ϕ ;
- Hydraulische belasting/waterspanningen:
 - Buitenwaterstand;
 - Freatische lijn;
 - Waterspanning watervoerende lagen;
 - Waterstandsverloop slecht doorlatende lagen;
- Verkeersbelasting;
- Modelonzekerheid;
- Correlaties;

Geometrie en zakkingen

De geometrie is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 3.4). Zakkingen zijn niet expliciet meegenomen.

Bodemopbouw

De bodemopbouw is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 3.4).

Volumegewicht, γ

Het volumegewicht is als determinist meegenomen volgens de deterministische som.

Schuifsterkteratio, S

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 14 Verdeling schuifsterkte ratio S .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde
Veen	NORM	0,470	0,03	0,45
Klei Antropogeen	NORM	0,303	0,05	0,22
Klei Duinkerke	NORM	0,333	0,05	0,25
Klei Calais	NORM	0,303	0,05	0,22

Sterkte toename exponent, m

De sterkte toename exponent is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 15 Verdeling sterkte toename exponent, m .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen	NORM	0,9	0,03	0,85
Overig	NORM	0,883	0,05	0,80

Effectieve grensspanning, σ'_y

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en afgeleid uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 3.1.0_M6 HE-8A1 ontwerp3_def.xlsm. De gemiddelde grensspanning is in overeenstemming met de voorgaande berekeningen [ref. 3] berekend via de karakteristieke grensspanning. De grensspanningen zijn gecorreleerd in de verticaal. De berekeningswijze is als volgt: *De verdeling van de grensspanning is verkregen op basis van de karakteristieke waarde, variatie coëfficiënt en dagelijkse effectieve spanning die zijn berekend in de VO fase van het versterkingsproject op basis van de Dijken op Veen methode. De gemiddelde waarde is dus teruggerekend. De dagelijkse effectieve spanning is de shift aangezien de grensspanning nooit lager kan zijn dan de dagelijkse effectieve spanning. De verdeling is zodoende een lognormale verdeling omdat deze verdeling het niet mogen overschrijden van een ondergrens het best benadert. De ondergrens is in dit geval de dagelijkse effectieve spanning.*

Tabel 16 Grensspanning berekend via de karakteristieke ongedraineerde schuifsterkte.

X-coördinaat	Y-coördinaat	Verdeling	Shift [kPa]	μ [kPa]	VC ⁴ [-]	5%-waarde [kPa]
54,20	-3,19582	LOGN	0,34	27,74	0,25	17,97
54,20	-9,75	LOGN	30,87	70,87	0,25	49,10
54,20	-16,75	LOGN	78,58	116,89	0,25	88,58
100,00	0,436385	LOGN	37,80	128,39	0,25	86,30
100,00	-3,75	LOGN	51,85	86,81	0,25	63,46
100,00	-8,5	LOGN	84,25	107,46	0,25	87,58
100,00	-16,25	LOGN	156,90	210,76	0,25	166,90
108,10	-1,7029	LOGN	4,60	144,96	0,25	94,08
108,10	-3,7	LOGN	9,73	77,86	0,25	51,05
108,10	-8,8	LOGN	37,37	104,17	0,25	70,89
108,10	-17,25	LOGN	108,32	152,95	0,25	118,32
150,20	-8,68862	LOGN	8,37	35,09	0,25	23,37
150,20	-17,1	LOGN	37,11	136,12	0,25	91,15

Hoek van inwendige wrijving, ϕ

De hoek van inwendige wrijving is meegenomen als stochast en deze is volledig gecorreleerd per grondlaag aangenomen.

Tabel 17 Verdeling hoek van inwendige wrijving.

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde
Zand	NORM	32,5	1,5	30,05

⁴Afgerond naar 0,25 voor alle grensspanningspunten.

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina 27 van 60
Revisiedatum 10-7-2018
Documentnummer AMMD-005499

Buitenwaterstand

De buitenwaterstand is berekend met Hydra-NL.

Tabel 18 Buitenwaterstand in [m] t.o.v. NAP voor hydraulisch uitvoerpunt MM_2_13-8_dk_01416.

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m t.o.v. NAP]
1	-0,330
10	0,309
30	0,413
100	0,526
300	0,653
1.000	0,761
3.000	0,890
10.000	1,045
30.000	1,204
100.000	1,392

Freatische lijn & Stijghoogte doorlatende lagen (aquifers)

De waterspanningen zijn als determinist meegenomen. De numerieke waarden zijn opgenomen in hoofdstuk 3.8.

Waterstandsverloop in slecht doorlatende lagen

De indringingslengte is meegenomen als determinist met een waarde van 7,0 meter volgens het ontwerp van de Markermeerdijken.

Verkeersbelasting

Verkeersbelasting is conform het WBI2017 niet meegenomen in deze analyse.

Modelonzekerheden

Conform handreiking faalkansanalyse macrostabiliteit [ref. 1].

Tabel 19 Parameters van de kansverdeling van de modelonzekerheid ($1/m_d$), [ref. 1].

Model	μ_{md} [-]	σ_{md} [-]
Uplift-Van	1,005	0,033

3.7 (Scenario's HE8A)

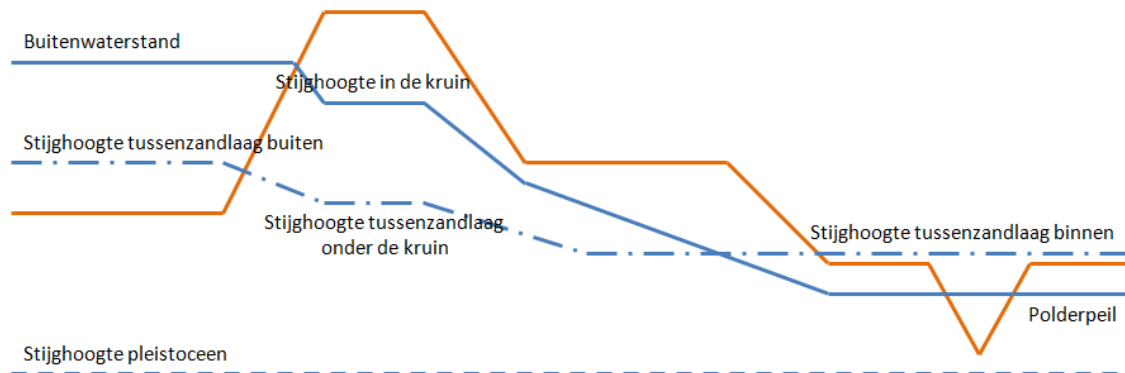
Er is in deze studie één scenario beschouwd, namelijk geen significante golfoverslag. Er wordt dus niet gerekend met infiltratie door golfoverslag omdat de terugkeertijd behorende bij significante golfoverslag ($q > 1,0$ l/s/m) klein is (8000 jaar). Het effect van het scenario met significante golfoverslag is (optimistisch) verwaarloosbaar verondersteld.

3.8 Keuze waterstand HE8A

Er worden drie waterstanden beschouwd:

- 7 NAP-0,4 meter (dagelijkse waterstand);
- 8 NAP+1,0 meter (peil bij norm);
- 9 NAP+1,7 meter (zeer extreme waterstand).

Afbeelding 16 Verloop waterspanningen.



Het verloop van de waterspanningen gegeven de buitenwaterstand (voor buitenwaterstand NAP-0,4 m en NAP+1,0 m) is afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 3.1.0_M6 HE-8A1 ontwerp3_def.xlsm, gegeven in de onderstaande tabel. De stijghoogtes voor de extreme waterstand (NAP+1,7 m) zijn geëxtrapoleerd.

Tabel 20 Waterspanningen HE8A voor situatie zonder infiltratie door golfoverslag in [m] t.o.v. NAP.

Buitenwaterstand	-0,4	1,0	1,7
Stijghoogte in de kruin	0,85	1,00	1,70
Polderpeil	-2,80	-2,80	-2,80
Stijghoogte tussenzandlaag buiten	-2,40	-1,28	-0,77
Stijghoogte tussenzandlaag onder de kruin	-2,40	-1,56	-1,14
Stijghoogte tussenzandlaag binnen	-2,40	-1,91	-1,66
Stijghoogte pleistoceen	-2,80	-2,24	-1,96

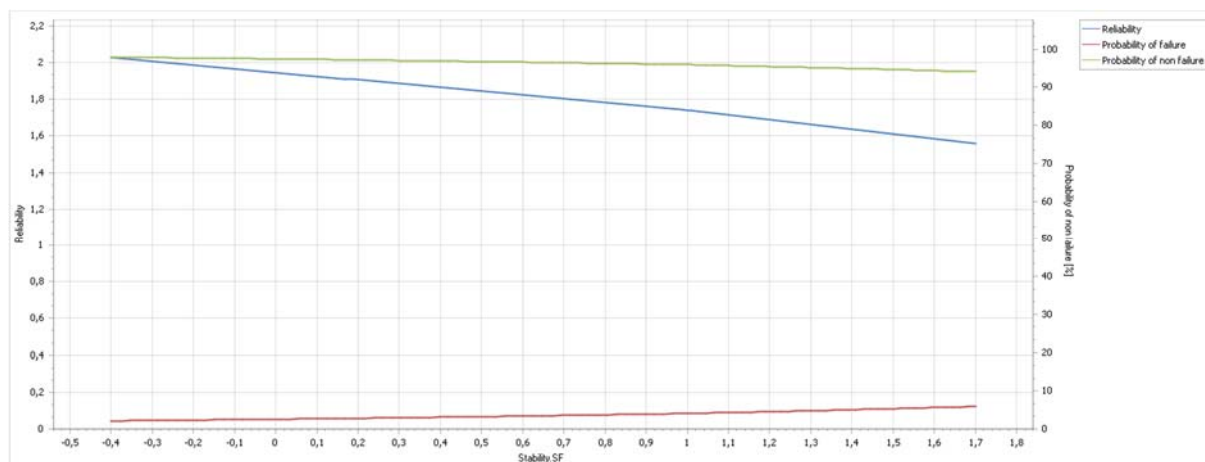
3.9 Bepalen kritieke glijvlakken HE8A

De stabiliteitsfactor van het in de deterministische som gevonden maatgevende glijvlak is significant lager dan de stabiliteitsfactoren van alternatieve glijvlakken (hoofdstuk 3.5). Het in de deterministische som gevonden glijvlak wordt in de probabilistische som beschouwd als het enige kritieke glijvlak. Gegeven de onzekerheid in de grensspanning is tevens een berekening met optimistische waarde van de grensspanning (afgeleide grensspanning +10 kPa) gemaakt.

3.10 FORM-analyse per kritiek glijvlak HE8A

De fragility curves en invloedscoëfficiënten van het kritieke glijvlak zijn opgenomen in de onderstaande tabel en afbeeldingen.

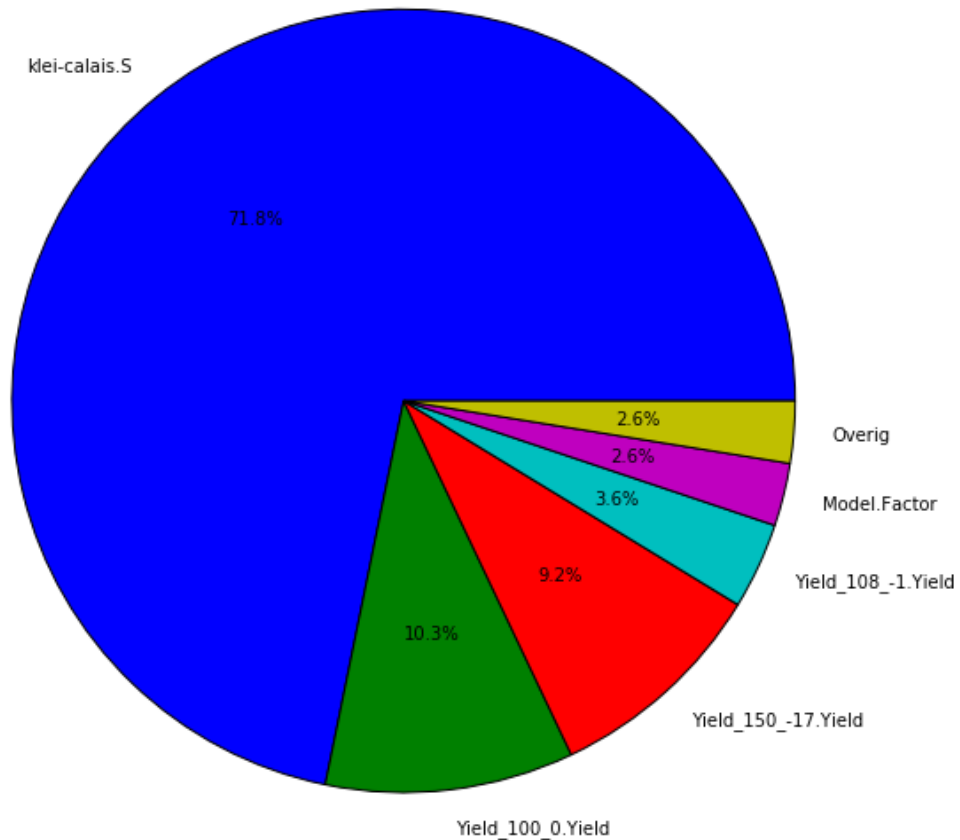
Afbeelding 17 Fragility curve basissom HE8A.



Tabel 21 Betrouwbaarheid HE8A conditioneel op de waterstand.

Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand basissom	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand optimistische POP
-0,4	2,03	2,58
1,0	1,74	2,31
1,7	1,56	2,15

Afbeelding 18 Invloedscoëfficiënten basissom HE8A voor berekening conditioneel op buitenwaterstand NAP+ 1,0 m.



3.11 "Uitintegreren" HE8A

De fragility curve is geïntegreerd met de verdeling van de waterstand, als opgenomen in Tabel 18. De resultaten zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

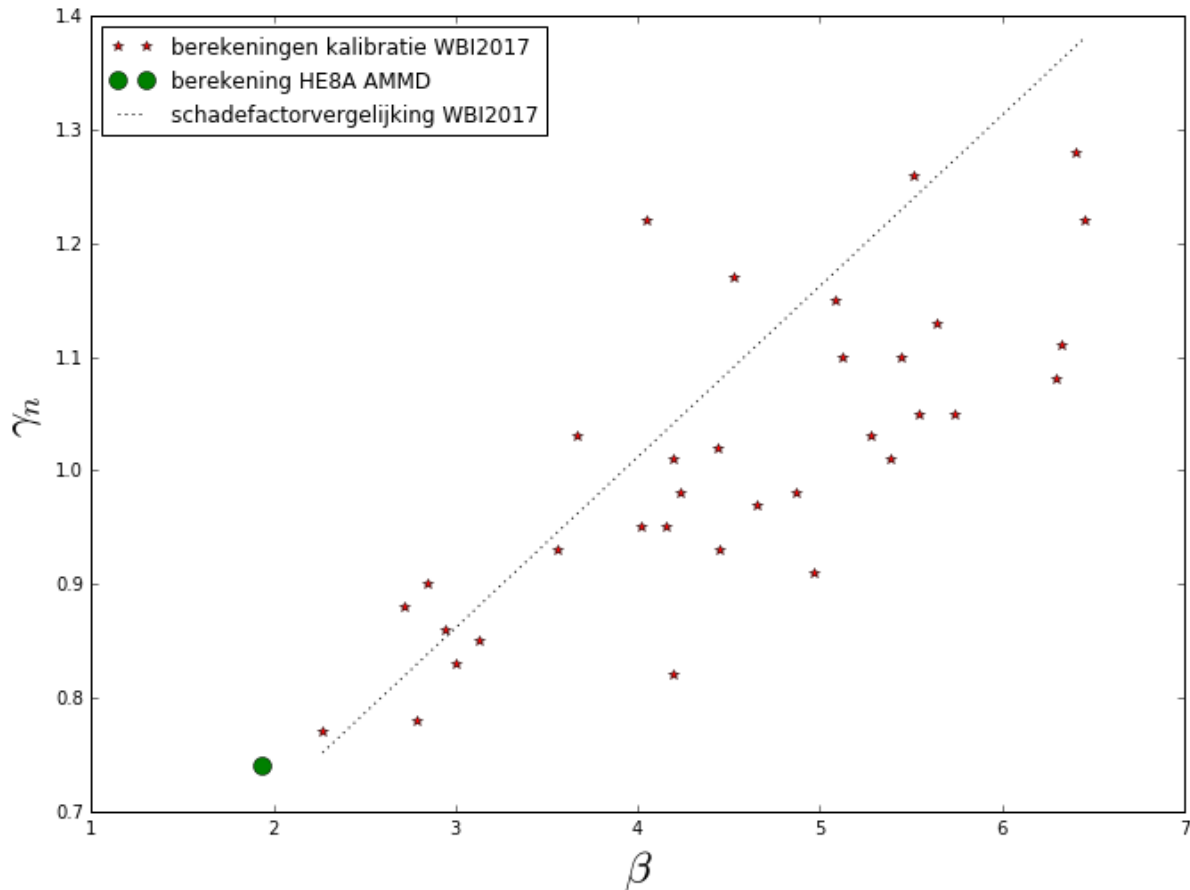
Tabel 22 Resultaten probabilistische som.

Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , basissom	Betrouwbaarheid, β , optimistische POP
-0,4	2,03	2,58
1,0	1,74	2,31
1,7	1,56	2,15
Geïntegreerd	1,94	2,49

3.12 Duiding resultaten probabilistische som HE8A

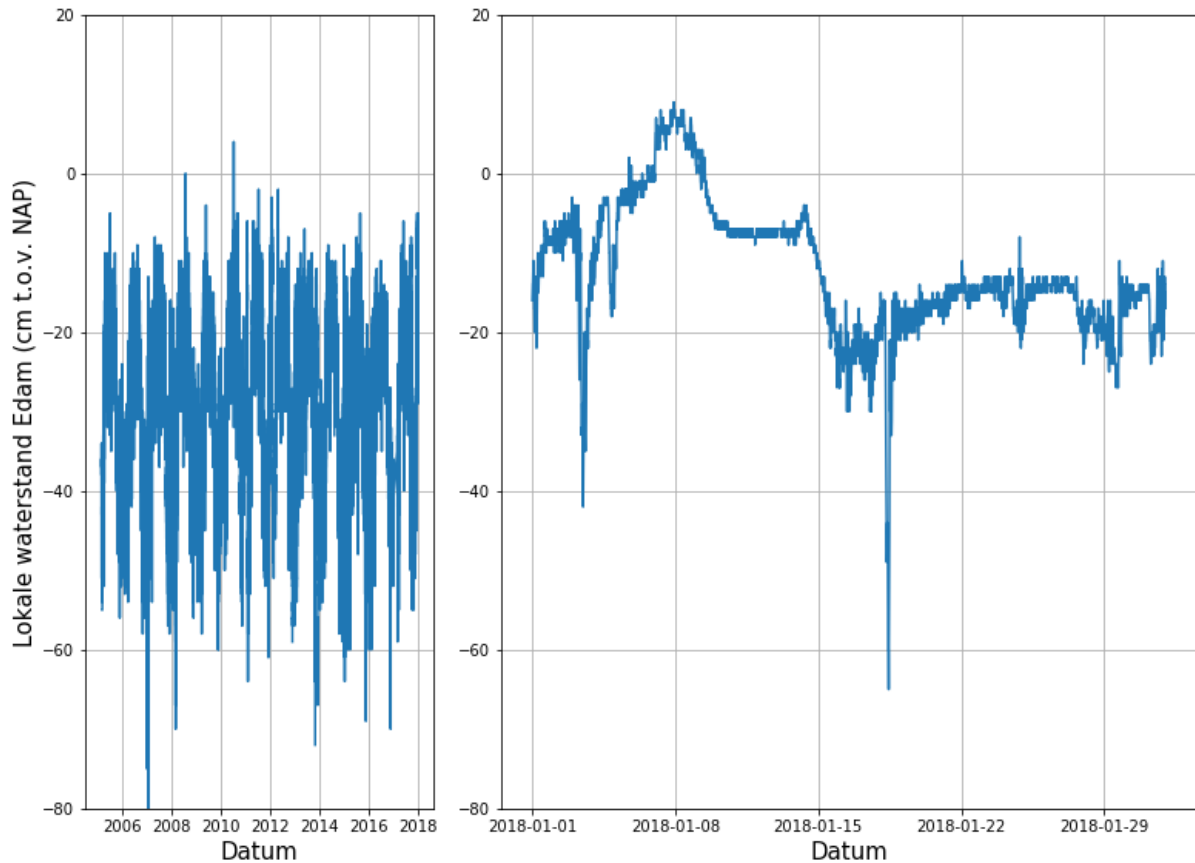
Het resultaat van de probabilistische som komt overeen met het resultaat van de deterministische som (kalibratiestudie). De klei Calais laag is dominant, de invloed van de andere grondlagen beperkt is.

Afbeelding 19 Resultaat berekening HE8A in verhouding met kalibratie WBI2017.



3.13 Overleefde situatie

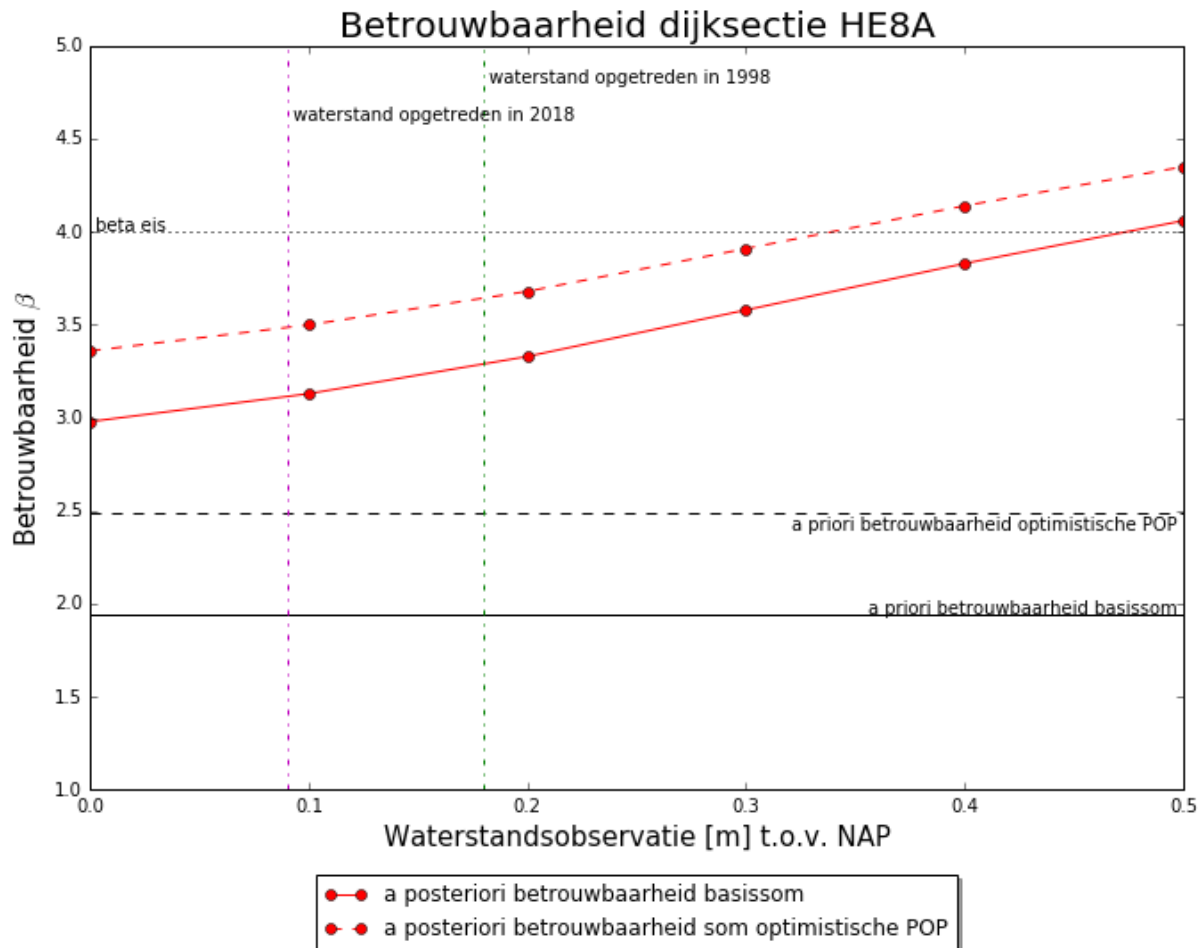
De overleefde situatie heeft plaatsgevonden op 8 januari 2018, Afbeelding 2. Het waterstandsverloop (meetpunt Edam) is weergegeven in Afbeelding 11. De waterstand is maximaal NAP+0,09 m. In 1998 heeft de dijk een waterstand van NAP+0,18 m overleefd.

Afbeelding 20 Waterstand Edam (download: waterinfo.rws.nl).**3.14 Bewezen sterkte HE8A**

De betrouwbaarheid van de doorsnede is geüpdate gegeven een waterstandsobservatie van NAP+0 m tot NAP+0,5 m. Er is geen degradatie van de dijk meegenomen. De fragility curve observatie is dus gelijk aangenomen aan de fragility curve van de beoordeling (hoofdstuk 3.10). Aangezien de bepaling van de POP veel onzekerheden heeft is tevens gerekend met een optimistische POP⁵ om tot een robuuste conclusie te komen. Het resultaat is opgenomen in Afbeelding 27.

⁵ Voor alle grensspanningpunten is bij de gemiddelde grensspanning 10 kPa opgeteld.

Afbeelding 21 Betrouwbaarheid gegeven observatie HE8A.



3.15 Duiding resultaten bewezen sterkte HE8A

Ten opzichte van de betrouwbaarheid uit de probabilistische berekening kan significant geoptimaliseerd worden op basis van de overleefde situatie (NAP+0,09 m in 2018 en NAP+0,18 m in 1998). Aangezien de betrouwbaarheid uit de deterministische som significant lager is dan de vereiste betrouwbaar is de optimalisatie echter niet groot genoeg om hoger uit te komen dan de betrouwbaarheidseis. Met optimistische uitgangspunten blijft de a posteriori betrouwbaarheid lager dan de vereiste betrouwbaarheid.

4 Deel IV - HE9B Warder

4.1 Inleiding

De dijksectie HE9B is onderdeel van het project Versterking Markermeerdijken en is afgekeurd op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Tijdens de harde oostenwind van 8 januari 2018 (lokale waterstand ongeveer NAP+0,09 m) is de voorlanddam overgelopen en heeft er water aan de dijk gestaan. In 1998 is de dijk belast met een buitenwaterstand van NAP+0,18 m.

4.2 Basisgegevens HE9B

De dijkdoorsnede is berekend is Dijk 23 DP52+90. De gegevens zijn afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel: DoV 2.9.3h3 Dijk23S9B DP52+90 0-var definitief.xlsm. Deze doorsnede maakt deel uit van de sectie HE-9B en ligt in het dijktraject 13-8. De locatie van deze doorsnede en de gegevens van het traject zijn opgenomen in Afbeelding 22 en Tabel 23.

Tabel 23 Gegevens dijktraject 13-8.

Parameters	Waarde
Normtraject [-]	13-8
P_{norm} , maximaal toelaatbare faalkans [1/jaar]	1/1000
Trajectlengte [m]	11.600
ω [-]	0,24
$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$3,0 \cdot 10^{-5}$
$\beta_{eis,dsn}$ [β/jaar]	4,0
$\gamma_{n,eis}$	1,01

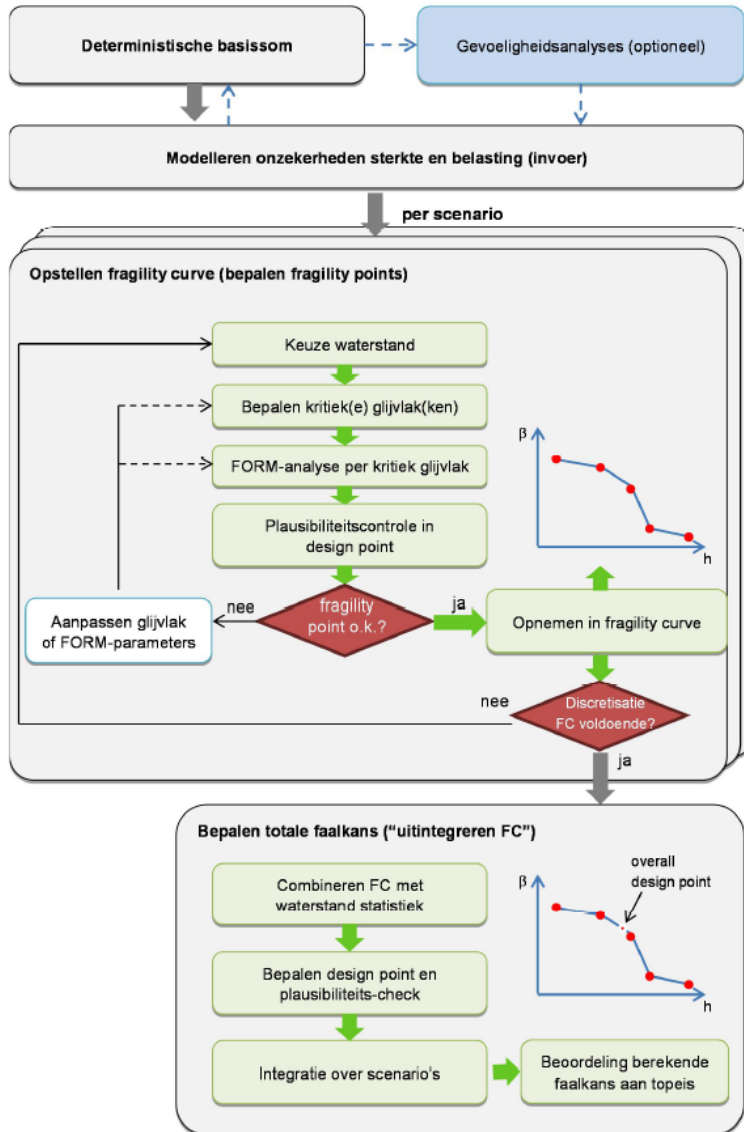
Afbeelding 22 Dijktraject 13-8, dijkvak HE9B.



4.3 Aanpak

De probabilistische som is uitgevoerd volgens de methodiek uit de Handreiking Faalkansanalyse Macrostablieit, versie oktober 2017 [ref. 1]. Het stroomschema van de methodiek is opgenomen in Afbeelding 23. Elke stap uit de methodiek is opgenomen in een separaat hoofdstuk (hoofdstukken 4.4 t/m 4.12).

Afbeelding 23 Stroomschema faalkansanalyse macrostabiliteit met fragility curves.



4.4 Deterministische basissom HE9B

De beschouwde doorsnede is een kleidijk. De geometrie en grondopbouw is opgenomen in Afbeelding 24. Er is geen verkeersbelasting meegenomen. Het maatgevende glijvlak loopt grotendeels door de dikke kleilaag, Klei Calais.

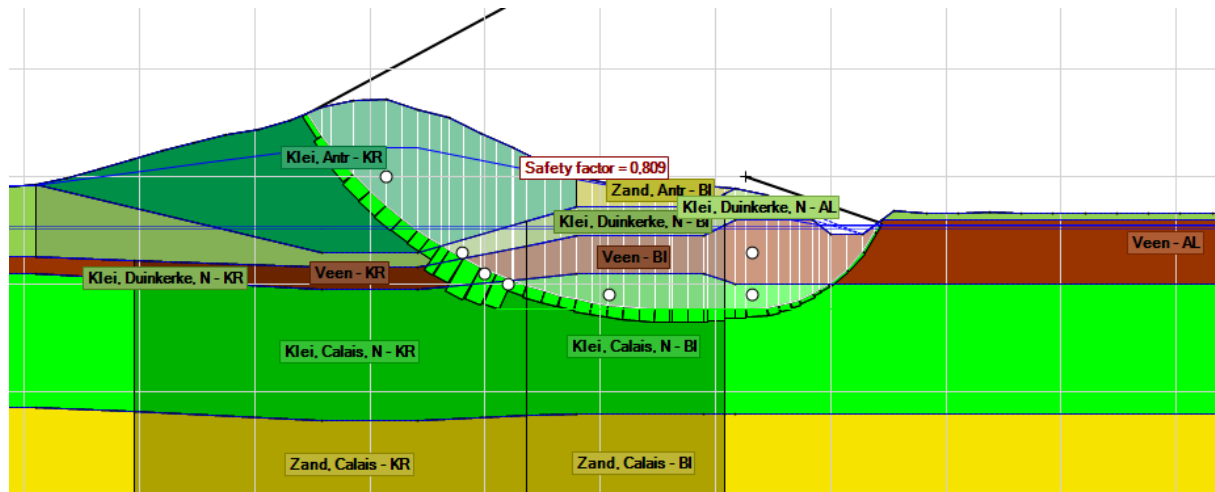
De berekende schadefactor van de deterministische som is 0,76⁶. Volgens de kalibratiestudie van het WBI betekent dit een betrouwbaarheid van:

$$\beta = \frac{\gamma_n - 0,41}{0,15} = \frac{0,76 - 0,41}{0,15} = 2,32$$

⁶ Geen schematiseringsfactor meegenomen i.v.m. vergelijking probabilistische berekening

Dit komt overeen met een faalkans van $1/(300 \text{ jaar})$. De vereiste betrouwbaarheid voor de betreffende doorsnede is 4,0 wat overeenkomt met een faalkans van $1/(30.000 \text{ jaar})$.

Afbeelding 24 Basissom HE9B (Dijk 23 DP52+90).



4.5 Gevoeligheidsanalyse HE9B

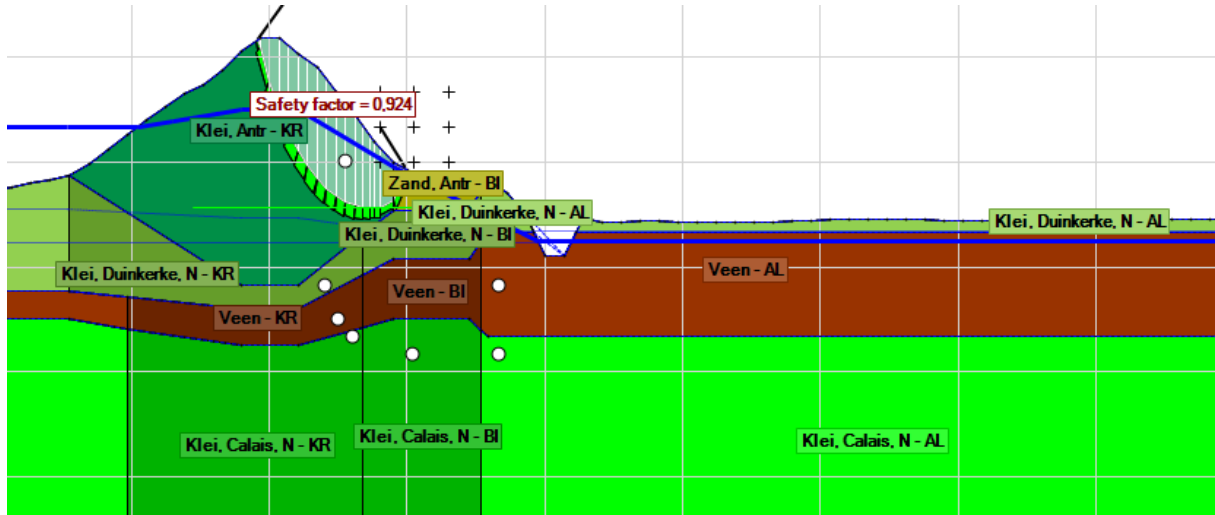
Tabel 24 Sommen gevoeligheidsstudie.

Waterstand	Opmerkingen	Grondparameters en waterspanningen	Unity check ⁷
Peil bij norm		Karakteristieke waarden	0,76 (=0,809/1,06)
Peil bij norm		Gemiddelde waarden	1,42 (=1,51/1,06)
Dagelijks		Karakteristieke waarden	0,76 (=0,803/1,06)
Extreem hoogwater		Karakteristieke waarden	0,75 (=0,795/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak, door de veenlaag	Karakteristieke waarden	1,15 (=1,22/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak door de klei Duinkerke laag	Karakteristieke waarden	0,98 (=1,04/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak door de klei antropogeen en zand antropogeen laag	Karakteristieke waarden	0,87 (=0,924/1,06)

Uit de gevoeligheidsstudie is te zien dat er nauwelijks waterstandsafhankelijkheid is en dat van de alternatieve ondiepere glijvlakken het glijvlak door de klei antropogeen als gevolg van het steile binnentalud ook een lage stabiliteitsfactor heeft. Dit glijvlak is als alternatief glijvlak in de beschouwing meegenomen.

⁷1,06 is de modelfactor

Afbeelding 25 Alternatief glijvlak HE9B (Dijk 23 DP52+90).



4.6 Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE9B

De onzekerheden van de sterkte en belastingparameters zijn in dit hoofdstuk opgenomen. Per parameter is omschreven hoe deze in de probabilistische som is meegenomen. De volgende parameters zijn behandeld:

- Geometrie en zakkingen;
- Bodemopbouw;
- Volumegewicht, γ ;
- Sterkteparameters:
 - Schuifsterkteratio, S ;
 - Sterktetoename exponent, m ;
 - Effectieve grensspanning, σ'_{grens} ;
 - Hoek van inwendige wrijving, ϕ ;
- Hydraulische belasting/waterspanningen:
 - Buitenwaterstand;
 - Freatische lijn;
 - Waterspanning watervoerende lagen;
 - Waterstandsverloop slecht doorlatende lagen;
- Verkeersbelasting;
- Modelonzekerheid;
- Correlaties;

Geometrie en zakkingen

De geometrie is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 4.4). Zakkingen zijn niet expliciet meegenomen.

Bodemopbouw

De bodemopbouw is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 4.4).

Volumegewicht, γ

Het volumegewicht is als determinist meegenomen volgens de deterministische som.

Schuifsterkteratio, S

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 25 Verdeling schuifsterkte ratio, S .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen	NORM	0,470	0,03	0,45
Klei Antropogeen	NORM	0,303	0,05	0,22
Klei Duinkerke	NORM	0,333	0,05	0,25
Klei Calais	NORM	0,303	0,05	0,22

Sterkte toename exponent, m

De sterkte toename exponent is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 26 Verdeling sterkte toename exponent, m .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen	NORM	0,9	0,03	0,85
Overig	NORM	0,883	0,05	0,80

Effectieve grensspanning, σ'_y

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en afgeleid uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV 2.9.3h3 Dijk23S9B DP52+90 0-var definitief.xlsm. De gemiddelde grensspanning is in overeenstemming met de voorgaande berekeningen [ref. 3] berekend via de karakteristieke grensspanning. De grensspanningen zijn gecorreleerd in de verticaal. De berekeningswijze is als volgt: *De verdeling van de grensspanning is verkregen op basis van de karakteristieke waarde, variatie coëfficiënt en dagelijkse effectieve spanning die zijn berekend in de VO fase van het versterkingsproject op basis van de Dijken op Veen methode. De gemiddelde waarde is dus teruggerekend. De dagelijkse effectieve spanning is de shift aangezien de grensspanning nooit lager kan zijn dan de dagelijkse effectieve spanning. De verdeling is zodoende een lognormale verdeling omdat deze verdeling het niet mogen overschrijden van een ondergrens het best benadert. De ondergrens is in dit geval de dagelijkse effectieve spanning.*

De volgende aanpassing is gedaan: *In het model(D-Geo) wordt de POP in een vlak (laag en lamel) berekend in één of meerdere grensspanningspunten in het vlak. Indien de waterspanning zich niet uniform aanpast, ten opzichte van de waterspanningen tijdens de meting, in het vlak (als gevolg van interpolatie tussen freatisch en stijghoogte zandlaag of als gevolg van een ongelijke horizontale aanpassing van de waterspanning wordt de POP in delen van het vlak over- en onderschat. Dit kan als gevolg hebben dat een hogere waterspanning onterecht leidt tot een hogere stabiliteitsfactor. Om dit te voorkomen zijn de grensspanningspunten in de onderstaande tabel verplaatst naar de locatie van het glijvlak.*

Tabel 27 Grensspanning HE9B berekend via de gemiddelde ongedraineerde schuifsterkte⁸.

X-coördinaat	Y-coördinaat	Verdeling	Shift [kPa]	μ [kPa]	VC [-]	Kar [kPa]
52	-2.55	LOGN	4	27	0,25	18
52	-4.10	LOGN	8	22	0,25	15
52	-7.60	LOGN	33	60	0,25	43
52	-16.25	LOGN	109	154	0,25	119
100.7	0.03	LOGN	28	76	0,25	52
104.0*	-3.50*	LOGN	43	150	0,25	101
105.0*	-4.50*	LOGN	37	92	0,25	63
106.0*	-5.00*	LOGN	33	60	0,25	43
100.7	-16.00	LOGN	168	224	0,25	178
110.4	-2.06	LOGN	15	49	0,25	33
110.4	-3.63	LOGN	17	78	0,25	52
110.4	-5.50*	LOGN	25	63	0,25	43
110.4	-16.00	LOGN	116	162	0,25	126
116.6	-1.35	LOGN	7	32	0,25	21
116.6	-3.50	LOGN	14	30	0,25	21
116.6	-5.50*	LOGN	18	40	0,25	28
116.6	-16.00	LOGN	98	141	0,25	108

* Grensspanningspunt verplaatst naar locatie glijvlak.

Hoek van inwendige wrijving, \square

De hoek van inwendige wrijving is meegenomen als stochast en deze is volledig gecorreleerd per grondlaag aangenomen.

Tabel 28 Verdeling hoek van inwendige wrijving.

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde
Zand	NORM	32,5	1,5	30,05

Buitenwaterstand

De buitenwaterstand is berekend met Hydra-NL.

⁸De lichtgrijs gemarkeerde grensspanningspunten bevinden zich niet in het relevante gebied voor het kritieke glijvlak en zijn dus als determinist (laag karakteristieke waarde) meegenomen

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina 41 van 60
Revisiedatum 10-7-2018
Documentnummer AMMD-005499

Tabel 29 Buitenwaterstand in [m] t.o.v. NAP voor hydraulisch uitvoerpunt MM_2_13-8_dk_01411.

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m t.o.v. NAP]
0	-0,33
10	0,306
30	0,41
100	0,523
300	0,63
1.000	0,758
3.000	0,887
10.000	1,043
30.000	1,202
100.000	1,39

Freatische lijn & Stijghoogte doorlatende lagen (aquifers)

De bodemopbouw is als determinist meegenomen. De numerieke waarden zijn opgenomen in hoofdstuk 4.8.

Waterstandsverloop in slecht doorlatende lagen

De indringingslengte is meegenomen als determinist met een waarde van 7,0 meter volgens het ontwerp van de Markermeerdijken.

Verkeersbelasting

Verkeersbelasting is conform het WBI2017 niet meegenomen in deze analyse.

Modelonzekerheden

Er is gerekend met het model uplift-van. De modelfactor is overgenomen uit de handreiking faalkansanalyse macrostabiliteit [ref. 1].

Tabel 30 Parameters van de kansverdeling van de modelonzekerheid ($1/m_d$), [ref. 1].

Model	μ_{md} [-]	σ_{md} [-]
Uplift-Van	1,005	0,033

4.7 (Scenario's HE9B)

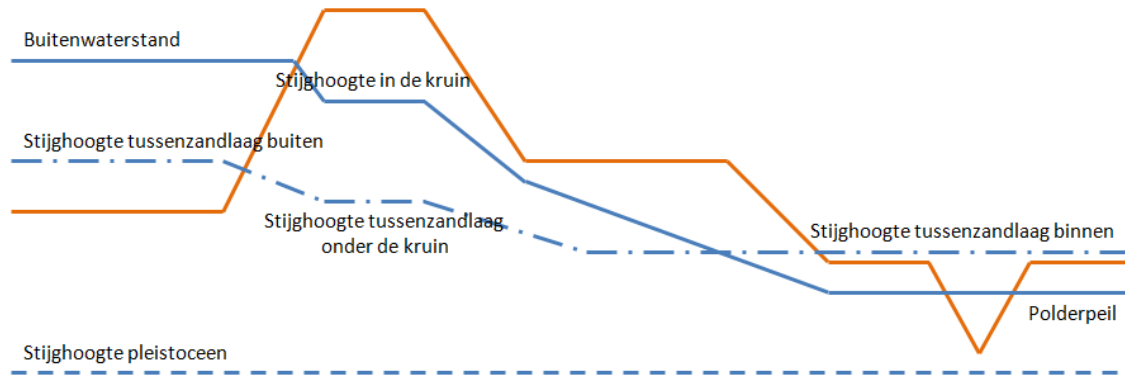
Er is in deze studie één scenario beschouwd, namelijk geen significante golfoverslag. Er wordt dus niet gerekend met infiltratie door golfoverslag omdat de terugkeertijd behorende bij significante golfoverslag ($q > 1,0$ l/s/m) klein is (9000 jaar). Het effect van het scenario met significante golfoverslag is verwaarloosbaar verondersteld.

4.8 Keuze waterstand HE9B

Er worden drie waterstanden beschouwd:
 10 NAP-0,4 meter (dagelijkse waterstand);

11 NAP+1,0 meter (peil bij norm);
12 NAP+1,7 meter (zeer extreme waterstand).

Afbeelding 26 Verloop waterspanningen.



Het verloop van de waterstand gegeven de buitenwaterstand is afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 3.1.0_M5 HE-7B 0-var DEF.xlsm, gegeven in de onderstaande tabel. De stijghoogtes voor de extreme waterstand zijn geëxtrapolerd.

Tabel 31 Waterspanningen voor situatie zonder infiltratie door golfoverslag in [m] t.o.v. NAP.

Buitenwaterstand	-0,4	1,0	1,7
Stijghoogte in de kruin	1.35	1.5	1.7
Polderpeil	-2.31	-2.31	-2.31
Stijghoogte tussenzandlaag buiten	-2.45	-1.33	-0.77
Stijghoogte tussenzandlaag onder de kruin	-2.45	-1.61	-1.19
Stijghoogte tussenzandlaag binnen	-2.45	-1.96	-1.715
Stijghoogte pleistoceen	-2.3	-1.71	-1.415

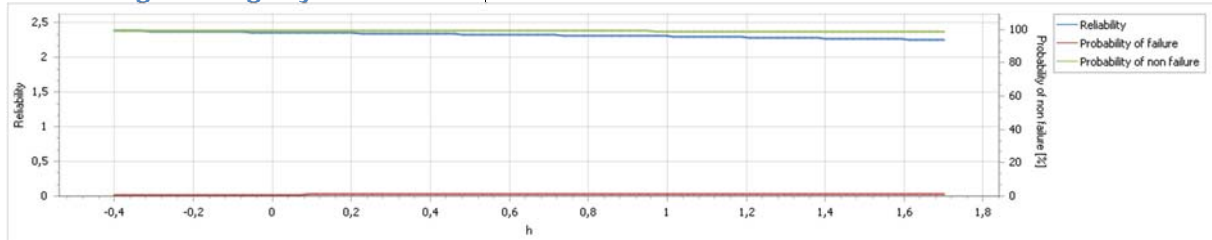
4.9 Bepalen kritieke glijvlakken HE9B

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat ondiepere glijvlakken dan het maatgevende glijvlak een beperkt hogere stabiliteitsfactor hebben. Het in de deterministische som gevonden kritieke glijvlak is in de probabilistische berekening als maatgevend glijvlak verondersteld. Gegeven de onzekerheid in de grensspanning is tevens een berekening met optimistische waarde van de grensspanning (afgeleide grensspanning +10 kPa) gemaakt. Om de gevoeligheid van een gunstigere observatie fragility curve ten opzichte van de beoordelings-fragility curve te onderzoeken is tevens een fictieve observatie fragility curve berekend (waterspanning freatische lijn en stijghoogte zandlaag - 0,2 m) Daarnaast is ook een alternatief dieper glijvlak berekend (Afbeelding 25). Dit glijvlak heeft een hogere stabiliteitsfactor in de deterministische berekening.

4.10 FORM-analyse per kritiek glijvlak HE9B

De fragility curve en invloedscoëfficiënten van het kritieke glijvlak is opgenomen in de onderstaande tabel en afbeeldingen.

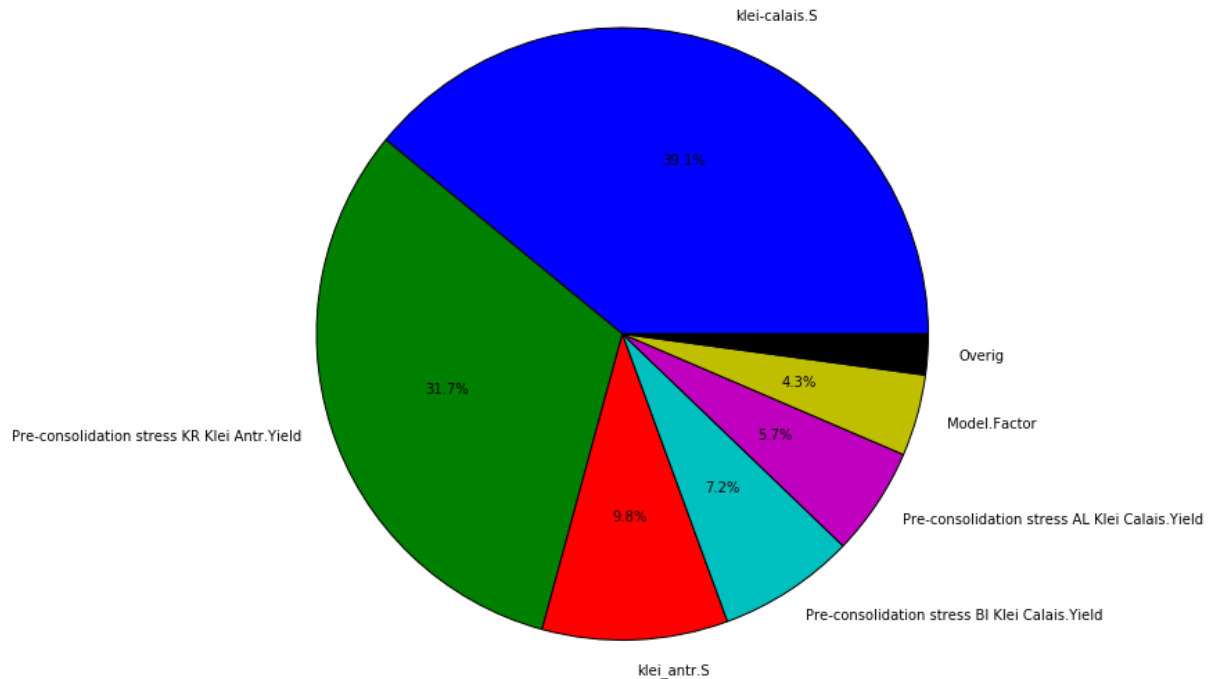
Afbeelding 27 Fragility curve HE9B.



Tabel 32 Betrouwbaarheid HE9B conditioneel op de waterstand.

Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand basissom	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand optimistische POP	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand fictieve observatie	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand alternatief glijvlak
-0,4	2,38	3,16	2,45	2,09
1,0	2,31	3,09	2,35	2,08
1,7	2,25	3,05	2,30	2,06

Afbeelding 28 Invloedscoëfficiënten basissom HE9B voor berekening basissom conditioneel op buitenwaterstand NAP+ 1,0 m.



4.11 "Uitintegreren" HE9B

De fragility curve is geïntegreerd met de verdeling van de waterstand, als opgenomen in Tabel 29. De resultaten zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

Tabel 33 Resultaten probabilistische som HE9B.

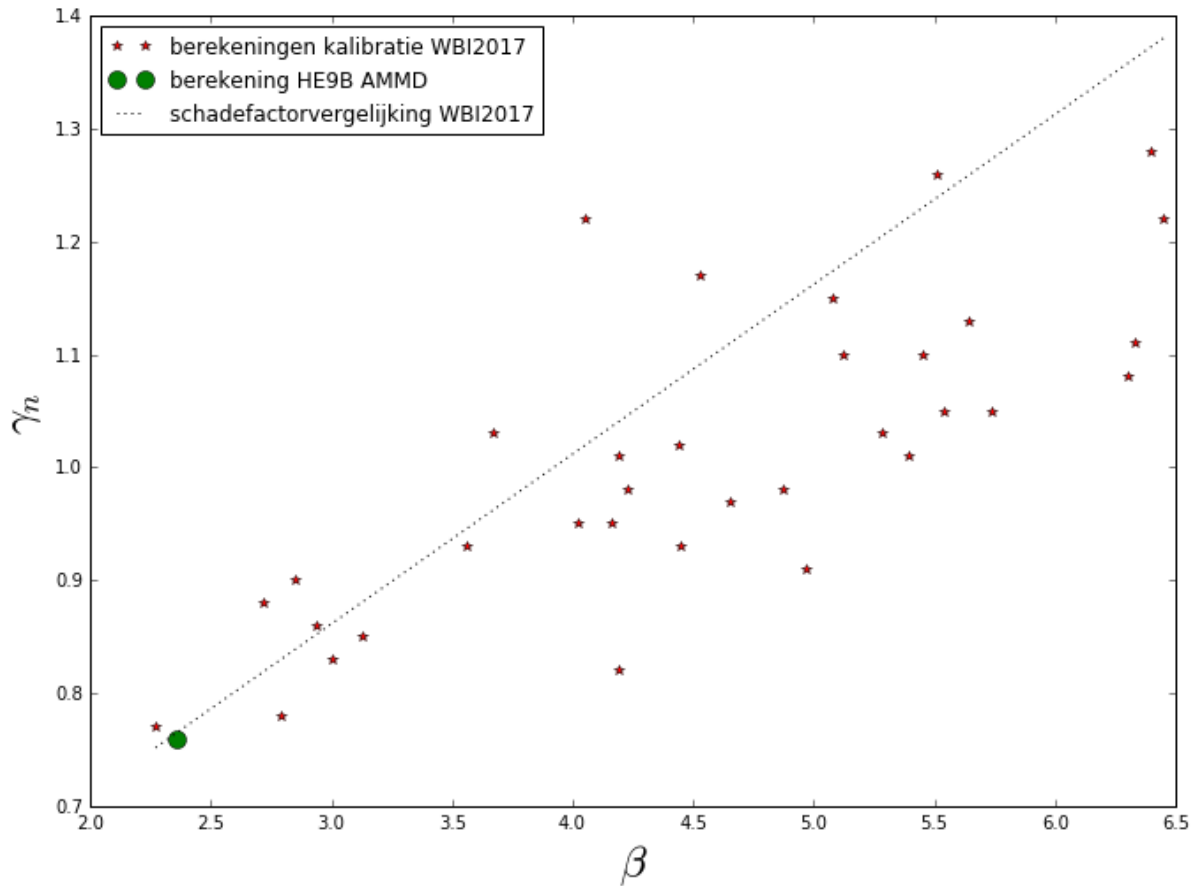
Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , basissom	Betrouwbaarheid, β , optimistische POP	Betrouwbaarheid, β , fictieve observatie	Betrouwbaarheid, β , alternatief glijvlak
-0,4	2,38	3,16	2,45	2,09
1,0	2,31	3,09	2,35	2,08
1,7	2,25	3,05	2,30	2,06
Geïntegreerd	2,36	3,14	n.v.t.	2,09

4.12 Duiding resultaten probabilistische som HE9B

Het resultaat van de probabilistische som komt overeen met het resultaat van de deterministische som (kalibratiestudie). De klei Calais en klei antropogeen laag is dominant, de invloed van de andere grondlagen beperkt is. Het alternatieve glijvlak heeft een kleinere betrouwbaarheid, maar ook kleinere waterstandsafhankelijkheid⁹.

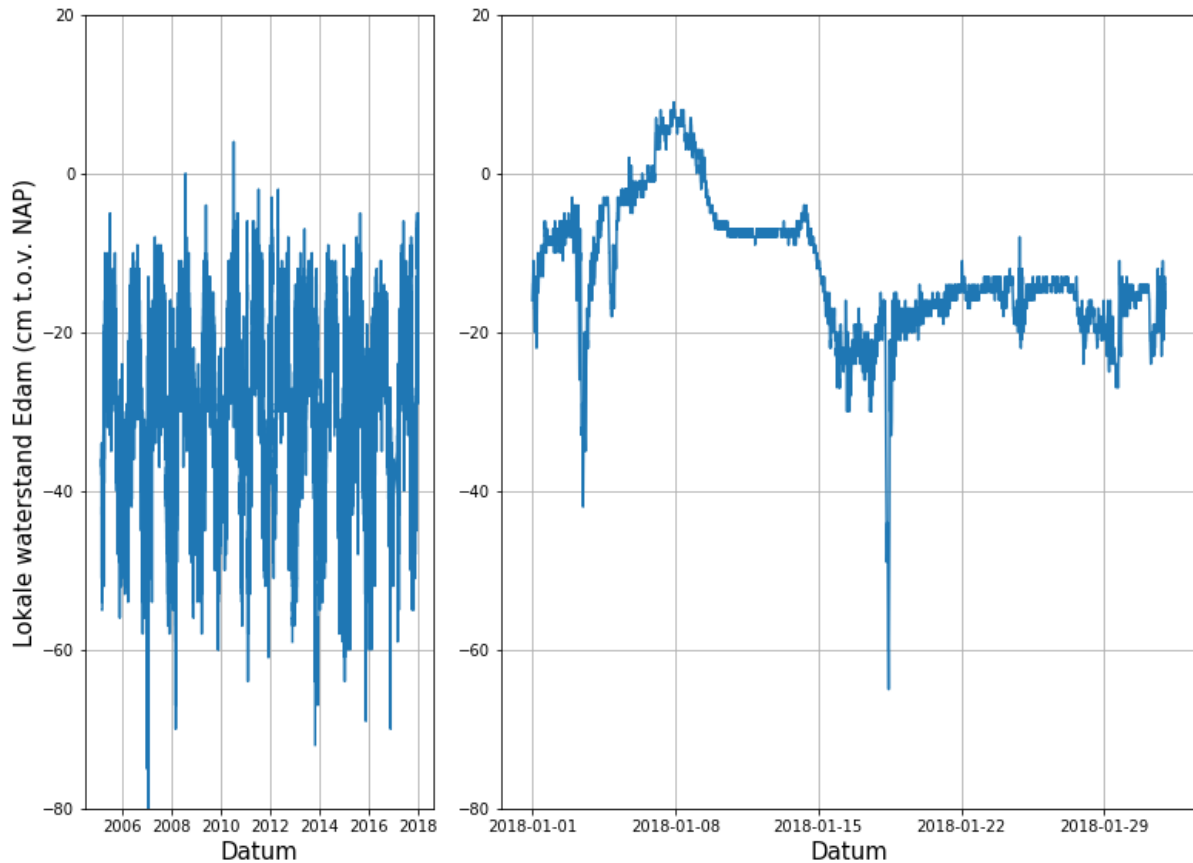
⁹ De kleinere waterstandsafhankelijkheid is zeer gevoelig voor de locatie van het grensspanningspunt en wordt bij voorkeur uitgewerkt met de nieuwe nog niet vrijgegeven versie van D-Geo. In deze fase is echter niet dieper ingegaan op dit glijvlak aangezien de versterkingsopgave bij instabiliteit van alleen dit glijvlak relatief beperkt is. Optimistisch is er vanuit gegaan dat dit glijvlak niet maatgevend is.

Afbeelding 29 Resultaat berekening HE9B in verhouding met kalibratie WBI2017.



4.13 Overleefde situatie

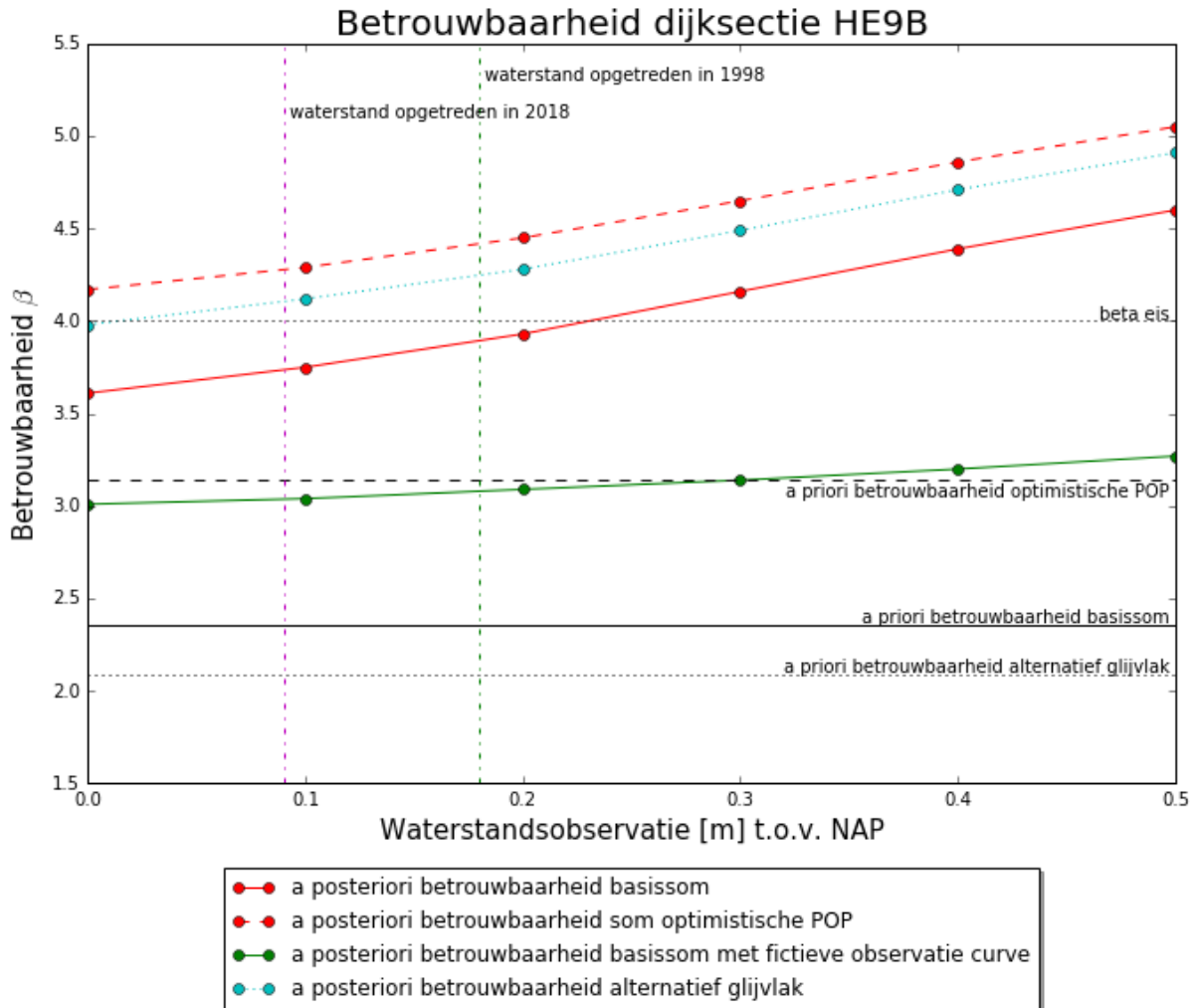
De overleefde situatie heeft plaatsgevonden op 8 januari 2018, Afbeelding 2. Het waterstandsverloop (meetpunt Edam) is weergegeven in Afbeelding 11. De waterstand is maximaal NAP+0,09 m. In 1998 heeft de dijk een waterstand van NAP+0,18 m overleefd.

Afbeelding 30 Waterstand Edam (download: waterinfo.rws.nl).

4.14 Bewezen sterkte HE9B

De betrouwbaarheid van de doorsnede is geüpdate gegeven een waterstandsobservatie van NAP+0 m tot NAP+0,5 m. Er is geen degradatie van de dijk meegenomen. De fragility curve observatie is dus gelijk aangenomen aan de fragility curve van de beoordeling (hoofdstuk 4.10). Aangezien de bepaling van de POP veel onzekerheden heeft is tevens gerekend met 1) een optimistische POP en 2) een observatie met waterspanningen (freatische lijn en stijghoogtes) 0,2 m lager dan de beoordelingsschematisatie om tot een robuuste conclusie te komen. Tevens het alternatieve glijvlak is beschouwd. Het resultaat is opgenomen in Afbeelding 31.

Afbeelding 31 Betrouwbaarheid gegeven observatie HE9B.



4.15 Duiding resultaten bewezen sterkte HE9B

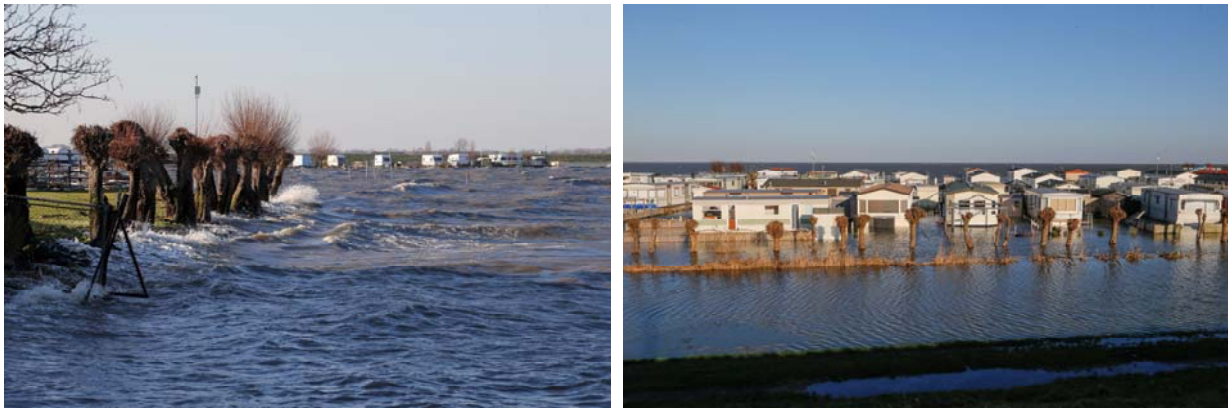
De geüpdate, a posteriori, faalkans is significant hoger dan de a priori faalkans. De faalkans is gegeven een overleefde buitenwaterstand van NAP+0,3 m aantoonbaar voldoende klein. Met optimistische inschatting van de POP is deze gegeven de observatie van 8 januari 2018 voldoende klein. Gegeven een positievere schematisatie van de overleefde situatie reduceert de winst van de update significant. Het a priori betrouwbaardere alternatieve glijvlak is a posteriori niet maatgevend als gevolg van de zeer beperkte waterstandsafhankelijkheid.

5 Deel V - HE12 Edam

5.1 Inleiding

De dijksectie HE12 is onderdeel van het project Versterking Markermeerdijken en is afgekeurd op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts. Aan de buitenzijde van de dijk is een hoog voorland (hoogteligging ongeveer NAP-0,1 m) aanwezig met een voorlanddam (hoogteligging minima ongeveer NAP+0 m). Tijdens de harde oostenwind van 8 januari 2018 (lokale waterstand ongeveer NAP+0,09 m) is de voorlanddam overgelopen en heeft er water aan de dijk gestaan.

Afbeelding 32 Situatie 8 januari 2018 - Voorland Edam.



5.2 Basisgegevens HE12

De dijkdoorsnede is berekend is DP107+90. Deze doorsnede maakt deel uit van de sectie HE12 en ligt in het dijktraject 13-8. De gegevens zijn afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel: DoV-Tool 2.9.3h4_Dijk23S12A DP107+90_0-variant. De locatie van deze doorsnede en de gegevens van het traject zijn opgenomen in Afbeelding 33 Dijktraject 13-8, dijkvak HE en Tabel 34 Gegevens dijktraject 13-8.

Tabel 34 Gegevens dijktraject 13-8.

Parameters	Waarde
Normtraject [-]	13-8
P_{norm} , maximaal toelaatbare faalkans [1/jaar]	1/1000
Trajectlengte [m]	11.600
ω [-]	0,24
$P_{eis,dsn}$ [1/jaar]	$3,0 \cdot 10^{-5}$
$\beta_{eis,dsn}$ [β /jaar]	4,0
$\gamma_{n,eis}$	1,01

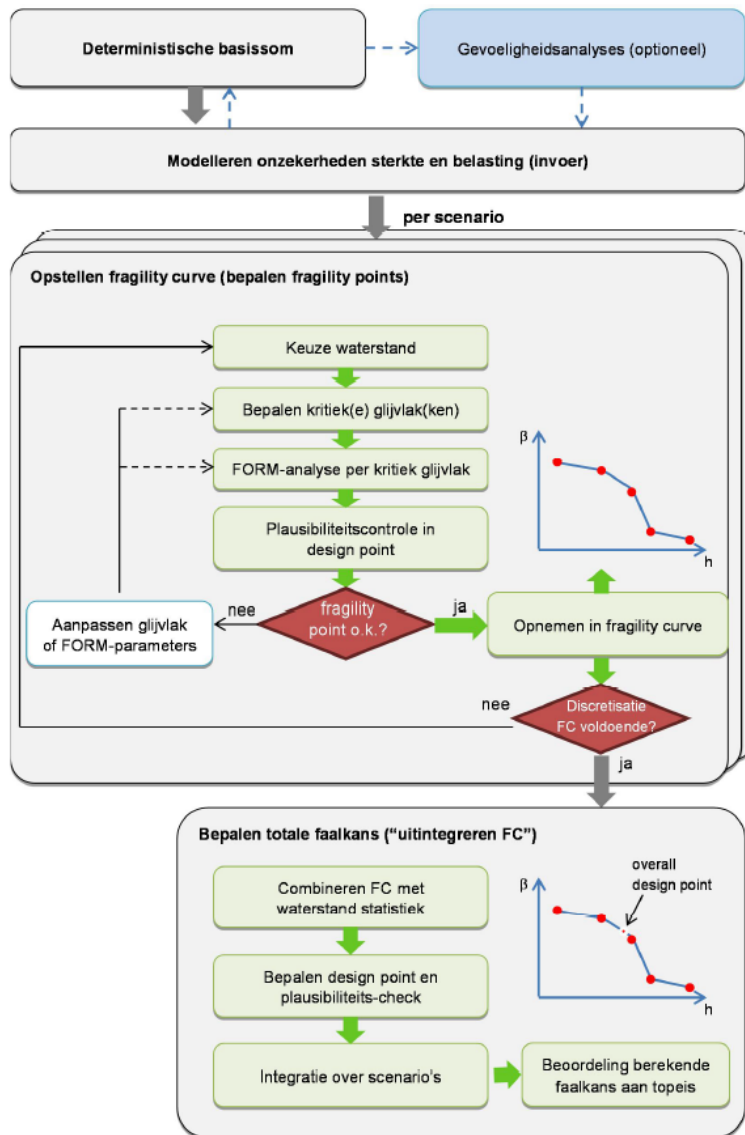
Afbeelding 33 Dijktraject 13-8, dijkvak HE12.



5.3 Aanpak

De probabilistische som is uitgevoerd volgens de methodiek uit de Handreiking Faalkansanalyse Macrostablieit, versie oktober 2017 [ref. 1]. Het stroomschema van de methodiek is opgenomen in Afbeelding 34. Elke stap uit de methodiek is opgenomen in een separaat hoofdstuk (hoofdstukken 5.4 t/m 5.12).

Afbeelding 34 Stroomschema faalkansanalyse macrostabiliteit met fragility curves.



5.4 Deterministische basissom HE12

De beschouwde doorsnede is een kleidijk. De geometrie en grondopbouw is opgenomen in Afbeelding 35. Er is geen verkeersbelasting meegenomen. Het maatgevende glijvlak loopt grotendeels door de Klei Calais laag.

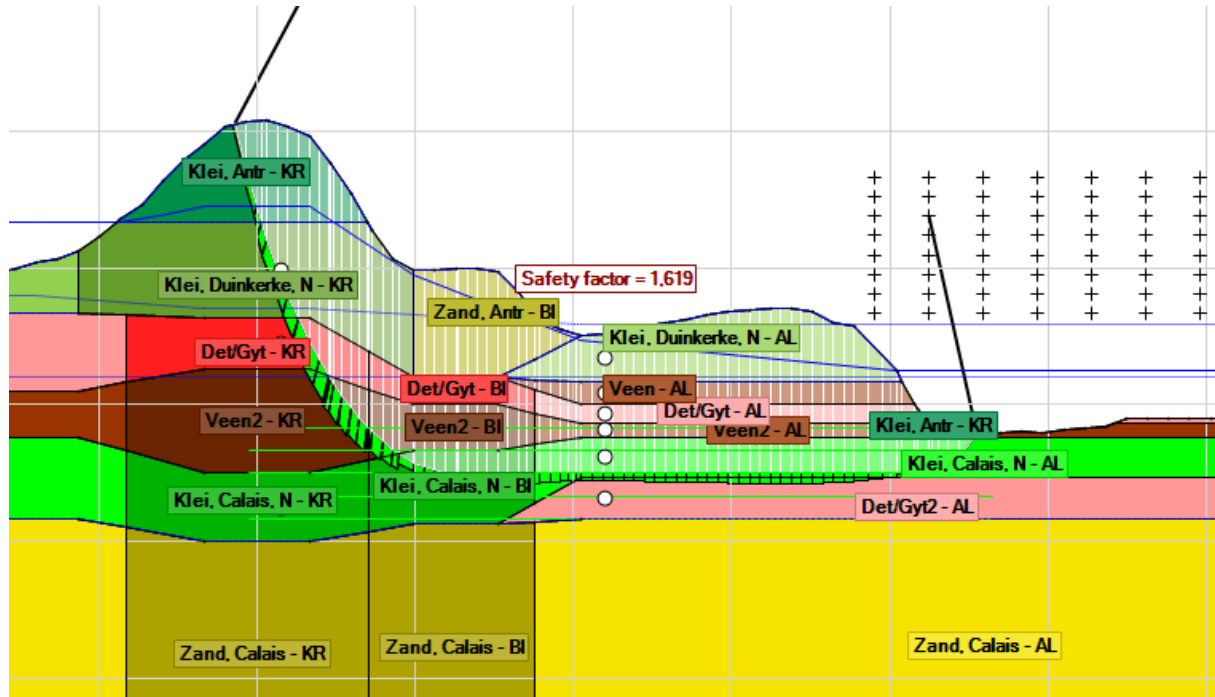
De berekende schadefactor van de deterministische som is $1,53^{10}$. Volgens de kalibratiestudie van het WBI betekent dit een betrouwbaarheid van:

$$\beta = \frac{\gamma_n - 0,41}{0,15} = \frac{1,53 - 0,41}{0,15} = 7,46$$

¹⁰Geen schematiseringsfactor meegenomen i.v.m. vergelijking probabilistische berekening

Dit komt overeen met een faalkans van $1/(2 \cdot 10^{13})$ jaar). De vereiste betrouwbaarheid voor de betreffende doorsnede is 4,0 wat overeenkomt met een faalkans van $1/(3 \cdot 10^4)$ jaar).

Afbeelding 35 Basissom HE12 (Dijk 23 DP107+90).



5.5 Gevoeligheidsanalyse HE12

Tabel 35 Sommen gevoeligheidsstudie HE12.

Waterstand	Opmerkingen	Grondparameters en waterspanningen	Unity check ¹¹
Peil bij norm		Karakteristieke waarden	1,53 (=1,68/1,06)
Peil bij norm		Gemiddelde waarden	2,63 (=2,79/1,06)
Dagelijks		Karakteristieke waarden	1,60 (=1,70/1,06)
Extreem hoogwater		Karakteristieke waarden	1,48 (=1,57/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet diep glijvlak, door de DetGyt2	Karakteristieke waarden	1,58 (=1,68/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak door de Veen2 laag	Karakteristieke waarden	2,08 (=2,21/1,06)
Peil bij norm	Vastgezet ondiep glijvlak door de klei Duinkerke laag	Karakteristieke waarden	1,98 (=2,10/1,06)

¹¹1,06 is de modelfactor

Uit de gevoeligheidsstudie is te zien dat er een lichte waterstandsafhankelijkheid is en dat alternatieve ondiepere glijvlakken een significant hogere stabiliteitsfactor hebben. Het diepere glijvlak door de Gytja laag heeft ook een hogere stabiliteitsfactor.

5.6 Modelleren onzekerheden sterkte en belasting HE12

De onzekerheden van de sterkte en belastingparameters zijn in dit hoofdstuk opgenomen. Per parameter is omschreven hoe deze in de probabilistische som is meegenomen. De volgende parameters zijn behandeld:

- Geometrie en zakkingen;
- Bodemopbouw;
- Volumegewicht, γ ;
- Sterkteparameters:
 - Schuifsterkteratio, S ;
 - Sterktetoename exponent, m ;
 - Effectieve grensspanning, σ'_{grens} ;
 - Hoek van inwendige wrijving, ϕ ;
- Hydraulische belasting/waterspanningen:
 - Buitenwaterstand;
 - Freatische lijn;
 - Waterspanning watervoerende lagen;
 - Waterstandsverloop slecht doorlatende lagen;
- Verkeersbelasting;
- Modelonzekerheid;
- Correlaties;

Geometrie en zakkingen

De geometrie is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 5.4). Zakkingen zijn niet expliciet meegenomen.

Bodemopbouw

De bodemopbouw is als determinist meegenomen volgens de schematisatie van de basissom (hoofdstuk 5.4).

Volumegewicht, γ

Het volumegewicht is als determinist meegenomen volgens de deterministische som.

Schuifsterkteratio, S

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 36 Verdeling schuifsterkte ratio, S .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen	NORM	0,470	0,03	0,45
DetGyt	NORM	0,440	0,03	0,39
Klei Antropogeen	NORM	0,303	0,05	0,22

Pagina 53 van 60 Revisiedatum 10-7-2018 Documentnummer AMMD-005499

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Klei Duinkerke	NORM	0,333	0,05	0,25
Klei Calais	NORM	0,303	0,05	0,22

Sterkte toename exponent, m

De sterkte toename exponent is meegenomen als stochast en volledig gecorreleerd per grondlaag.

Tabel 37 Verdeling sterkte toename exponent, m .

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde [kPa]
Veen / DetGyt	NORM	0,9	0,03	0,85
Overig	NORM	0,883	0,05	0,80

Effectieve grensspanning, σ'_y

De schuifsterkte S is meegenomen als stochast en afgeleid uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 2.9.3h4_Dijk23S12A DP107+90_0-variant. De gemiddelde grensspanning is in overeenstemming met de voorgaande berekeningen [ref. 3] berekend via de karakteristieke grensspanning. De grensspanningen zijn gecorreleerd in de verticaal. De berekeningswijze is als volgt: *De verdeling van de grensspanning is verkregen op basis van de karakteristieke waarde, variatie coëfficiënt en dagelijkse effectieve spanning die zijn berekend in de VO fase van het versterkingsproject op basis van de Dijken op Veen methode. De gemiddelde waarde is dus teruggerekend. De dagelijkse effectieve spanning is de shift aangezien de grensspanning nooit lager kan zijn dan de dagelijkse effectieve spanning. De verdeling is zodoende een lognormale verdeling omdat deze verdeling het niet mogen overschrijden van een ondergrens het best benadert. De ondergrens is in dit geval de dagelijkse effectieve spanning.*

Tabel 38 Grensspanning HE12 berekend via de gemiddelde ongedraineerde schuifsterkte¹².

X-coördinaat	Y-coördinaat	Verdeling	Shift [kPa]	μ [kPa]	VC [-]	Kar [kPa]
-145.7	-0.64	LOGN	2	25	0,25	16
-145.7	-1.85	LOGN	7	25	0,25	17
-145.7	-3.20	LOGN	13	29	0,25	20
-145.7	-4.60	LOGN	21	44	0,25	31
-145.7	-12.10	LOGN	89	130	0,25	99
-145.7	-15.50	LOGN	118	165	0,25	128
-98.5	2.08	LOGN	16	54	0,25	36
-98.5	-0.05	LOGN	41	105	0,25	72
-98.5	-1.65	LOGN	53	85	0,25	63

¹²De lichtgrijs gemarkeerde grensspanningspunten bevinden zich niet in het relevante gebied voor het kritieke glijvlak en zijn dus als determinist (laag karakteristieke waarde) meegenomen.

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina 54 van 60
Revisiedatum 10-7-2018
Documentnummer AMMD-005499

X-coördinaat	Y-coördinaat	Verdeling	Shift [kPa]	μ [kPa]	VC [-]	Kar [kPa]
-98.5	-3.35	LOGN	59	91	0,25	68
-98.5	-5.25	LOGN	69	105	0,25	79
-98.5	-12.25	LOGN	132	181	0,25	142
-98.5	-15.50	LOGN	159	213	0,25	169
-85.1	-2.70	LOGN	31	72	0,25	50
-85.1	-3.50	LOGN	34	56	0,25	41
-85.1	-4.80	LOGN	41	70	0,25	51
-85.1	-12.15	LOGN	108	153	0,25	118
-85.1	-15.50	LOGN	136	186	0,25	146
-78	-1.97	LOGN	3	26	0,25	17
-78	-2.75	LOGN	6	19	0,25	13
-78	-3.20	LOGN	6	24	0,25	16
-78	-3.55	LOGN	7	21	0,25	14
-78	-4.15	LOGN	9	45	0,25	30
-78	-5.05	LOGN	12	32	0,25	22
-78	-12.00	LOGN	74	111	0,25	84
-78	-15.50	LOGN	104	148	0,25	114

Hoek van inwendige wrijving, ϕ

De hoek van inwendige wrijving is meegenomen als stochast en deze is volledig gecorreleerd per grondlaag aangenomen.

Tabel 39 Verdeling hoek van inwendige wrijving.

Materiaal	Verdeling	μ [kPa]	σ [kPa]	Karakteristieke waarde
Zand	NORM	32,5	1,5	30,05

Buitenwaterstand

De buitenwaterstand is berekend met Hydra-NL.

Tabel 40 Buitenwaterstand in [m t.o.v. NAP] voor hydraulisch uitvoerpunt MM_2_13-8_dk_01390.

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m t.o.v. NAP]
1	-0,33
10	0,283
30	0,388
100	0,501
300	0,609

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



ALLIANTIE MARKERMEERDIJKEN

Pagina 55 van 60
Revisiedatum 10-7-2018
Documentnummer AMMD-005499

Terugkeertijd [jaar]	Waterstand [m t.o.v. NAP]
1.000	0,738
3.000	0,867
10.000	1,025
30.000	1,184
100.000	1,373

Freatische lijn & Stijghoogte doorlatende lagen (aquifers)

De bodemopbouw is als determinist meegenomen. De numerieke waarden zijn opgenomen in hoofdstuk 5.8.

Waterstandsverloop in slecht doorlatende lagen

De indringingslengte is meegenomen als determinist met een waarde van 7,0 meter volgens het ontwerp van de Markermeerdijken.

Verkeersbelasting

Verkeersbelasting is conform het WBI2017 niet meegenomen in deze analyse.

Modelonzekerheden

Er is gerekend met het model uplift-van. De modelfactor is overgenomen uit de handreiking faalkansanalyse macrostabiliteit [ref. 1].

Tabel 41 Parameters van de kansverdeling van de modelonzekerheid ($1/m_d$), [ref. 1].

Model	μ_{md} [-]	σ_{md} [-]
Uplift-Van	1,005	0,033

5.7 (Scenario's HE12)

Er is in deze studie één scenario beschouwd, namelijk geen significante golfoverslag. Er wordt dus niet gerekend met infiltratie door golfoverslag omdat de terugkeertijd behorende bij significante golfoverslag ($q > 1,0$ l/s/m) klein is (orde 10^8 jaar). Het effect van het scenario met significante golfoverslag is dus verwaarloosbaar.

5.8 Keuze waterstand HE12

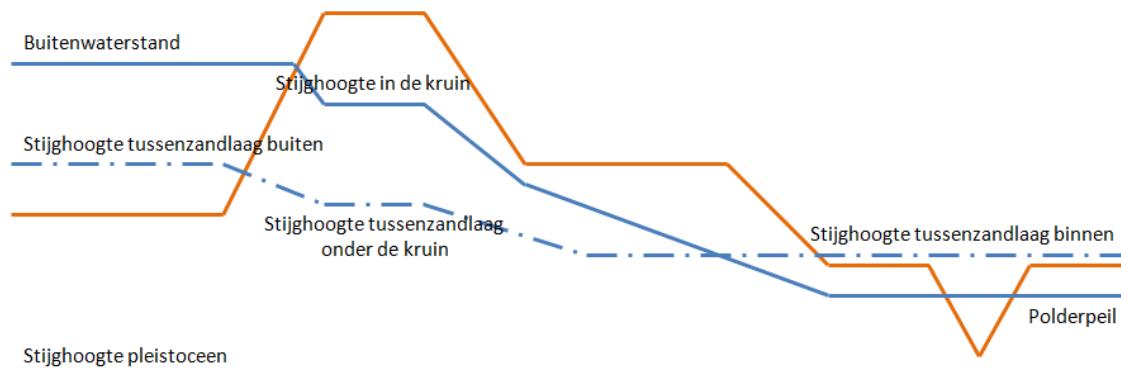
Er worden drie waterstanden beschouwd:

13 NAP-0,4 meter (dagelijkse waterstand);

14 NAP+1,0 meter (peil bij norm);

15 NAP+1,7 meter (zeer extreme waterstand).

Afbeelding 36 Verloop waterspanningen.



Het verloop van de waterstand gegeven de buitenwaterstand is afkomstig uit de AMMD ontwerp-Excel, DoV-Tool 3.1.0_M5 HE-7B 0-var DEF.xlsm, gegeven in de onderstaande tabel. De stijghoogtes voor de extreme waterstand zijn geëxtrapoleerd.

Tabel 42 Waterspanningen HE12 voor situatie zonder infiltratie door golfoverslag in [m] t.o.v. NAP.

Buitenwaterstand	-0,4	1,0	1,7
Stijghoogte in de kruin	0.55	1.35	1.75
Polderpeil	-2.31	-2.31	-2.31
Stijghoogte tussenzandlaag buiten	-1.73	-0.61	-0.05
Stijghoogte tussenzandlaag onder de kruin	-1.73	-0.89	-0.47
Stijghoogte tussenzandlaag binnen	-1.73	-1.24	-0.995
Stijghoogte pleistoceen	-2.4	-1.73	-1.395

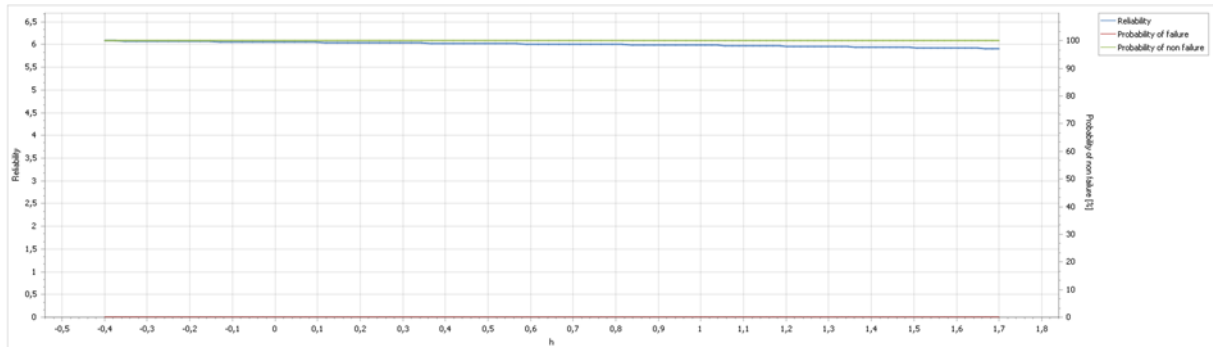
5.9 Bepalen kritieke glijvlakken HE12

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat ondiepere glijvlakken dan het maatgevende glijvlak een significant hogere stabiliteitsfactor hebben. Het in de deterministische som gevonden kritieke glijvlak is dus als maatgevend verondersteld.

5.10 FORM-analyse per kritiek glijvlak HE12

De fragility curve en invloedscoëfficiënten van het kritieke glijvlak is opgenomen in de onderstaande tabel en afbeeldingen.

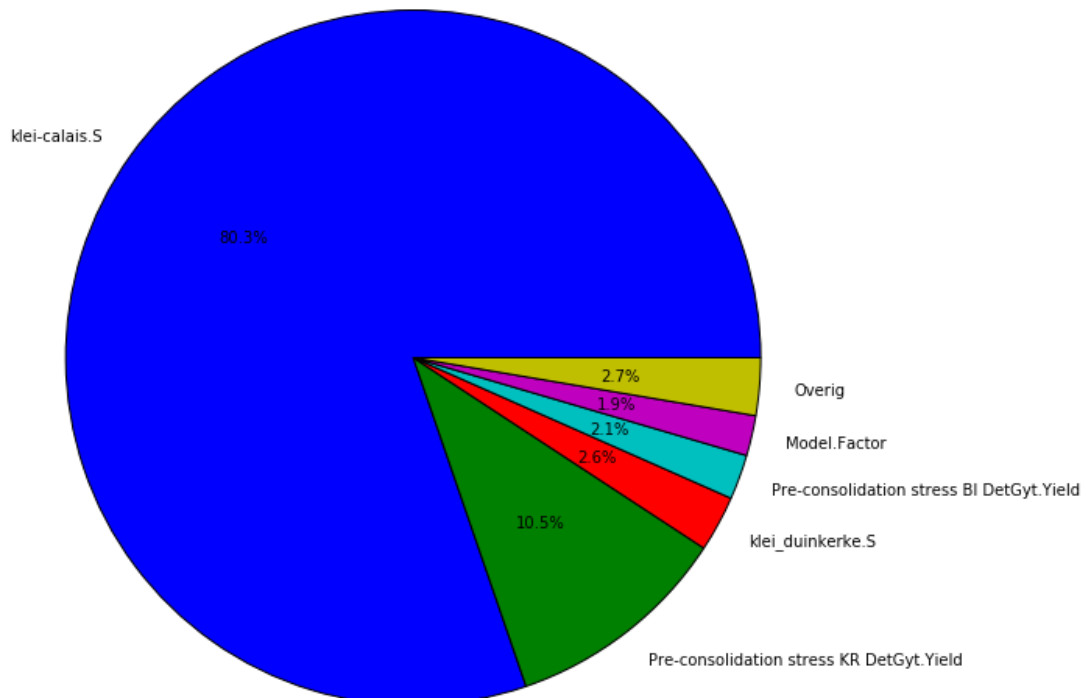
Afbeelding 37 Fragility curve HE12.



Tabel 43 Betrouwbaarheid HE12 conditioneel op de waterstand.

Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , gegeven buitenwaterstand basissom
-0,4	6,08
1,0	5,99
1,7	5,91

Afbeelding 38 Invloedscoëfficiënten basissom HE12 voor berekening conditioneel op buitenwaterstand NAP+1,0 m.



5.11 "Uitintegreren" HE12

De fragility curve is geïntegreerd met de verdeling van de waterstand, als opgenomen in Tabel 44. De resultaten zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

Tabel 44 Resultaten probabilistische som HE12.

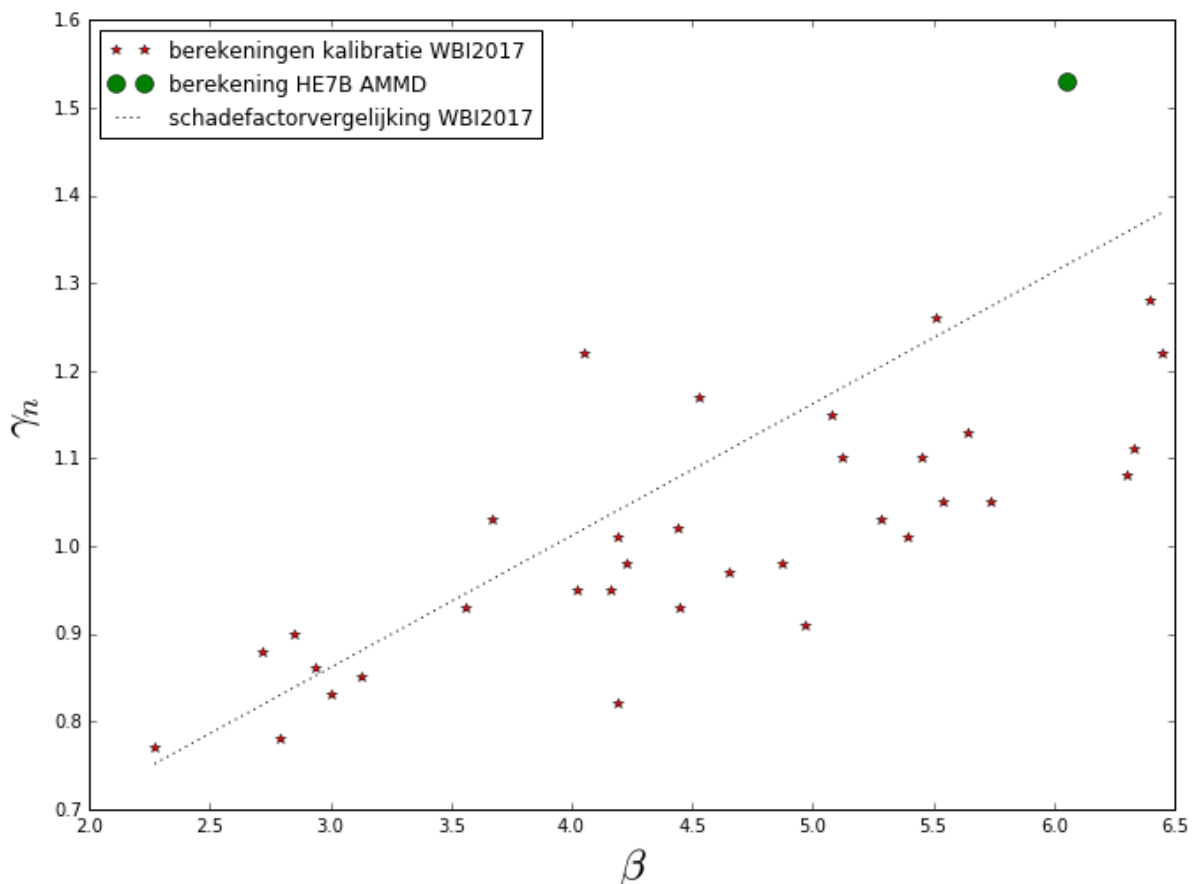
Buitenwaterstand [m t.o.v. NAP]	Betrouwbaarheid, β , basissom
-0,4	6,08
1,0	5,99
1,7	5,91
Geïntegreerd	6,05

5.12 Duiding resultaten probabilistische som HE12

Het resultaat van de probabilistische som is iets 'negatiever' dan het resultaat van de deterministische som (kalibratiestudie). De klei Calais laag is dominant, de invloed van de andere grondlagen beperkt is.

Opgemerkt moet worden dat de waarde van de schuifsterkteratio van de klei Calais in het illustratiepunt, met 0,02, zeer (onrealistisch?) klein is. Dit is meer dan 5 standaardafwijking van het gemiddelde. Mogelijk kan verdelingstype (nu normaal verdeeld) aangepast worden. Dit heeft geen effect op de conclusie dat de betrouwbaarheid hoger is dan de vereiste betrouwbaarheid. Dit zal wel leiden tot een hoger betrouwbaarheid.

Afbeelding 39 Resultaat berekening HE12 in verhouding met kalibratie WBI2017.



Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina	Revisiedatum	Documentnummer
59 van 60	10-7-2018	AMMD-005499

5.13 Bewezen sterkte HE12

Aangezien de betrouwbaarheid van de sectie met de probabilistische berekening al groter is dan de vereiste betrouwbaarheid heeft een update op basis van een overleefde situatie geen meerwaarde. De update zal leiden tot een toename van de betrouwbaarheid.

Er dient echter wel met de nodige voorzichtigheid te worden omgegaan met het mogelijk goedkeuren op doorsnedeniveau. Er is namelijk slechts gerekend met 1 scenario. Dit is onvoldoende om het effect van schematiseringonzekerheden voldoende te hebben beschouwd.

Alliantie Markermeerdijken

Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase II



Pagina	Revisiedatum	Documentnummer
60 van 60	10-7-2018	AMMD-005499

6 Referenties

- 1 Deltares (2017). Handreiking Faalkansanalyse Macrostablieit - Groene Versie. Referentie: 11200575-016-GEO-0005, Versie 03, 3 oktober 2017, definitief;
- 2 Deltares (2016). Memo: Pore water pressure uncertainty for slope stability. Referentie: 1230090-034-GEO-0008, 29 April 2016, final;
- 3 Alliantie Markermeerdijken (2017). Probabilistische analyses en bewezen sterkte fase I;
- 4 Fugro (2015). Versterking Markermeerdijken Hoorn - Amsterdam. Achtergrondrapport Grondparameters Dijken op Veen. Versie 4, 24 december 2015.