

Optimalisatie STBI fase 1 en 2

STERKE LEKDIJK

Wijk bij Duurstede - Amerongen



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Rapport

Projectnummer: 6500978000, C03011.000750

Referentienummer:

Datum: 18-03-2020

Probabilistische berekeningen macrostabiliteit binnenwaarts fase 1&2

Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen



Definitief

Opdrachtgever:
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Poldermolen 2
3994 DA HOUTEN

Sweco Nederland B.V.
De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
Postbus 203
3730 AE De Bilt
T +31 88 8116600
Handelsregister 30129769

Arcadis Nederland B.V.
Piet Mondriaanlaan 26
3812 GV Amersfoort
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
T +31 88 4261261
Handelsregister 09036504

Revisiebeheer

Revisie	Datum	Status	Belangrijkste wijzigingen
1.0	03-10-2019	Concept	
2.0	14-11-2019	Definitief	Verwerking review HDSR
3.0	13-02-2020	Concept	Toevoeging fase 2
4.0	18-03-2020	Definitief	Verwerking review HDSR + Deltares (alleen op de berekeningen)

Verantwoording

Titel	Probabilistische Berekeningen Macrostablieit Binnenwaarts fase 1
Subtitel	Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen
Projectnummer	C03011.000750
Referentienummer	-
Revisie	Definitief
Datum	
Auteur(s)	Leo Kwakman,
E-mailadres	leo.kwakman@arcadis.com
Gecontroleerd door	Ana Teixeira (fase 1), Jana Steenbergen- Kajabová (fase 1+2)
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Louis Broersma
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doelstelling	6
1.3	Locatie beschouwde doorsnedes	6
1.4	Leeswijzer	9
2	Aanpak en uitgangspunten	10
2.1	Algemeen	10
2.2	Toelichting aanpak	10
2.3	Opstellen rekenprofielen en verwerken optimalisaties	10
2.4	Semi-probabilistische gevoeligheidsanalyses	10
2.5	Probabilistische FORM analyses	11
2.6	Representativiteit beschouwde doorsnedes voor het dijkvak	12
2.7	Uitgangspunten	12
3	Resultaten optimalisaties en semi-probabilistische gevoeligheidsanalyses	13
3.1	Beschrijving type berekeningen optimalisaties	13
3.2	Beschrijving type berekeningen gevoeligheidsanalyses	13
3.3	Resultaten vak 6, DP43 (fase 1)	14
3.4	Resultaten vak 6a, DP44 (fase 2)	15
3.5	Resultaten vak 7, DP54, DP58 en DP61 (fase 2)	16
3.6	Resultaten vak 9, DP74 (fase 2)	17
3.7	Resultaten vak 10, DP80 (fase 1)	18
3.8	Resultaten vak 16, DP104 (fase 1)	19
4	Resultaten probabilistische FORM analyses	21
4.1	Aanpak probabilistische berekeningen	21
4.2	Resultaten vak 6, DP43 (fase 1)	21
4.3	Resultaten vak 7b, DP58 (fase 2)	24
4.4	Resultaten vak 9, DP74 (fase 2)	26
4.5	Resultaten vak 10, DP80 (fase 1)	28
4.6	Resultaten vak 16, DP104 (fase 1)	30
4.7	Vergelijking 'fragility points' bij WBN met kalibratielijn	33
4.8	Gevoeligheidsanalyses probabilistische FORM analyses (fase 1)	33
5	Conclusies en aanbevelingen	35
5.1	Aanpak	35
5.2	Veiligheidsoordeel binnenwaartse macrostabiliteit onverzadigde situatie	35
5.3	Veiligheidsoordeel binnenwaartse macrostabiliteit verzadigde situatie	37
5.4	Samenvatting veiligheidsoordelen per beschouwde doorsnede	40
5.5	Doorvertaling naar planuitwerkingsfase	43

5.6	Adviezen voor vervolgtrajecten	44
6	Bronnen	45
	Bijlage A – Uitgangspunten probabilistische berekeningen	46
	Bijlage B – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP43 fase 1	47
	Bijlage C – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP44 fase 2	48
	Bijlage D – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP58 fase 2	49
	Bijlage E – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP74 fase 2	50
	Bijlage F – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP80 fase 1	51
	Bijlage G – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP104 fase 1	52
	Bijlage H – Fragility curves kans op overslag gegeven de waterstand	53

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de periode oktober 2018 – maart 2019 heeft Sweco-Arcadis (SA) in opdracht van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) de veiligheidsscope voor het dijkversterkingsproject Wijk bij Duurstede – Amerongen (WAM) opgesteld [6].

Het dijktraject is onder andere afgekeurd op het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit. Bij een groot deel van de dijkvakken is sprake van een relatief gering tekort tussen de berekende en de benodigde veiligheidsfactor. Er is daarom zowel door SA als KPR aanbevolen om een aantal optimalisaties uit te voeren die kunnen resulteren in een kleinere veiligheidsopgave.

Eén van deze optimalisaties betreft het doorlopen van het actuele sterktespoor inclusief het uitvoeren van probabilistische berekeningen met FORM analyse. Deze optimalisatie is uitgevoerd in twee fases:

- Fase 1: Op basis van 3 kenmerkende doorsnedes beoordelen hoe de berekende faalkans zich verhoudt tot de vereiste faalkans.
- Fase 2: Bij een significante reductie van de veiligheidsopgave uitvoeren van probabilistische berekeningen voor overige relevante doorsnedes

Deze rapportage beschrijft de uitgevoerde berekeningen en resultaten van zowel fase 1 als fase 2.

1.2 Doelstelling

Doel van het onderzoek is om de binnenwaartse macrostabiliteit te beoordelen op basis van actuele sterkte technieken, met de focus op het uitvoeren van volledig probabilistische berekeningen.

1.3 Locatie beschouwde doorsnedes

Het beschouwde tracé ligt tussen Amerongen en de Prinses Irenesluis te Wijk bij Duurstede. Het tracé inclusief het voor de binnenwaartse macrostabiliteit gemaakte onderscheid in vakken is getoond in Figuur 1. Er zijn in totaal 16 dijkvakken.

In fase 1 zijn 3 dijkvakken nader beschouwd. Deze vakken zijn getoond in Tabel 1. De vakken zijn zodanig gekozen dat de resultaten ook bruikbaar zijn om een indicatief oordeel te kunnen geven over de overige onvoldoende dijkvakken. In fase 2 zijn nog 3 extra dijkvakken beschouwd. Deze vakken zijn getoond in Tabel 2. De onderbouwing voor deze keuzes is opgenomen in Bijlage A, paragraaf 2.1.

In Figuur 2 t/m Figuur 7 zijn overzichtskaarten getoond van de betreffende vakken inclusief de locaties van de beschouwde doorsnedes.

Vak [-]	Dijkpaal van [dp +m]	Dijkpaal tot [dp +m]	Lengte [m]	Locatie doorsnede [dp]
6	DP42+40m	DP50+20m	682	DP43
10	DP74+50m	DP85+40m	1032	DP80
16	DP99+130m	DP105+95m	897	DP104

Tabel 1 beschouwde vakken en locaties doorsnedes fase 1

Vak [-]	Dijkpaal van [dp +m]	Dijkpaal tot [dp +m]	Lengte [m]	Locatie doorsnede [dp]
6a	43+75	44+45	72	DP44
7	50+20	61+45	1129	DP58
9	72+25	74+50	229	DP74

Tabel 2 beschouwde vakken en locaties doorsnedes fase 2



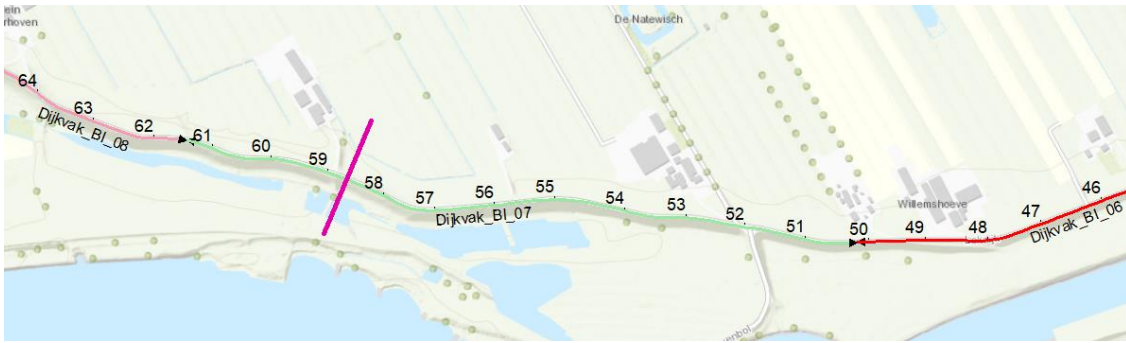
Figuur 1. Tracé Wijk bij Duurstede - Amerongen



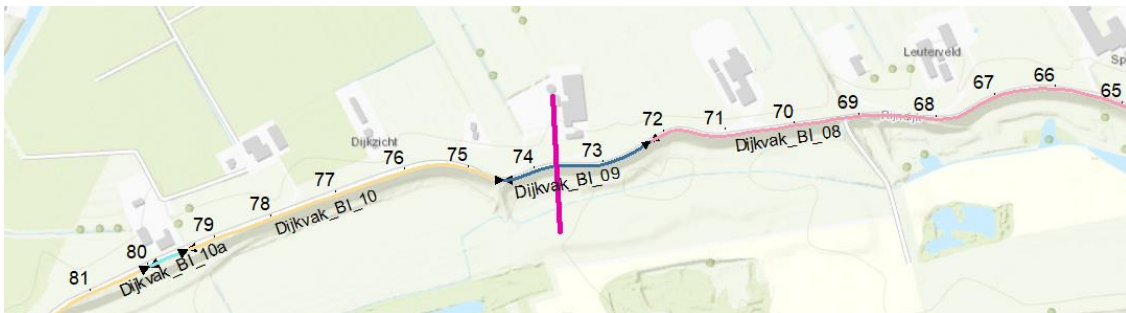
Figuur 2. Dijkvak 6 (rood) en locatie beschouwde doorsnede DP43 fase 1 (paars)



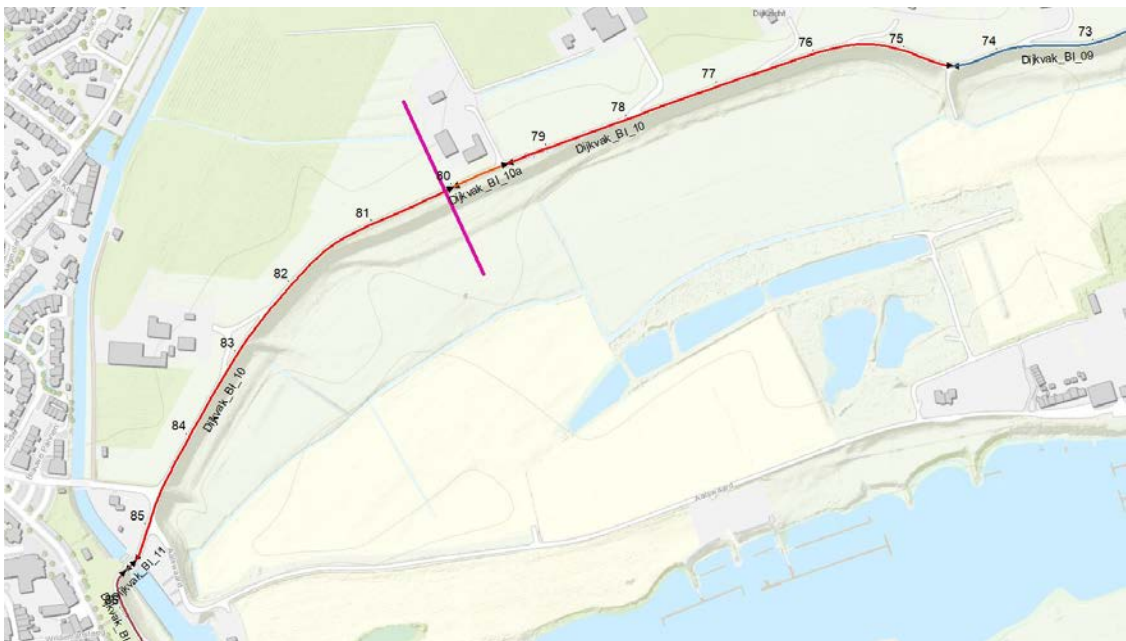
Figuur 3. Dijkvak 6a (oranje) en locatie beschouwde doorsnede DP44 fase 2 (paars)



Figuur 4. Dijkvak 7 (groen) en locatie beschouwde doorsnede DP58 fase 2 (paars)



Figuur 5. Dijkvak 9 (blauw) en locatie beschouwde doorsnede DP74 fase 2 (paars)



Figuur 6. Dijkvak 10 (rood) en locatie beschouwde doorsnede DP80 fase 1 (paars)



Figuur 7. Dijkvak 16 (rood) en locatie beschouwde doorsnede DP104 fase 1 (paars)

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een toelichting op de gevolgde aanpak, vervolgens zijn in hoofdstuk 3 de resultaten beschreven van de semi-probabilistische gevoeligheidsberekeningen. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de probabilistische berekeningen opgenomen. Ten slotte zijn in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

De gebruikte uitgangspunten zijn beschreven in bijlage A. De uitvoer van de gevoeligheidsberekeningen is opgenomen in bijlage B t/m G. Ten slotte zijn de fragility curves opgenomen in bijlage H.

2 Aanpak en uitgangspunten

2.1 Algemeen

In de methode actuele sterkte zijn drie stappen te onderscheiden om de veiligheidsanalyse dichter bij de werkelijkheid te brengen:

1. Nadere detaillering semi-probabilistische analyse en gevoeligheidsberekeningen;
2. Faalkansanalyse, ofwel volledige probabilistische analyse;
3. Faalkans updating, ofwel bewezen sterkte methode.

De achterliggende analyses zijn gebaseerd op de concepten beschreven in de “Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieleit” [Schweckendiek et al. (2017)] [9] en “Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating” [Kanning & Schweckendiek, (2017)] [10].

Dit onderzoek beperkt zich tot stap 1 en 2, met de focus op stap 2.

2.2 Toelichting aanpak

Voor het uitvoeren van de stabiliteitsanalyses voor stap 1 en 2 is (per profiel) onderstaande werkwijze gevolgd [9]:

- Vaststellen van uitgangspunten voor alle doorsnedes (zie bijlage A)
- Per doorsnede:
 - Opstellen rekenprofielen en verwerken optimalisaties;
 - Semi-probabilistische gevoeligheidsanalyse voor oa. bepalen glijvlakligging voor faalkansanalyse (zie paragraaf 2.4 en hoofdstuk 4);
 - Faalkansanalyse (met verschillende vaste glijvlakligging en infiltratie door overslag (zie paragraaf 2.5 en 4);
 - Conclusies en aanbevelingen per profiel (zie hoofdstuk 4).

Deze werkwijze is per deelstap verder uitgewerkt in de onderstaande paragrafen.

2.3 Opstellen rekenprofielen en verwerken optimalisaties

Per doorsnede zijn de volgende werkzaamheden verricht:

- Ombouwen rekenprofielen uit semi-probabilistische beoordeling [6] om deze geschikt te maken voor probabilistische FORM analyses.
- Verwerken optimalisaties op basis van nieuwste inzichten:
 - Toevoegen van extra rekenfase met de laagste waterstanden tussen CPT-fase en WBN-fase. Bij de CPT fase zijn de waterstand gebruikt zoals deze zijn waargenomen tijdens het uitvoeren van de sonderingen. De laagste waterstanden (5% ondergrenswaarde) zijn ingeschat op basis van de beschikbare peilbuismetingen. Per doorsnede beschreven en getoond in Bijlage A – paragraaf 5.2;
 - Nadere analyse te gebruiken POP waarden in CPT-fase. Per doorsnede beschreven in Bijlage A – paragraaf 3.3;
 - Vakspecifieke optimalisaties nader beschreven in paragraaf 3.1

2.4 Semi-probabilistische gevoeligheidsanalyses

Voor de representatieve doorsnedes zijn semi-probabilistische gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd [8]. Hierin is gevarieerd met diverse parameters. Het doel hiervan is enerzijds de dominante belastingfactoren te vinden en anderzijds te controleren of de aannames/keuzes in de basisschematisering correct of ten minste (voldoende) conservatief zijn gekozen. De resultaten geven tevens inzicht in de ligging van het maatgevende glijvlak bij verschillende belastingssituaties. Op basis van de bevindingen kan de basisberekening (input voor de probabilistische stabiliteitsanalyse) worden aangepast. De gepresenteerde uitkomst is een tabel en grafiek met stabiliteitsfactoren.

2.5 Probabilistische FORM analyses

Voor de berekening van de faalkans is de semi-probabilistische basisberekening als uitgangspunt gebruikt. Hierin zijn de rekenwaarden van de sterkteparameters en de freatische lijnen vervangen door kansverdelingen voor de invoerparameters. Voor verschillende waterstanden is de conditionele faalkans (faalkans gegeven een bepaalde waterstand) probabilistisch berekend [8]. De hiermee verkregen punten heten '*fragility points*'. Per waterstand is tevens de informatie over het probabilistische ontwerp punt gerapporteerd. Uit deze informatie is de invloed van de onzekerheid van de parameters op de faalkans afgeleid.

Door lineair te interpoleren tussen de '*fragility points*' is een '*fragility curve*' verkregen. Deze vereenvoudiging leidt tot een grove, maar goede inschatting van de werkelijke '*fragility curve*', mits voldoende '*fragility points*' worden beschouwd. Het transformeren van conditionele faalkansen naar betrouwbaarheids-indices heeft geleid tot een bèta-waterstand (β -h) relatie (ook '*fragility curve*' genoemd).

Door de '*fragility curve*' te wegen met de kansverdeling van de waterstand, wordt de faalkans voor de representatieve doorsnede voor macrostabiliteit binnenwaarts verkregen. Deze faalkans is vergeleken met de vereiste faalkans op doorsnedeniveau.

Voor de toepassing van faalkansanalyses voor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) gelden enkele voorwaarden en aandachtspunten. Zo worden de probabilistische berekeningen met een vastgezet glijvlak en per buitenwaterstand berekend. Verder is de geadviseerde werkwijze om van grof naar fijn te werken, om grip te houden op de juistheid van de berekeningen en om de waterstanden, waarvoor de faalkans berekend wordt, 'slim' te kiezen. Dit laatste zodat enerzijds zo min mogelijk punten berekend hoeven te worden en anderzijds de vereenvoudiging ertoe leidt dat een grove, maar goede inschatting van de werkelijke '*fragility curve*' verkregen wordt.

Voor de inschatting van waterstanden is het belangrijk te bepalen wanneer volledige verzadiging (door overslag) en opdrijven/opbarsten optreedt. Dit resulteert concreet in de volgende waterstanden:

- waterstand dagelijks;
- waterstand resulterend in een opbarstveiligheid in het achterland van 1,2: risico opdrijven;
- waterstand resulterend in een opbarstveiligheid in het achterland van 1,0: opbarsten/opdrijven;
- waterstand met grootste kans op het optreden van overslagdebiet $q > 1$ l/s/m: vanaf deze waterstand wordt verondersteld dat de freatische lijn beïnvloed wordt door overslag.
- waterstand met grootste kans op het optreden van overslagdebiet $q > 10$ l/s/m: vanaf deze waterstand wordt verondersteld dat de dijk kern volledig verzadigd is door overslag;
- waterstand bij norm: WBN.

2.6 Representativiteit beschouwde doorsnedes voor het dijkvak

Voor zowel de semi-probabilistische beoordeling in [6] als de probabilistische beoordeling worden lokale doorsnedes representatief gesteld voor een dijkvak. Binnen het dijkvak varieert echter zowel de geometrie, de bodemopbouw als de waterspanningen. Om de invloed van deze onzekerheden af te dekken wordt in de semi-probabilistische een schematiseringsfactor voorgeschreven.

Om de schematiseringsfactor zijn verschillende scenario's beschouwd. Dit is nader toegelicht in paragraaf 3.1.6 in [6]. De globale aanpak is hierbij als volgt:

- Voor de geometrie wordt reeds gerekend met de meest maatgevende doorsnede. Aanvullende scenario's zijn hiervoor niet vereist.
- Voor variaties in de bodemopbouw zijn 2 scenario's opgenomen met een dikker en dunner slappe lagen pakket.
- Ten aanzien van de onzekerheden in de waterspanningen is nog een ongunstiger scenario toegevoegd voor de stijghoogte.

Voor de probabilistische berekeningen is een dergelijke werkwijze niet voorgeschreven. Voor deze berekeningen zijn echter grotendeels dezelfde onzekerheden van toepassing aangezien het in de probabilistische berekeningen alleen mogelijk is om de sterkteparameters, grensspanningen (POP's) en freatische lijn als stochast op te geven. Onzekerheden in de bodemopbouw worden hierin niet meegenomen.

Derhalve is ervoor gekozen om ook voor de probabilistische berekeningen een schematiseringsfactor toe te passen. In [6] is veiligheidshalve gerekend met een waarde van 1,1. De minimaal vereiste waarde is (gegeven de beschouwde scenario's) 1,05. Een schematiseringsfactor van 1,1 is voor een probabilistische analyse erg conservatief, dit resulteert in een circa 80 keer strengere eis voor de toelaatbare faalkans, alleen voor onzekerheden in de opbouw van de bodem. Waterspanningen zijn immers reeds als stochast (freatische lijn) of bovengrenswaarde (stijghoogte) opgegeven. Ook de 'state' parameters (POP) zijn als stochast opgegeven. Er is derhalve gekozen voor een schematiseringsfactor van 1,05.

Een schematiseringsfactor van 1,05 resulteert in een β van 5,46 en toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau van $2,4 \times 10^{-8}$ per jaar.

NB. Door HDSR zijn in [11] nog aanvullende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de invloed van onzekerheden in de bodemopbouw en parameters te onderzoeken.

2.7 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de semi-probabilistische analyses zijn reeds beschreven in [2] en [6]. De benodigde uitgangspunten voor de volledige probabilistische berekeningen, zijn beschreven in bijlage A.

3 Resultaten optimalisaties en semi-probabilistische gevoeligheidsanalyses

3.1 Beschrijving type berekeningen optimalisaties

Op de rekenbestanden uit de semi-probabilistische beoordeling [6] zijn een aantal optimalisaties doorgevoerd. Dit betreffen de volgende optimalisaties:

- Toevoegen van extra rekenfase met de laagste waterstanden tussen CPT-fase en WBN-fase. Bij de CPT fase zijn de waterstand gebruikt zoals deze zijn waargenomen tijdens het uitvoeren van de sonderingen. De laagste waterstanden (5% ondergrenswaarde) zijn ingeschat op basis van de beschikbare peilbuismetingen. Per doorsnede beschreven en getoond in Bijlage A – paragraaf 5.2;
- Nadere analyse te gebruiken POP waarden in CPT-fase. Per doorsnede beschreven in Bijlage A – paragraaf 3.3;
- Toepassen hogere sterkte zand Pleistoceen, zandtussenlagen en zand schoon. Beschreven in Bijlage A – paragraaf 3.2;
- Correctie freatische lijn dijkvak 6a, de freatische lijn is in de oorspronkelijke berekening conservatief geschematiseerd. De freatische lijn ligt over delen van de geometrie boven het maaiveld. Dit is gecorrigeerd.
- Beschouwen aanwezige restbreedte dijkvak 6a. De kruin in dit vak heeft een breedte van circa 18 m. De kruinhoogte ligt hoger dan het HBN niveau behorende bij een overslagdebiet van 1 l/s/m;
- Dijkvakindeling verfijnen voor dijkvak 7, inclusief beschouwen van 2 extra doorsnedes. Dijkvak 7 betreft een relatief lang vak met relatief veel variatie in de geometrie en bodemopbouw. Beschreven in Bijlage A – paragraaf 2.2.

De dijkvakken die op basis van deze optimalisaties voldoen aan de norm zijn niet verder beschouwd bij de gevoeligheidsanalyses en probabilistische berekeningen.

3.2 Beschrijving type berekeningen gevoeligheidsanalyses

Voor de volgende parameters/variabelen zijn gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd:

- Per doorsnede zijn de verschillende waterstanden beschouwd zoals beschreven in paragraaf 2.5.
- Per waterstand is de bijbehorende verkeersbelasting meegenomen (zie Bijlage A, paragraaf 6.1).
- Er zijn aparte berekeningen uitgevoerd voor de freatische lijn in de onverzadigde situatie (overslagdebiet $q < 1$ l/s/m) en de freatische lijn bij volledige verzadiging (overslagdebiet $q > 10$ l/s/m). Voor het verloop van de waterspanningen bij volledige verzadiging zijn bovendien drie verschillende varianten berekend (zie Bijlage A, paragraaf 5.3). Optie 1: zeer conservatief, optie 2: conservatief realistisch, optie 3: optimistisch.
- De berekeningen zijn uitgevoerd met zowel karakteristieke als gemiddelde waarden voor de schuifsterkteparameters, de POP en de waterspanningen
- Daarnaast zijn indien relevant aparte berekeningen gemaakt met een diep en een ondiep glijvlak.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses uit fase 1 voor doorsnede DP43, DP80 en DP104 zijn samengevat in Tabel 3 t/m Tabel 11. De uitvoer van de berekeningen is opgenomen in bijlage B t/m G. In de bijlagen is het berekende glijvlak getoond inclusief de relevante belastingparameters.

3.3 Resultaten vak 6, DP43 (fase 1)

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor doorsnede DP43 zijn samengevat in Tabel 3.

Uit de resultaten volgt dat:

- Waarde van veiligheidfactor WBN kar (incl waterspanningen kar)= **1.253 (diep) / 1.281 (ondiep)**
- Verschil (in SF) tussen gemiddeld en karakteristiek is groot voor diepe glijvlakken (0.3-0.6) en klein voor ondiepe glijvlakken (<0.1). Dit is goed verklaarbaar aangezien ondiepe glijvlakken door maximaal twee gedraineerde lagen heenlopen met een lage spreiding in sterkte. De diepe glijvlakken snijden een groot aantal lagen door en op de ongedraineerde schuifsterkte van deze lagen zit een zeer grote spreiding in zowel de S als de POP.
- De drie varianten voor de schematisering van de waterspanningen veel invloed hebben op het resultaat. Optie 2 (conservatief realistisch) wordt als uitgangspunt voor de probabilistische berekeningen gebruikt.

Keuze glijvlakken voor probabilistische berekeningen:

- Ondiepe glijvlakken door het dijktalud zijn maatgevend in dagelijkse omstandigheden tot waterstand bij uplift 1.2;
- Diepe glijvlakken tot in de watervoerende zandlaag zijn maatgevend bij waterstand vanaf uplift 1.2 in onverzadigde situatie;
- Ondiepe glijvlakken zijn maatgevend in de volledig verzadigde situatie.

NB. De gevonden maatgevende glijvlakken liggen volledig in de lijn der verwachting. Bij een toename van de buitenwaterstand nemen de korrelspanningen af op het grensvlak van de slappe lagen en het watervoerend pakket. Vanaf uplift 1.0 zijn deze minimaal. Een diep glijvlak is in die situatie maatgevend.

	Beschrijving	Waterstand [m NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Verzadiging	Parameterwaarden	Safety factor (SF)	
						Ondiep	Diep
1	Dagelijks	4,41	15	Nee	Karakteristiek	1,441	1,651
2	Dagelijks	4,00	15	Nee	Gemiddeld	1,507	2,289
3	Uplift 1,2	8,21	15	Nee	Karakteristiek	1,443	1,419
4	Uplift 1,2	8,21	15	Nee	Gemiddeld	1,507	1,761
5	Uplift 1,0	8,90	0	Nee	Karakteristiek	1,325	1,268
6	Uplift 1,0	8,90	0	Nee	Gemiddeld	1,588	1,591
7	WBN	9,11	0	Nee	Karakteristiek	1,281	1,253
8	WBN	9,11	0	Nee	Gemiddeld	1,585	1,571
9	1 l/s/m	8,52	8	Nee	Karakteristiek	1,419	1,350
10	1 l/s/m	8,52	8	Nee	Gemiddeld	1,546	1,692
11	10 l/s/m	8,94	0	Nee	Karakteristiek	1,331	1,262
12	10 l/s/m	8,94	0	Nee	Gemiddeld	1,578	1,581
13	10 l/s/m Optie 1	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	0,806	1,159
14	10 l/s/m Optie 1	n.v.t.	0	Ja	Gemiddeld	0,845	1,499
15	10 l/s/m Optie 2	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	0,971	1,243
16	10 l/s/m Optie 3	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	1,175	1,250
17	WBN Ongedraineerd	9,11	0	Nee	Karakteristiek	1,240	1,267
18	WBN Ongedraineerd	9,11	0	Nee	Gemiddeld	1,896	1,674

Tabel 3 resultaten gevoeligheidsanalyses DP43

3.4 Resultaten vak 6a, DP44 (fase 2)

Optimalisaties

De resultaten van de optimalisaties en gevoeligheidsanalyses voor doorsnede DP44 zijn samengevat in Tabel 4.

Uit de resultaten volgt dat:

- De doorsnede voldoet aan de vereiste norm inclusief schematiseringsfactor na het doorvoeren van de beschreven optimalisaties;
 - Gebruik van lokale waarden van POP;
 - Correctie freatische lijn;
 - Hogere sterkte zand.
- Alleen het ondiepe glijvlak door het binnentalud voldoet niet aan de vereiste veiligheidsfactor. Gezien de beschikbare restbreedte van circa 15 m resulteert dit echter niet tot falen.
- Invloed meenemen van laagste waterstand als extra fase heeft marginaal invloed (<1%) op de berekende veiligheidsfactor bij een diep glijvlak. Bij een opdiep glijvlak heeft deze fase geen invloed aangezien het glijvlak alleen door gedraineerde lagen loopt.
- De doorsnede zeer ruim voldoet aan de vereiste norm indien de beschikbare restbreedte volledig wordt benut (=restprofiel met kruin van 3 m breedte).
- De doorsnede nog steeds ruim voldoet aan de vereiste norm indien de beschikbare restbreedte volledig wordt benut (=restprofiel met kruin van 3 m breedte) zonder het toepassen van de lokale waarden voor POP.

Aangezien de optimalisaties al resulteren in een voldoende score zijn de semi-probabilistische gevoeligheidsberekeningen ten behoeve van de FORM-analyses voor deze doorsnede niet uitgevoerd.

Beschrijving [-]	Safety factor		Score
	Eis	Berekend	
6a Veiligheidsoordeel maart 2019 incl. restbreedtemethode, intredelijnglijvlak -5m t.o.v. binnenkruinlijn + 50% van lokale POP-waarde	1,36	1,336	O *1
6a Optimalisatie incl. restbreedtemethode, intredelijnglijvlak -5m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,408	V
6a Gevoeligheid excl. restbreedtemethode, intredelijnglijvlak -1m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,306	O
6a Gevoeligheid incl. restbreedtemethode, intredelijnglijvlak -5m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + geen laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,398	V
6a Gevoeligheid incl. volledig benutten restbreedte, intredelijnglijvlak -15m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + hogere sterkte zand	1,36	1,596	V
6a Gevoeligheid incl. volledig benutten restbreedte, intredelijnglijvlak -15m t.o.v. BIK + default POP-waardes + hogere sterkte zand	1,36	1,539	V
*1. De rekenprofielen uit de semi-probabilistische beoordeling [6] zijn omgebouwd om deze geschikt te maken voor de gevoeligheidsberekeningen en probabilistische FORM analyses. De berekende veiligheidsfactor kan hierdoor iets afwijken van het in [6] gerapporteerde resultaat.			

Tabel 4 resultaten optimalisaties en gevoeligheidsanalyses dijkvak 6a

3.5 Resultaten vak 7, DP54, DP58 en DP61 (fase 2)

Optimalisaties

Voor vak 7 is allereerst een verfijningsslag uitgevoerd voor de dijkvakindeling getoond in Tabel 5. Vak 7 betreft een relatief lang vak met relatief veel variatie in de geometrie. De aangepaste vakindeling is beschreven in Bijlage A – paragraaf 2.2. Per doorsnede is conform de aanpak in [6] de lokaal aanwezige bodemopbouw geschematiseerd gebaseerd op de meest nabij gelegen raai sonderingen. Voor de eerste stap van de optimalisaties is conservatief gerekend met de default waarden voor POP en niet de lokaal gemeten waarden.

Vak	Dwarsprofiel		Lengte [m]	Locatie profiel geometrie	Locatie bodemopbouw	Naam profiel
	van	tot				
7a	DP50+20m	DP54+70m	450	DP53+70	DP53+40	DP54
7b	DP54+70m	DP59+20m	454	DP58+65	DP57+90	DP58
7c	DP59+20m	DP61+45m	225	DP60+45	DP61+00	DP61

Tabel 5. Verfijning indeling dijkvak 7

De resultaten van de optimalisaties en gevoeligheidsanalyses voor vak 7a t/m 7c zijn samengevat in Tabel 6.

Uit de resultaten volgt dat:

- De doorsnedes van de nieuwe dijkvakken 7a en 7c voldoen aan de vereiste norm inclusief schematiseringsfactor.
- Invloed meenemen van laagste waterstand als extra fase heeft marginaal invloed (<1%) op de berekende veiligheidsfactor bij een diep glijvlak. Bij een opdiep glijvlak heeft deze fase geen invloed aangezien het glijvlak alleen door gedraineerde lagen loopt.
- De bestaande doorsnede van vak 7, nu representatief voor dijkvak 7b niet voldoet aan de norm, de optimalisaties hebben hier nagenoeg geen effect.

Aangezien de optimalisaties voor dijkvak 7a en 7c resulteren in een voldoende score zijn de semi-probabilistische gevoeligheidsberekeningen ten behoeve van de FORM-analyses voor deze doorsnedes niet uitgevoerd.

Beschrijving [-]	Safety factor		Score	
	Eis	Berekend		
7	Vak 7(b) - veiligheidsoordeel maart 2019, default POP-waarden	1,36	1,143	O *1
7a	Vak 7a - optimalisatie verfijning vakindeling, default POP-waarden + laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,425	V
7b	Vak 7b - default POP-waarden + laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,150	O
7c	Vak 7c - optimalisatie verfijning vakindeling, default POP-waarden + laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,456	V

*1. De rekenprofielen uit de semi-probabilistische beoordeling [6] zijn omgebouwd om deze geschikt te maken voor de gevoeligheidsberekeningen en probabilistische FORM analyses. De berekende veiligheidsfactor kan hierdoor iets afwijken van het in [6] gerapporteerde resultaat.

Tabel 6 resultaten optimalisaties en gevoeligheidsanalyses dijkvak 7a, 7b en 7c

Gevoeligheidsberekeningen

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor dijkvak 7b, doorsnede DP58 zijn samengevat in Tabel 7.

Uit de resultaten volgt dat:

- Diepe glijvlakken zijn in alle onverzadigde belastingsituaties ruim maatgevend. De waarde van de veiligheidsfactor WBN kar (incl waterspanningen kar) = **1.167 (diep) / 1.596 (ondiep)**.
- Verschil (in SF) tussen gemiddeld en karakteristiek is relatief groot voor zowel diepe als ondiepe glijvlakken (0.25-0.30).

Keuze glijvlakken voor probabilistische berekeningen:

- Diepe glijvlakken tot in de watervoerende zandlaag zijn maatgevend bij alle waterstanden in de onverzadigde situatie.
- Ondiepe glijvlakken zijn maatgevend in de volledig verzadigde situatie.

	Beschrijving	Waterstand [m NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Verzadiging	Parameterwaarden	Safety factor (SF)	
						Ondiep	Diep
1	Dagelijks	4,000	15	Nee	Karakteristiek	1,855	1,496
2	Dagelijks	4,000	15	Nee	Gemiddeld	1,951	1,810
3	Uplift 1,2	8,250	15	Nee	Karakteristiek	1,682	1,279
4	Uplift 1,2	8,250	15	Nee	Gemiddeld	1,897	1,537
5	Uplift 1,0	9,030	0	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,174
6	Uplift 1,0	9,030	0	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,447
7	WBN	9,150	0	Nee	Karakteristiek	1,596	1,167
8	WBN	9,150	0	Nee	Gemiddeld	1,824	1,447
9	1 l/s/m	8,370	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,257
10	1 l/s/m	8,370	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,525
11	10 l/s/m	8,650	8	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,217
12	10 l/s/m	8,650	8	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,489
15	Verzadigd Optie 2	n.v.t.	8	Ja	Karakteristiek	1,078	n.v.t.
16	Verzadigd Optie 2	n.v.t.	8	Ja	Gemiddeld	1,141	1,385

Tabel 7 resultaten gevoeligheidsanalyses DP58

3.6 Resultaten vak 9, DP74 (fase 2)

Optimalisaties

De resultaten van de optimalisaties en gevoeligheidsanalyses voor doorsnede DP74 zijn samengevat in Tabel 8

Uit de resultaten volgt dat:

- De doorsnede niet voldoet aan de vereiste norm inclusief schematiseringsfactor na het doorvoeren van de beschreven optimalisaties;
 - Toevoegen fase met laagste waterstand.
 - Hogere sterkte zand.
- Invloed meenemen van laagste waterstand als extra fase heeft geen invloed op de berekende veiligheidsfactor.

	Beschrijving [-]	Safety factor		Score
		Eis	Berekend	
9	Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden	1,36	1,274	O *1
9	Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden + laagste WS + hogere sterkte zand	1,36	1,323	O
9	Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden + hogere sterkte zand	1,36	1,322	O

*1. De rekenprofielen uit de semi-probabilistische beoordeling [6] zijn omgebouwd om deze geschikt te maken voor de gevoeligheidsberekeningen en probabilistische FORM analyses. De berekende veiligheidsfactor kan hierdoor iets afwijken van het in [6] gerapporteerde resultaat.

Tabel 8 resultaten optimalisaties en gevoeligheidsanalyses dijkvak 9

Gevoeligheidsberekeningen

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor dijkvak 9, doorsnede DP74 zijn samengevat in Tabel 9

Uit de resultaten volgt dat:

- Diepe glijvlakken zijn in alle onverzadigde belastingsituaties maatgevend. De waarde van de veiligheidfactor WBN kar (incl waterspanningen kar)= **1.298 (diep) / 1.473 (ondiep)**.
- Vanwege de ondiepe ligging van het watervoerende zandpakket is het verschil tussen diepe glijvlakken door het watervoerende pakket en ondiepe glijvlakken door het binnentald relatief klein.
- Verschil (in SF) tussen gemiddeld en karakteristiek is relatief klein voor zowel diepe als ondiepe glijvlakken (0.10-0.15).

Keuze glijvlakken voor probabilistische berekeningen:

- Diepe glijvlakken tot in de watervoerende zandlaag zijn met uitzondering van de dagelijkse situatie maatgevend in de onverzadigde situatie.
- Ondiepe glijvlakken zijn maatgevend in de volledig verzadigde situatie.

	Beschrijving	Waterstand [m NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Verzadiging	Parameterwaarden	Safety factor (SF)	
						Ondiep	Diep
1	Dagelijks	4,00	15	Nee	Karakteristiek	1,882	n.v.t.
2	Dagelijks	4,00	15	Nee	Gemiddeld	1,988	n.v.t.
3	Uplift 1,2	6,33	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,665
4	Uplift 1,2	6,33	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,790
5	Uplift 1,0	6,53	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,577
6	Uplift 1,0	6,53	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,698
7	WBN	9,09	0	Nee	Karakteristiek	1,473	1,298
8	WBN	9,09	0	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,464
9	1 l/s/m	8,36	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,397
10	1 l/s/m	8,36	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,539
15	Verzadigd Optie 2	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	1,138	n.v.t.
16	Verzadigd Optie 2	n.v.t.	0	Ja	Gemiddeld	1,205	1,272

Tabel 9 resultaten gevoeligheidsanalyses DP74

3.7 Resultaten vak 10, DP80 (fase 1)

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor doorsnede DP80 zijn samengevat in Tabel 10.

Uit de resultaten volgt dat:

- Waarde van veiligheidfactor WBN kar (incl waterspanningen kar)= **1.223 (ondiep)**
- Verschil (in SF) tussen gemiddeld en karakteristiek is klein voor alle glijvlakken (~ 0.1) Dit is goed verklaarbaar aangezien zowel de diepe als ondiepe glijvlakken door maximaal drie gedraineerde lagen heenlopen met een lage spreiding in sterkte. Daarnaast is de stijghoogte die hier veel invloed heeft als een vaste waarde opgegeven.
- De drie varianten voor de schematisering van de waterspanningen veel invloed hebben op het resultaat. Optie 2 (conservatief realistisch) wordt als uitgangspunt voor de probabilistische berekeningen gebruikt.

Keuze glijvlakken voor probabilistische berekeningen:

- Diepe glijvlakken tot in de watervoerende zandlaag zijn maatgevend in alle onverzadigde situaties. NB: vanwege de hoge ligging van de watervoerende zandlaag zijn deze glijvlakken relatief ondiep.
- Ondiepe glijvlakken door het talud zijn maatgevend in de verzadigde situatie.

	Beschrijving	Waterstand [m NAP]	Verkeersbelasting [kPa]	Verzadiging	Parameterwaarden	Safety factor (SF)	
						Diep	Ondiep
1	Dagelijks	5,82	15	Nee	Karakteristiek	1,947	1,703
2	Dagelijks	5,82	15	Nee	Gemiddeld	2,044	n.v.t.
3	Uplift 1,2	6,73	15	Nee	Karakteristiek	1,803	1,747
4	Uplift 1,2	6,73	15	Nee	Gemiddeld	1,905	n.v.t.
5	Uplift 1,0	7,1	15	Nee	Karakteristiek	1,562	1,512
6	Uplift 1,0	7,1	15	Nee	Gemiddeld	1,675	n.v.t.
7	WBN	9,01	0	Nee	Karakteristiek	1,223	n.v.t.
8	WBN	9,01	0	Nee	Gemiddeld	1,301	n.v.t.
9	1 l/s/m	8,66	8	Nee	Karakteristiek	1,249	n.v.t.
10	1 l/s/m	8,66	8	Nee	Gemiddeld	1,375	n.v.t.
11	10 l/s/m	8,91	0	Nee	Karakteristiek	1,223	n.v.t.
12	10 l/s/m	8,91	0	Nee	Gemiddeld	1,315	n.v.t.
13	10 l/s/m Optie 1	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	n.v.t.	0,936
14	10 l/s/m Optie 1	n.v.t.	0	Ja	Gemiddeld	1,121	n.v.t.
15	10 l/s/m Optie 2	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	n.v.t.	1,143
16	10 l/s/m Optie 3	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	1,318	1,386

Tabel 10 resultaten gevoeligheidsanalyses DP80

3.8 Resultaten vak 16, DP104 (fase 1)

De resultaten van de gevoeligheidsanalyses voor doorsnede DP104 zijn samengevat in Tabel 11.

Uit de resultaten volgt dat:

- Waarde van veiligheidsfactor WBN kar (incl waterspanningen kar)= **1.259 (diep)**;
- Verschil (in SF) tussen gemiddeld en karakteristiek is groot voor diepe glijvlakken (0.3). Dit is goed verklaarbaar aangezien de diepe glijvlakken een relatief groot aantal lagen doorsnijden. Op de ongedraineerde schuifsterkte van deze lagen zit een relatief grote spreiding op zowel de S als de POP. Daarnaast zit er ook relatief veel verschil tussen de ligging van de freatische lijn bij gemiddelde en de karakteristieke waarden.
- De drie varianten voor de schematisering van de waterspanningen veel invloed hebben op het resultaat. Optie 2 (conservatief realistisch) wordt als uitgangspunt voor de probabilistische berekeningen gebruikt.

Keuze glijvlakken voor probabilistische berekeningen:

- Diepe glijvlakken zijn maatgevend in alle onverzadigde belastingsituaties.
- Vanwege de zeer hoge ligging van de binnenberm (circa 1,5 m onder WBN) zijn de veiligheidsfactoren voor ondiepe glijvlakken aanzienlijk hoger dan de diepe glijvlakken. De freatische lijn ligt altijd lager dan het maaiveldniveau van de berm. Ondiepe glijvlakken worden dus niet beïnvloed door de buitenwaterstand.
- Voor de probabilistische berekeningen zijn zowel met het maatgevende glijvlak bij karakteristieke waarden als bij de gemiddelde waarden berekeningen uitgevoerd.
- Ondiepe glijvlakken zijn maatgevend in de verzadigde situatie.

NB. De gevonden maatgevende glijvlakken liggen volledig in de lijn der verwachting. Bij een toename van de buitenwaterstand nemen de korrelspanningen af op het grensvlak van de slappe lagen en het watervoerend pakket. Vanaf uplift 1.0 zijn deze minimaal. Een diep glijvlak is in die situatie maatgevend.

	Beschrijving	Waterstand	Verkeersbelasting	Verzadiging	Parameterwaarden	Safety factor (SF)	
		[m NAP]	[kPa]			Diep	Ondiep
1	Dagelijks	3,00	15	Nee	Karakteristiek	1,555	n.v.t.
2	Dagelijks	3,00	15	Nee	Gemiddeld	1,902	n.v.t.
3	Uplift 1,2	5,64	15	Nee	Karakteristiek	1,385	n.v.t.
4	Uplift 1,2	5,64	15	Nee	Gemiddeld	1,754	n.v.t.
5	Uplift 1,0	6,23	15	Nee	Karakteristiek	1,307	n.v.t.
6	Uplift 1,0	6,23	15	Nee	Gemiddeld	1,577	n.v.t.
7	WBN	8,76	0	Nee	Karakteristiek	1,259	n.v.t.
8	WBN	8,76	0	Nee	Gemiddeld	1,560	n.v.t.
9	1_l_s_m	8,38	8	Nee	Karakteristiek	1,267	n.v.t.
10	1_l_s_m	8,38	8	Nee	Gemiddeld	1,559	n.v.t.
11	10_l_s_m	8,60	0	Nee	Karakteristiek	1,263	n.v.t.
12	10_l_s_m	8,60	0	Nee	Gemiddeld	1,565	n.v.t.
13	10 l/s/m Optie 1	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	n.v.t.	0,735
14	10 l/s/m Optie 1	n.v.t.	0	Ja	Gemiddeld	n.v.t.	0,762
15	10 l/s/m Optie 2	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	n.v.t.	0,878
16	10 l/s/m Optie 3	n.v.t.	0	Ja	Karakteristiek	n.v.t.	1,172

Tabel 11 resultaten gevoeligheidsanalyses DP104

4 Resultaten probabilistische FORM analyses

4.1 Aanpak probabilistische berekeningen

- Per doorsnede zijn de verschillende waterstanden beschouwd zoals beschreven in paragraaf 4.
- Per waterstand is de bijbehorende verkeersbelasting meegenomen (zie Bijlage A, paragraaf 6.1).
- Er zijn aparte berekeningen uitgevoerd voor de freatische lijn in de onverzadigde situatie (overslagdebiet $q < 1$ l/s/m) en de freatische lijn bij volledige verzadiging (overslagdebiet $q > 10$ l/s/m). Voor het verloop van de waterspanningen bij volledige verzadiging is optie 2 (conservatief realistisch) toegepast (zie Bijlage A, paragraaf 5.3).
- De kans op overslag $q < 1$ l/s/m en $q < 10$ l/s/m gegeven de waterstand is vastgesteld voor doorsnede DP43 en DP104 (zie Bijlage H).

4.2 Resultaten vak 6, DP43 (fase 1)

Figuur 8 toont de resultaten van de probabilistische berekeningen zonder en met infiltratie (door overslag), ook is de gecombineerde 'fragility curve' weergegeven voor twee varianten:

- volledige verzadiging treedt op bij een overslagdebiet $q > 1$ l/s/m;
- volledige verzadiging treedt op bij een overslagdebiet $q > 10$ l/s/m.

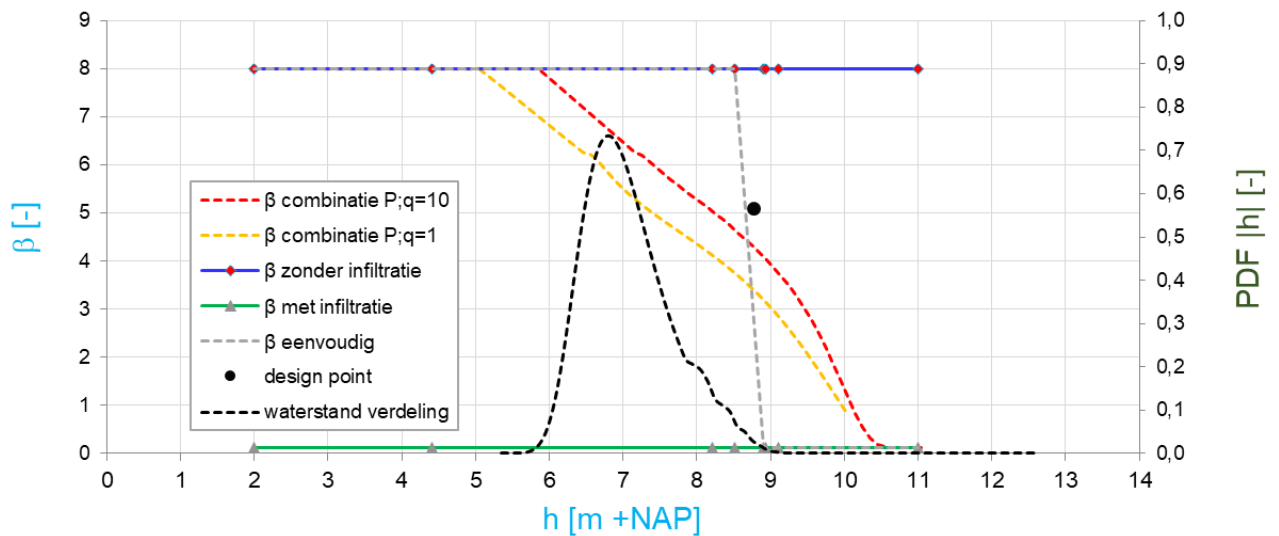
Hierbij is rekening gehouden met de kans op het optreden van dit overslagdebiet gegeven de waterstand (zie bijlage E). In de grafiek is ook de kansverdeling van de buitenwaterstand (PDF=Probability Density Function) opgenomen. De resultaten zijn tevens weergegeven in Tabel 12.

Uit de resultaten volgt dat de betrouwbaarheidsindex van de doorsnede zonder infiltratie door overslag ($> 8,00$) ruimschoots voldoet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46). Uit de resultaten volgt dat de betrouwbaarheid tot een waterstand van NAP +8,21 m niet beïnvloed wordt door de buitenwaterstand. Bij hogere waterstanden neemt de betrouwbaarheid snel af. Deze blijft echter ruimschoots boven de eis.

De betrouwbaarheidsindex gegeven het optreden van volledige infiltratie door overslag is zeer laag (0,12). Oftewel, indien er volledige infiltratie plaats vindt bij grote hoeveelheden overslag is de berekende kans op falen bijna 50%.

Indien verondersteld wordt dat volledige verzadiging kan optreden bij een overslagdebiet $q > 10$ l/s/m, volgt voor de faalkans na integratie van de 'fragility curves' een betrouwbaarheidsindex van (5,10) met een bijbehorende faalkans per jaar van $1,7 \times 10^{-7}$. De doorsnede voldoet in dit geval net niet aan de minimaal vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46).

Indien volledige verzadiging echter al eerder kan optreden, bijvoorbeeld bij een overslagdebiet $q > 1$ l/s/m, volgt voor de faalkans na integratie van de 'fragility curves' een betrouwbaarheidsindex van (4,26) met een bijbehorende faalkans per jaar van $1,0 \times 10^{-5}$. In dat geval wordt ruim niet meer voldaan aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46)



Figuur 8. 'Fragility curve' met en zonder infiltratie inclusief gecombineerde curve DP43 ¹

Situatie	h [m NAP]	Belasting [kPa]	β geen infiltratie ² [-]	β infiltratie [-]
Dagelijks	4,411	15	10,486	0,124
Uplift 1,2	8,210	15	10,488	0,124
Overslag 1 l/s/m	8,520	8	10,334	0,124
Uplift 1,0	8,900	0	9,318	0,124
Overslag 10 l/s/m	8,940	0	9,012	0,124
WBN	9,110	0	8,436	0,124

RESULTAAT ³ (na integratie van fragility curve)	Geen Infiltratie	Combinatie P;q=10	Combinatie P;q=1	Beoordeling
Beta	8,00	5,10	4,26	VOLDOET NIET
Faalkans/Jaar	6,22E-16	1,70E-07	1,02E-05	
Design Point Waterstand [m NAP]	n.v.t	8,76	8,64	

Tabel 12 betrouwbaarheidsindices bij maatgevend glijvlak en gecombineerde faalkans DP43.

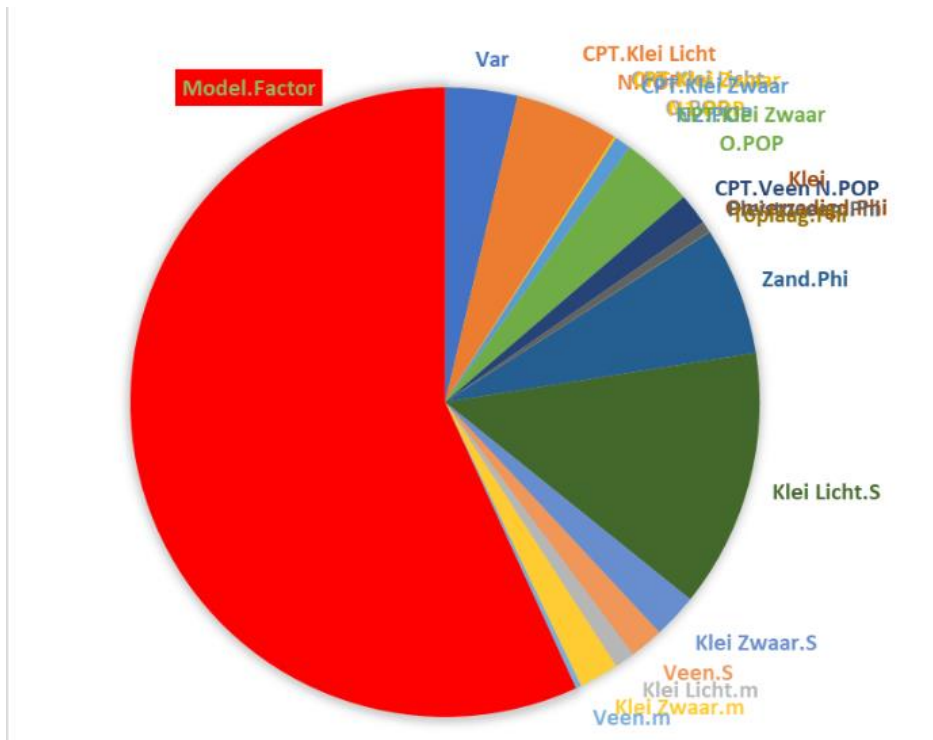
De invloedscoëfficiënten voor de situatie zonder infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 9. De top 5 invloedscoëfficiënten zijn:

1. modelfactor;
2. ongedraineerde schuifsterkte ratio S lichte klei;
3. hoek van inwendige wrijving van zand;
4. POP lichte klei naast;
5. freatische lijn in de dijk (var).

¹ Bij waterstanden <NAP 6,45 en NAP 7,15 m is de kans op overgeslag geminimaliseerd op 3,67 E-10 per jaar. Dit betreft een softwarematige beperking. Dit resulteert in het ontbreken van data in de beta-combinatielijnen, de lijnen zijn geëxtropeerd naar de beta lijn zonder infiltratie. NB. Dit betreft puur visualisatie van de resultaten, het ontbreken van deze informatie bij lage waterstanden heeft geen invloed op de berekende faalkans na integratie.

² De in de grafiek getoonde beta's zijn gemaximaliseerd op een waarde van 8 bij het combineren van de faalkans zonder en met infiltratie. Dit betreft een softwarematige beperking. NB. Beta > 8 betreft een zodanig lage faalkans (circa 6 E-16 per jaar) dat hogere beta's ook niet relevant zijn.

³ De beta na inegratie van de fragility curve is maximaal 8. Dit betreft een softwarematige beperking.

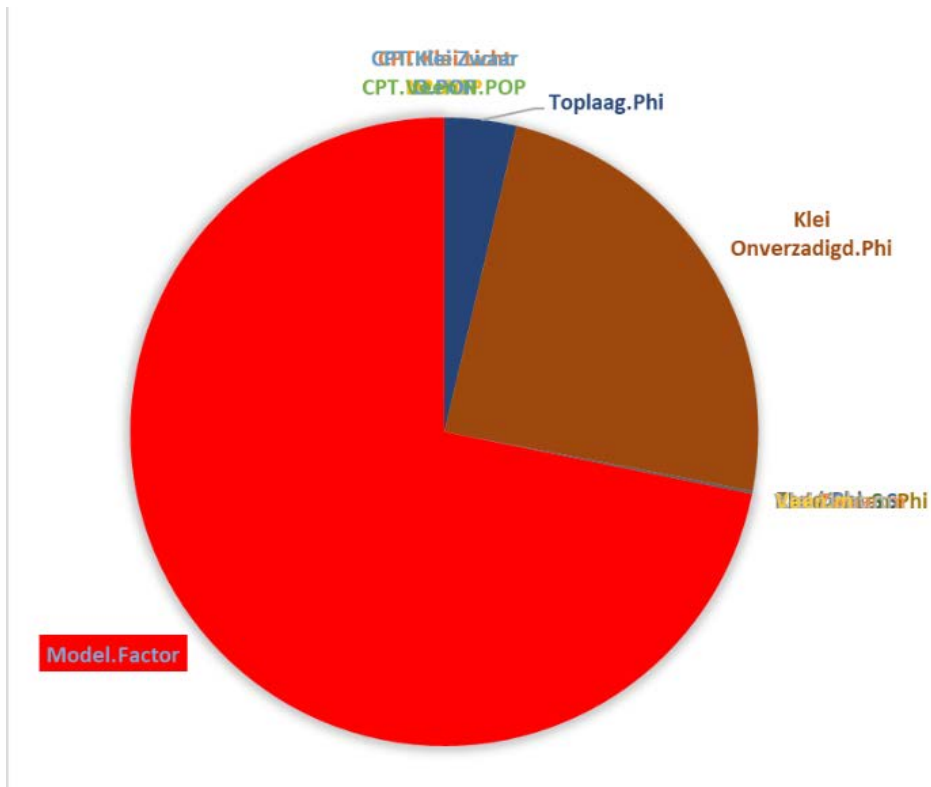


Figuur 9. Invloedscoëfficiënten zonder infiltratie DP43

De invloedscoëfficiënten voor de situatie met volledige infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 10.

De top 3 invloedscoëfficiënten zijn:

1. modelfactor;
2. hoek van inwendige wrijving van klei onverzadigd (dijksmateriaal);
3. hoek van inwendige wrijving van toplaag.

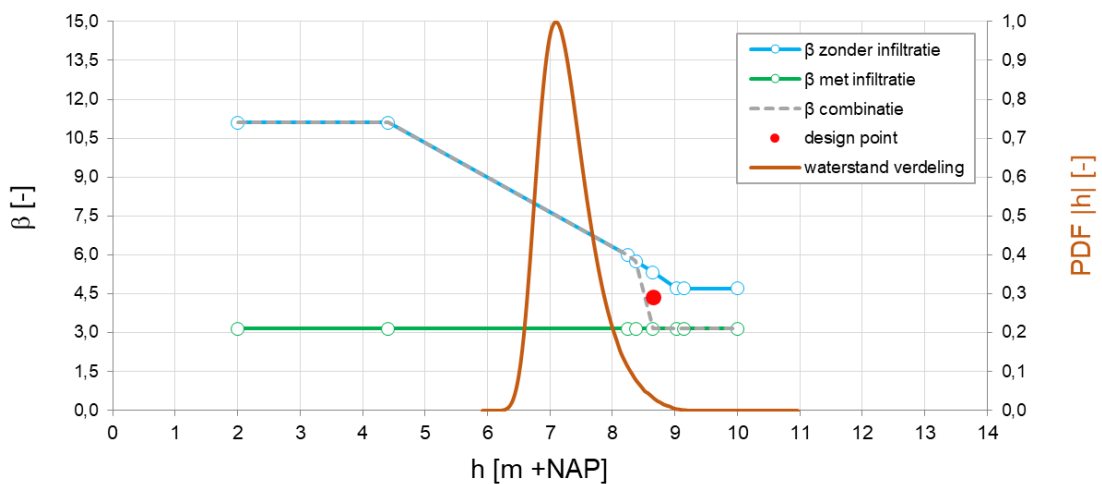


Figuur 10. Invloedscoëfficiënten met infiltratie DP43

4.3 Resultaten vak 7b, DP58 (fase 2)

Figuur 11 toont de resultaten van de probabilistische berekeningen zonder en met infiltratie (door overslag). Ook is in deze figuur de gecombineerde 'fragility curve' weergegeven, evenals de kansverdeling van de buitenwaterstand (PDF=Probability Density Function). De resultaten zijn tevens weergegeven in Tabel 13.

Uit de resultaten volgt dat de betrouwbaarheidsindex van de doorsnede zonder infiltratie door overslag (5,90) ruim voldoet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46). De betrouwbaarheidsindex van de gecombineerde fragility curve met infiltratie (4,37) voldoet niet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46)



Figuur 11. 'Fragility curve' met en zonder infiltratie inclusief gecombineerde curve DP58

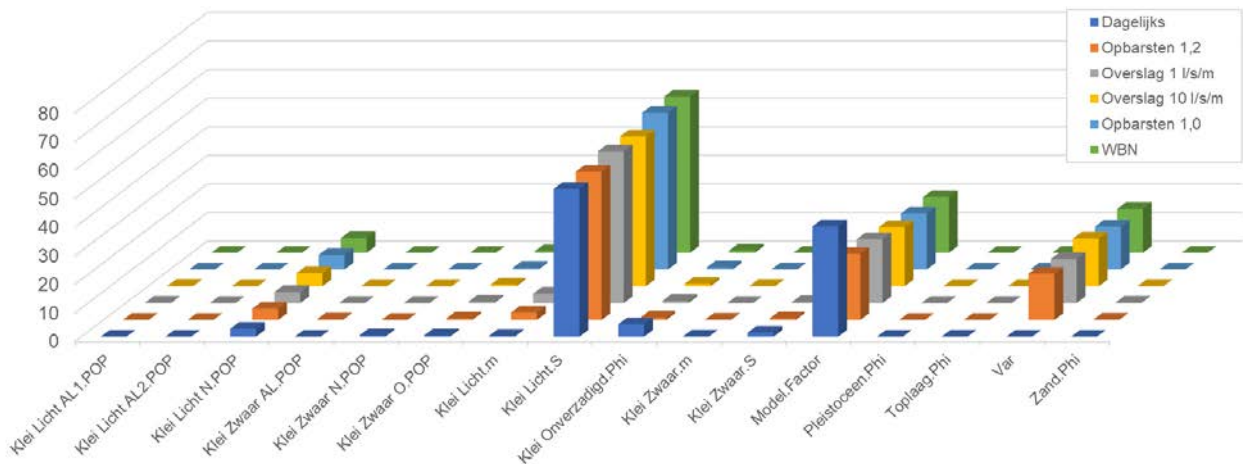
Situatie	h [m NAP]	Belasting [kPa]	β geen infiltratie [-]	β infiltratie [-]
Dagelijks	4,41	15	11,098	3,156
Opbarsten 1,2	8,25	15	5,977	3,156
Overslag 1 l/s/m	8,37	15	5,757	3,156
Overslag 10 l/s/m	8,65	8	5,326	3,156
Opbarsten 1,0	9,03	0	4,706	3,156
WBN	9,15	0	4,698	3,156

RESULTAAT (na integratie van fragility curve)	Geen Infiltratie	Combinatie	Beoordeling
Beta	5,90	4,37	VOLDOET NIET
Faalkans/Jaar	1,82E-09	6,21E-06	
Design Point Waterstand [m NAP]	8,82	8,65	

Tabel 13 betrouwbaarheidsindices bij maatgevend glijvlak en gecombineerde faalkans DP58.

De invloedscoëfficiënten voor de situatie zonder infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 12. De top 5 invloedscoëfficiënten zijn:

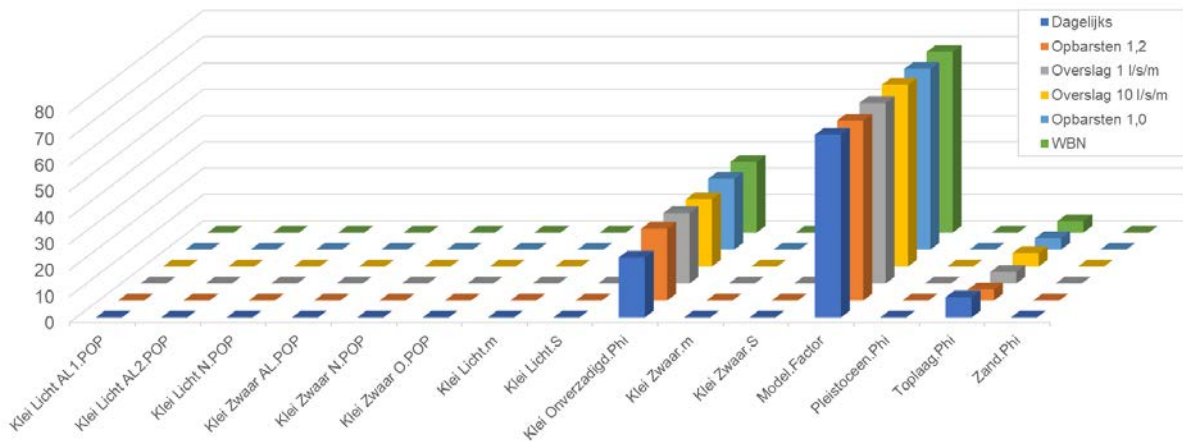
1. ongedraineerde schuifsterkte ratio S lichte klei;
2. modelfactor;
3. freatische lijn in de dijk (var);
4. POP lichte klei naast;
5. macht lichte klei.



Figuur 12. Invloedscoëfficiënten zonder infiltratie DP58

De invloedscoëfficiënten voor de situatie met volledige infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 13. De top 3 invloedscoëfficiënten zijn:

1. modelfactor;
2. hoek van inwendige wrijving van klei onverzadigd (dijksmateriaal);
3. hoek van inwendige wrijving van toplaag.

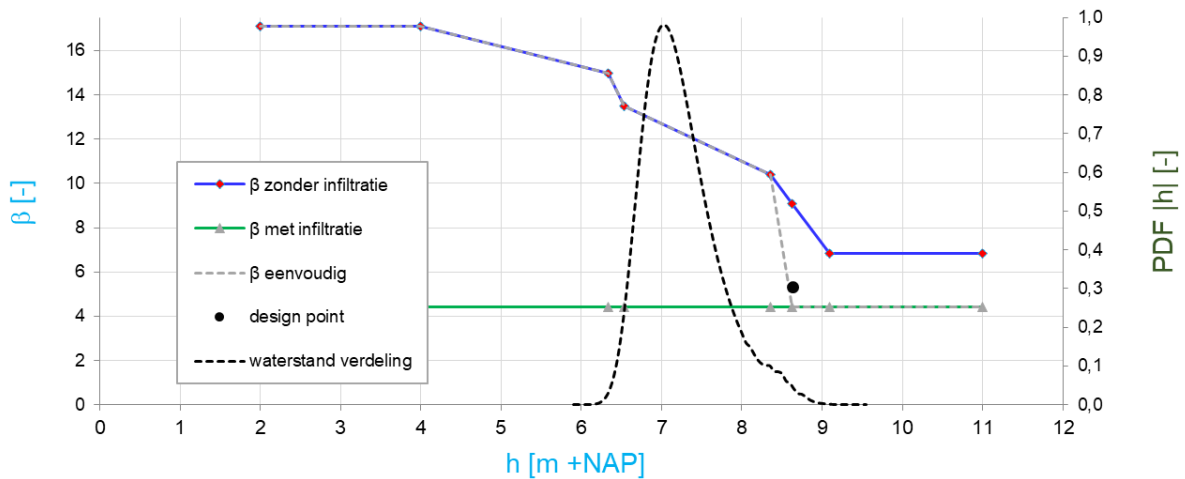


Figuur 13. Invloedscoëfficiënten met infiltratie DP58

4.4 Resultaten vak 9, DP74 (fase 2)

Figuur 14 toont de resultaten van de probabilistische berekeningen zonder en met infiltratie (door overslag). Ook is in deze figuur de gecombineerde 'fragility curve' weergegeven, evenals de kansverdeling van de buitenwaterstand (PDF=Probability Density Function). De resultaten zijn tevens weergegeven in Tabel 14.

Uit de resultaten volgt dat de betrouwbaarheidsindex van de doorsnede zonder infiltratie door overslag (7,98) zeer ruim voldoet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46). De betrouwbaarheidsindex van de gecombineerde fragility curve met infiltratie (5,35) voldoet net niet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46)



Figuur 14. 'Fragility curve' met en zonder infiltratie inclusief gecombineerde curve DP74

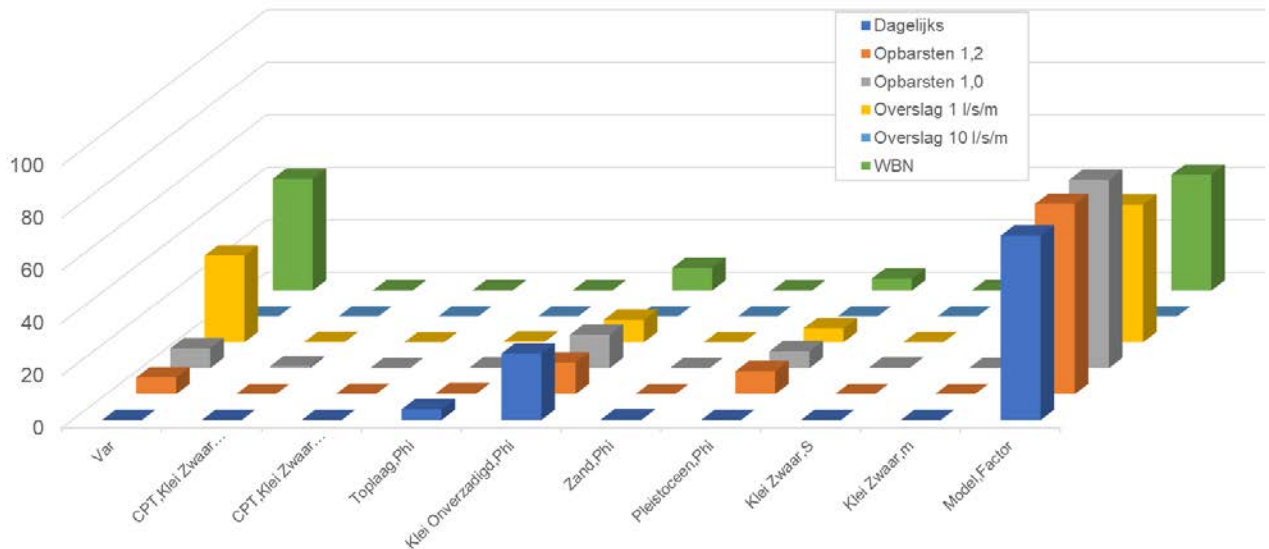
Situatie	h [m NAP]	Belasting [kPa]	β geen infiltratie [-]	β infiltratie [-]
Dagelijks	4,00	15	17,10	4,42
Uplift 1,2	6,33	15	15,00	4,42
Uplift 1,0	6,53	15	13,50	4,42
Overslag 1 l/s/m	8,36	8	10,40	4,42
Overslag 10 l/s/m ⁴	8,63	0	9,10	4,42
WBN	9,09	0	6,82	4,42

RESULTAAT (na integratie van fragility curve)	Geen Infiltratie		Beoordeling
Beta	Combinatie		VOLDOET NIET
Faalkans/Jaar	7,32E-16	4,40E-08	
Design Point Waterstand [m NAP]	9,09	8,63	

Tabel 14 betrouwbaarheidsindices bij maatgevend glijvlak en gecombineerde faalkans DP74.

De invloedscoëfficiënten voor de situatie zonder infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 15. De top 5 invloedscoëfficiënten zijn:

1. modelfactor;
2. freatische lijn in de dijk (var);
3. hoek van inwendige wrijving van klei onverzadigd (dijksmateriaal);
4. hoek van inwendige wrijving van zand Pleistoceen;
5. n.v.t.



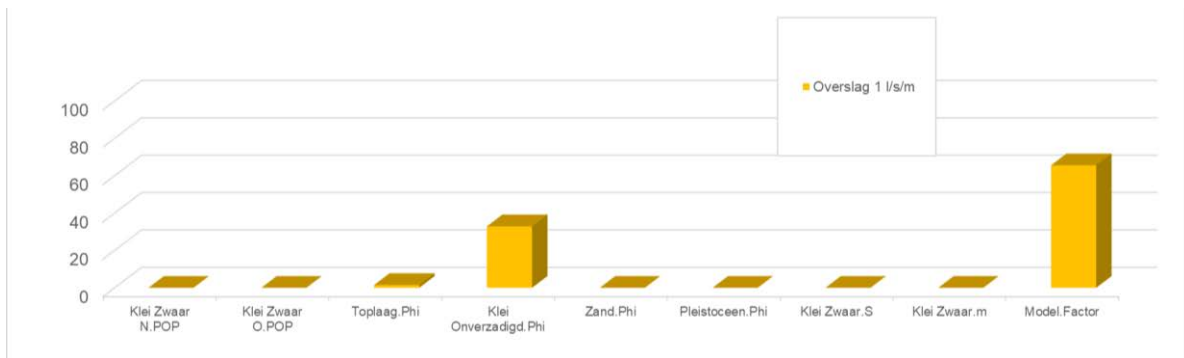
Figuur 15. Invloedscoëfficiënten zonder infiltratie DP74

De invloedscoëfficiënten voor de situatie met volledige infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 16. De top 3 invloedscoëfficiënten zijn:

1. modelfactor;
2. hoek van inwendige wrijving van klei onverzadigd (dijksmateriaal);

⁴ De beta bij een buitenwaterstand van +8,63 m NAP is geïnterpoleerd op basis van de onder en bovenliggende waarde. Deze keuze is hier gemaakt omdat verschil in waterstand beperkt is en de beta bij 10 l/s/m heeft alleen invloed op de totale faalkans voor de situatie zonder infiltratie. De beta na integratie is bijna 8. Deze waarde ligt zodanig ver boven de norm dat er geen risico bestaat dat het hieruitvolgende oordeel nog kan wijzigen.

3. hoek van inwendige wrijving van topklaag.



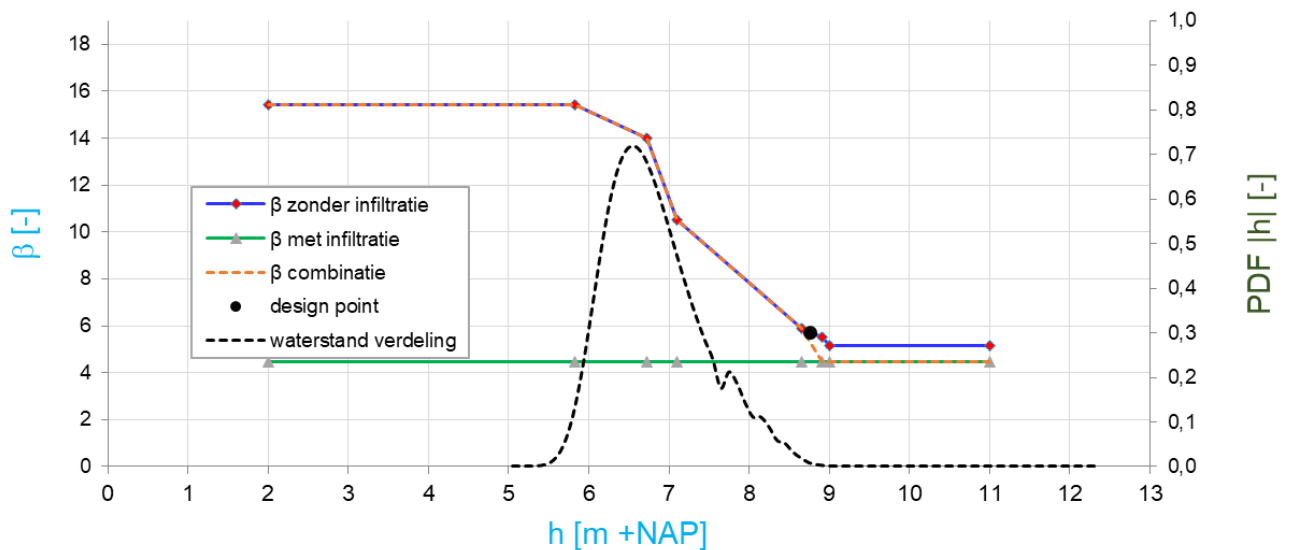
Figuur 16. Invloedscoëfficiënten met infiltratie DP74

4.5 Resultaten vak 10, DP80 (fase 1)

Figuur 17 toont de resultaten van de probabilistische berekeningen zonder en met infiltratie (door overslag). Ook is in deze figuur de gecombineerde 'fragility curve' weergegeven, evenals de kansverdeling van de buitenwaterstand (PDF=Probability Density Function). De resultaten zijn tevens weergegeven in Tabel 15.

Uit de resultaten volgt dat de betrouwbaarheidsindex van de doorsnede na integratie van de fragility curves, zowel zonder (6,42) als met infiltratie (5,72) ruimschoots voldoet aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46).

Bij buitenwaterstanden tot circa NAP +8,0 m is de betrouwbaarheid zeer hoog (>8,00), aflopend tot (5,16) bij WBN en (4,48) bij volledige infiltratie. Er is conservatief aangenomen dat bij een waterstand van NAP 8,91 m volledige infiltratie is opgetreden. De betrouwbaarheidsindex gegeven het optreden van volledige infiltratie door overslag is vergeleken met de overige doorsnedes relatief hoog (4,48). Dit kan verklaard worden door het flauwere binnentalud.



Figuur 17. 'Fragility curve' met en zonder infiltratie inclusief gecombineerde curve DP80

Situatie	h [m NAP]	Belasting [kPa]	β geen infiltratie [-]	β combinatie [-]
Dagelijks	5,820	15	15,400	15,40
Uplift 1,2	6,730	15	14,000	14,00
Uplift 1,0	7,100	15	10,500	10,50
Overslag 1 l/s/m	8,660	8	5,890	5,89
Overslag 10 l/s/m	8,910	0	5,540	4,48
WBN	9,010	0	5,160	4,48

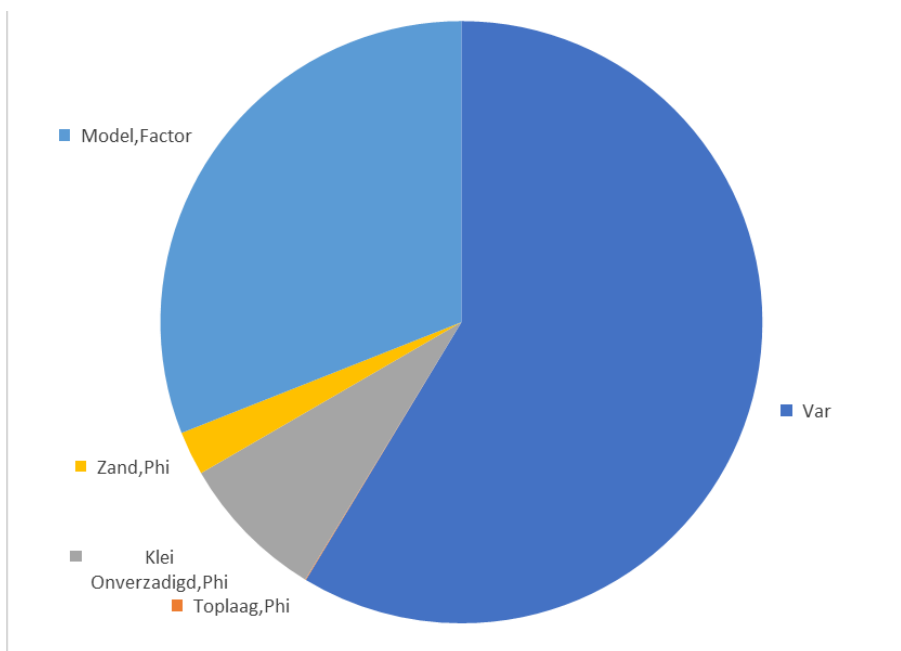
RESULTAAT (na integratie van fragility curve)	Geen Infiltratie	Combinatie	Beoordeling
Beta	6,42	5,72	VOLDOET
Faalkans/Jaar	6,81E-11	5,33E-09	
Design Point Waterstand [m NAP]	8,80	8,76	

Tabel 15 betrouwbaarheidsindices bij maatgevend glijvlak en gecombineerde faalkans DP80

De invloedscoëfficiënten voor de situatie zonder infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 18.

De top 5 invloedscoëfficiënten zijn:

1. freatische lijn in de dijk (var);
2. modelfactor;
3. hoek van inwendige wrijving van klei onverzadigd;
4. hoek van inwendige wrijving zand;
5. van inwendige wrijving toplaag (verwaarloosbare invloed).

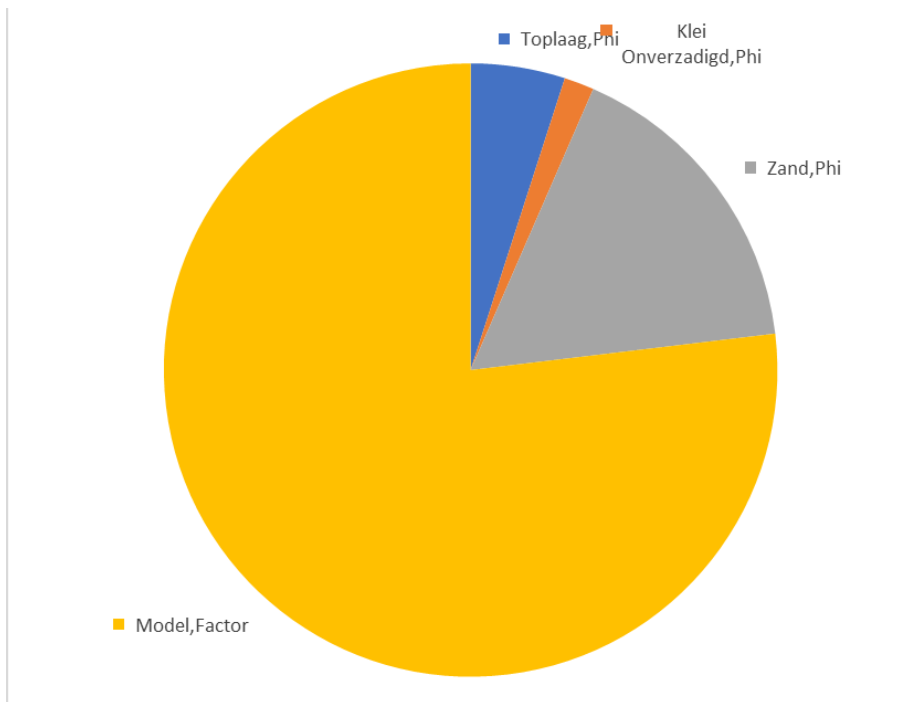


Figuur 18. Invloedscoëfficiënten zonder infiltratie DP80

De invloedscoëfficiënten voor de situatie met volledige infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 19.

De top 3 invloedscoëfficiënten zijn:

1. modelfactor;
2. hoek van inwendige wrijving van zand (tussenlaag in dijksmateriaal);
3. hoek van inwendige wrijving van toplaag.



Figuur 19. Invloedscoëfficiënten met infiltratie DP80

4.6 Resultaten vak 16, DP104 (fase 1)

Figuur 20 toont de resultaten van de probabilistische berekeningen zonder en met infiltratie (door overslag), ook is de gecombineerde 'fragility curve' weergegeven voor twee varianten:

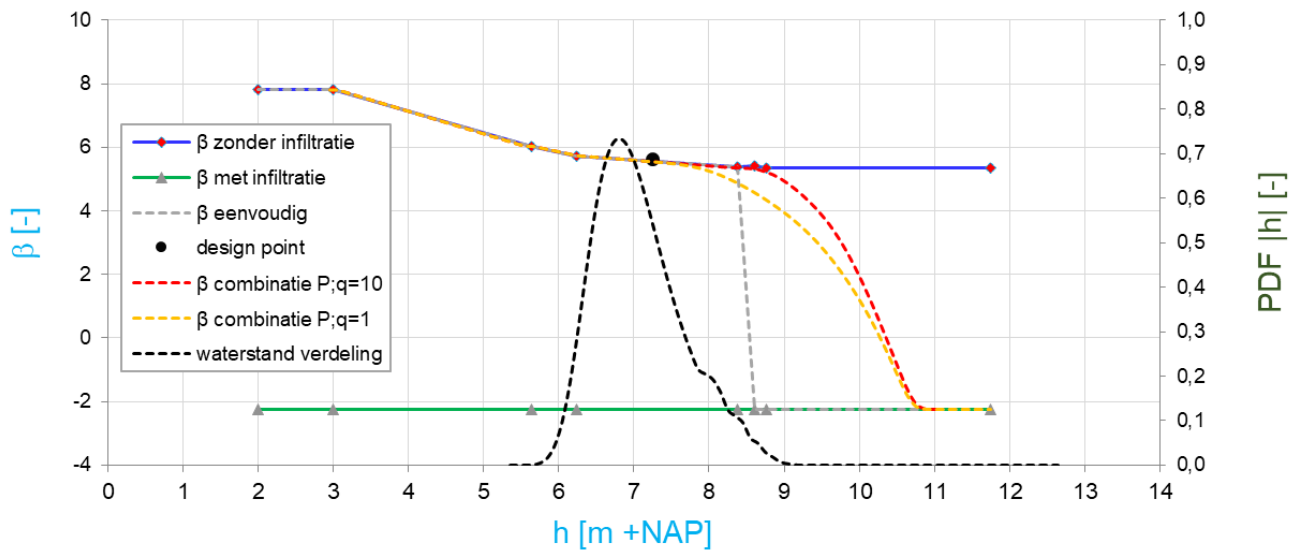
- volledige verzadiging treedt op bij een overslagdebiet $q > 1$ l/s/m;
- volledige verzadiging treedt op bij een overslagdebiet $q > 10$ l/s/m.

Hierbij is rekening gehouden met de kans op het optreden van dit overslagdebiet gegeven de waterstand (zie bijlage E). In de grafiek is ook de kansverdeling van de buitenwaterstand (PDF=Probability Density Function) opgenomen. De resultaten zijn tevens weergegeven in Tabel 16.

De betrouwbaarheidsindex gegeven het optreden van volledige infiltratie door overslag is zeer laag (-2,23). Oftewel, indien er volledige infiltratie plaats vindt bij grote hoeveelheden overslag is de berekende kans op falen bijna 100%.

Indien verondersteld wordt dat volledige verzadiging kan optreden bij een overslagdebiet $q > 10$ l/s/m, volgt voor de faalkans na integratie van de 'fragility curves' een betrouwbaarheidsindex van (5,63) met een bijbehorende faalkans per jaar van $9,0 \times 10^{-9}$. De doorsnede voldoet in dit geval ruim aan de minimaal vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46).

Indien volledige verzadiging echter al eerder kan optreden, bijvoorbeeld bij een overslagdebiet $q > 1$ l/s/m, volgt voor de faalkans na integratie van de 'fragility curves' een betrouwbaarheidsindex van (5,48) met een bijbehorende faalkans per jaar van $2,1 \times 10^{-8}$. In dat geval wordt nog steeds voldaan aan de vereiste betrouwbaarheidsindex (5,46).



Figuur 20. 'Fragility curve' met en zonder infiltratie inclusief gecombineerde curve DP104

Situatie	h [m NAP]	Belasting [kPa]	β geen infiltratie [-]	β infiltratie [-]
Dagelijks	3,000	15	7,810	-2,230
Uplift 1,2	5,640	15	6,040	-2,230
Uplift 1,0	6,230	15	5,740	-2,230
Overslag 1 l/s/m	8,380	8	5,370	-2,230
Overslag 10 l/s/m	8,600	0	5,430	-2,230
WBN	8,760	0	5,340	-2,230

RESULTAAT (na integratie van fragility curve)	Geen Infiltratie	Combinatie P;q=10	Combinatie P;q=1	Beoordeling
Beta	5,64	5,63	5,48	VOLDOET⁵
Faalkans/Jaar	8,50E-09	9,01E-09	2,13E-08	
Design Point Waterstand [m NAP]	7,01	7,25	8,29	

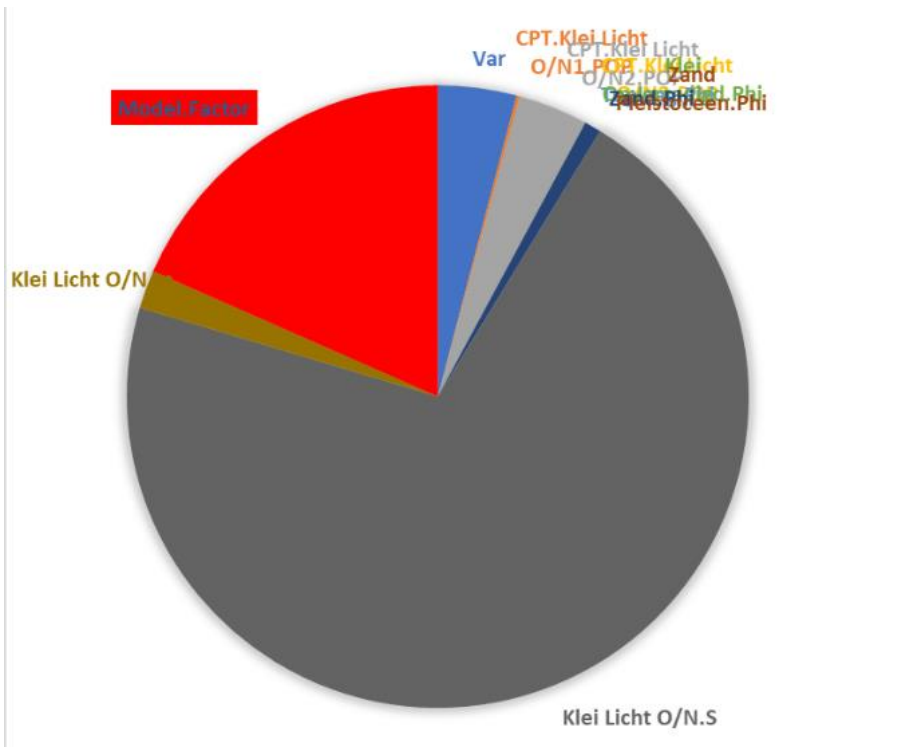
Tabel 16 betrouwbaarheidsindices bij maatgevend glijvlak en gecombineerde faalkans DP104

De invloedscoëfficiënten voor de situatie zonder infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 21.

De top 5 invloedscoëfficiënten zijn:

1. ongedraineerde schuifsterkte ratio S lichte klei;
2. modelfactor;
3. freatische lijn in de dijk (var);
4. POP lichte klei;
5. m lichte klei.

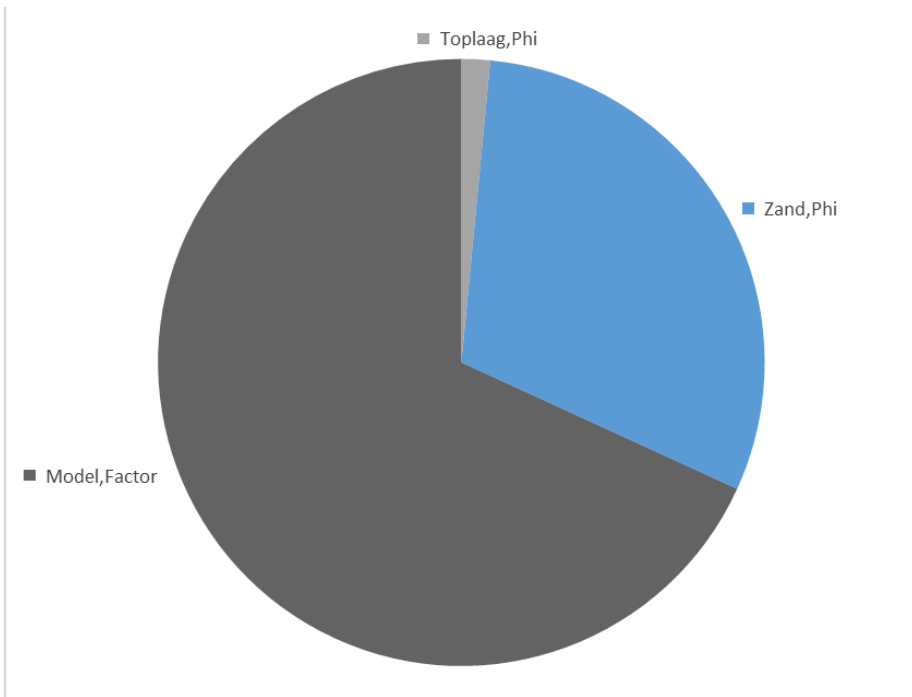
⁵ Er is conservatief aangenomen dat de deklaag van circa 4 meter dik onder de slootbodem kan opbarsten (resulteert in reductie van de sterkte in de opbarstzone). Dit is gezien de dikte in combinatie met 3D werking echter zeer onwaarschijnlijk. Indien geen rekening wordt gehouden met een reductie van de sterkte zal de betrouwbaarheidsindex aanzienlijk toenemen. Het oordeel voldoet in dat geval ruim aan de vereiste beta van 5,46.



Figuur 21. Invloedscoëfficiënten zonder infiltratie DP104

De invloedscoëfficiënten voor de situatie met volledige infiltratie door overslag zijn getoond in Figuur 10. De top 3 invloedscoëfficiënten zijn:

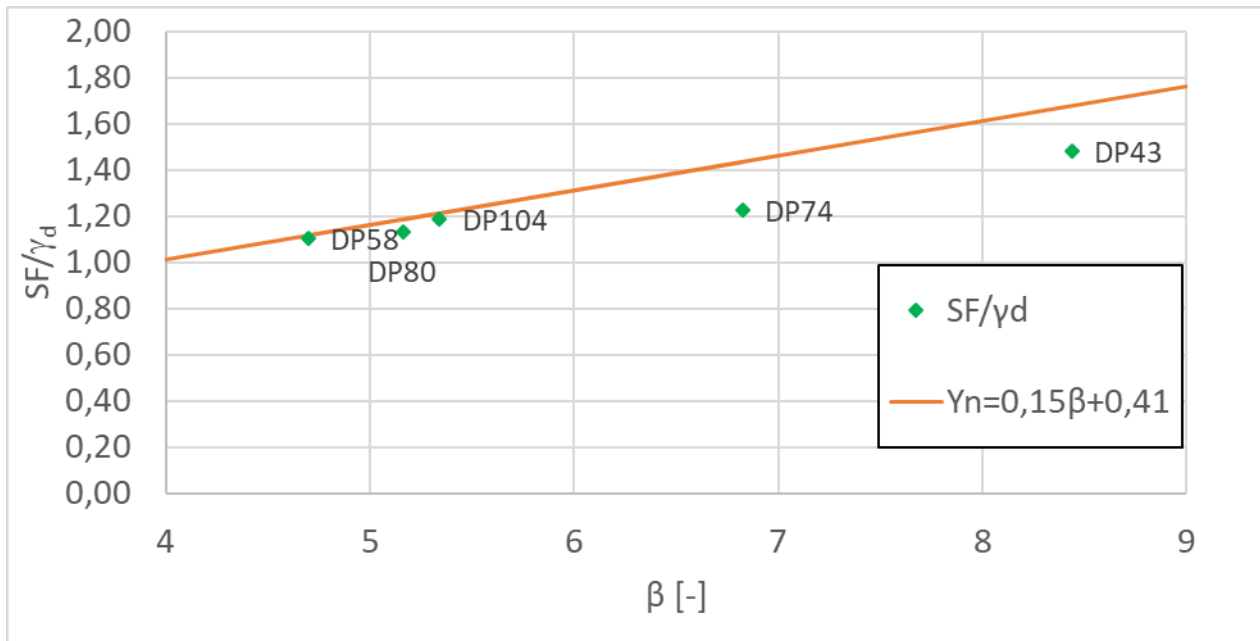
1. modelfactor;
2. hoek van inwendige wrijving van zand (dijksmateriaal);
3. hoek van inwendige wrijving van toplaag.



Figuur 22. Invloedscoëfficiënten met infiltratie DP104

4.7 Vergelijking ‘fragility points’ bij WBN met kalibratielij

Figuur 23 toont de berekende betrouwbaarheidsindices bij WBN ten opzichte van de kalibratielij tussen de veiligheidsfactor en de betrouwbaarheidsindex volgens [4]. De berekende doorsnedes liggen vlak onder de kalibratielij. Dit betekent dat de aanpak (totaal aan schematiseringskeuzes) bij de semi-probabilistische berekeningen goed aansluit op de in [4] beoogde aanpak.



Figuur 23. Vergelijking ‘fragility points’ bij WBN met kalibratielij

	SF	Modelfactor	Beta	SF/γd	Y _n =0,15β+0,41
DP43	1,57	1,06	8,44	1,48	1,68
DP80	1,20	1,06	5,16	1,13	1,18
DP104	1,26	1,06	5,34	1,19	1,21
DP58	1,17	1,06	4,70	1,10	1,11
DP74	1,30	1,06	6,83	1,22	1,43

Tabel 17. Vergelijking ‘fragility points’ bij WBN met kalibratielij

4.8 Gevoeligheidsanalyses probabilistische FORM analyses (fase 1)

Per doorsnede zijn twee gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd:

- Berekening met meerdere tangentielen in plaats van één hard opgegeven tangentielij om uit te sluiten dat een iets hoger of lager gelegen glijvlak meer maatgevend is (de ligging van de tangentielij is nu vastgesteld op basis van de semi-probabilistische gevoeligheidsberekeningen);
- Berekening met karakteristieke freatische lijn (95% bovengrenswaarde) zonder kansverdeling.
 - Allereerst maakt dit de invloed inzichtelijk van het wel of niet opgeven van de freatische lijn als stochast.
 - Daarnaast is er bij DP43 en DP80 mogelijk een negatieve correlatie tussen de sterkte van het dijksmateriaal en de ligging van de freatische lijn (relatief zwak dijksmateriaal is mogelijk ook losser gepakt en daardoor beter doorlatend=hogere freatische lijn). In de berekeningen zijn deze nu als niet gecorreleerd aangenomen. Bij DP104 betreft het zanddijk met kleideklaag, hier bepaald met name de

waterdichtheid van de kleideklaag (zowel aan de buiten als binnenzijde) de ligging van de freatische lijn. Deze negatieve correlatie is hier niet van toepassing.

De resultaten zijn getoond in Tabel 18. De berekening met meerdere tangentialijnen resulteert niet in een afname van de betrouwbaarheidsindex. Het vastzetten van de freatische lijn resulteert bij doorsnede DP43 en DP80 in een toename van de betrouwbaarheidsindex en bij DP104 is een geringe afname. De resultaten geven geen aanleiding om de gestelde conclusies in paragraaf 4.2 t/m 4.4 te herzien.

	DP43	DP80	DP104
WBN	8,44	5,16	5,34
WBN meerdere tangentialijnen⁶	8,95	5,16	5,34
freatische lijn vast op 95%-waarde	8,79	5,81	5,08

Tabel 18. Gevoeligheidsberekeningen FORM-analyses

⁶ In fase 2 zijn de berekeningen standaard uitgevoerd met meerdere tangentialijnen

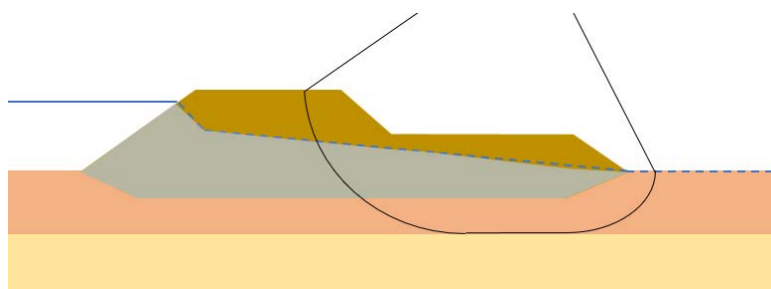
5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Aanpak

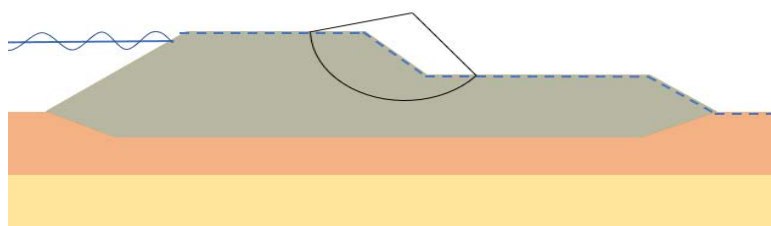
In dit hoofdstuk is allereerst een samenvatting opgenomen met het geactualiseerde veiligheidsoordeel inclusief onderbouwing. Vervolgens is een samenvatting gegeven met de belangrijkste conclusies voor alle beschouwde doorsnedes. Ten slotte zijn enkele belangrijke kanttekeningen opgenomen relevant voor de planuitwerkingsfase.

Bij de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit zijn de volgende belastingsituaties onderscheiden⁷:

- Onverzadigde situatie zonder infiltratie door golfoverslag (principe getoond in Figuur 24);
- Verzadigde situatie met infiltratie door golfoverslag (principe getoond in Figuur 25).



Figuur 24. Onverzadigde situatie zonder infiltratie door golfoverslag



Figuur 25. Verzadigde situatie met infiltratie door golfoverslag

5.2 Veiligheidsoordeel binnenwaartse macrostabiliteit onverzadigde situatie

Voor zes in de semi-probabilistische toetsing afgekeurde dijkvakken zijn in twee fases conform de actuele sterkte methode optimalisaties van het semi-probabilistische oordeel uitgevoerd. Voor vijf van de zes dijkvakken zijn tevens probabilistische FORM-analyses uitgevoerd.

Op basis van de bevindingen uit deze analyses is het veiligheidsoordeel geactualiseerd. Uit de resultaten volgt dat voor alle nader beschouwde vakken de maatregelen om de binnenberm te verhogen/verbreden niet meer vereist zijn vanuit het oogpunt van de binnenwaartse macrostabiliteit. De faalkansen in de onverzadigde situatie voldoen in alle gevallen ruim tot zeer ruim aan de vereiste faalkans.

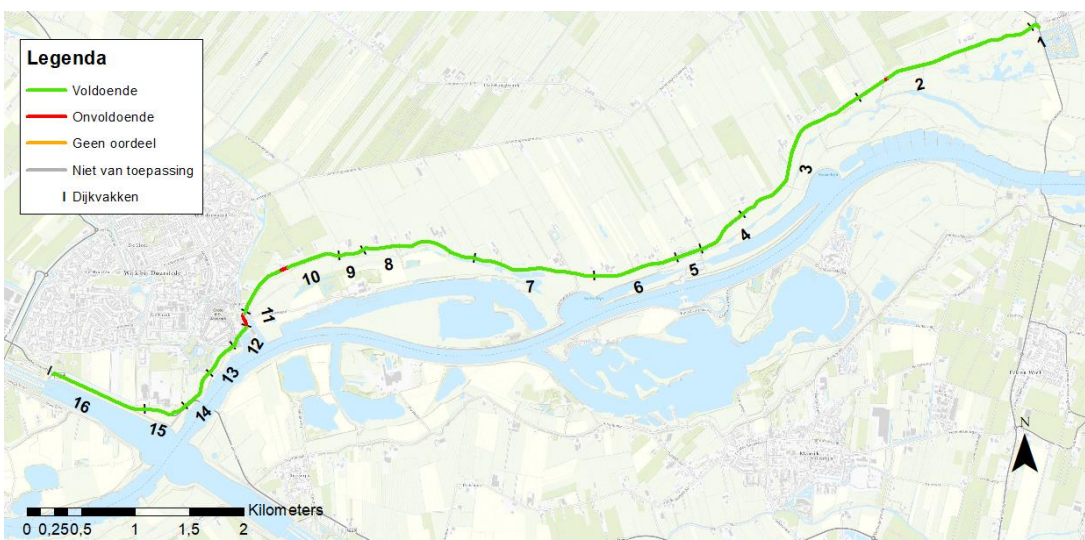
De resultaten zijn samengevat in Tabel 19 en Figuur 26. De tabel toont het oorspronkelijke veiligheidsoordeel van de semi-probabilistische beoordeling (maart 2019), de optimalisaties van de semi-probabilistische beoordeling, de probabilistische FORM analyses en het nieuwe veiligheidsoordeel.

Van de oorspronkelijke opgave van 4260 m in maart 2019 blijft nog 229 m over. Dit betreft vak 2a, 10a en 11. Deze zijn niet nader beschouwd omdat deze ruim tot zeer ruim onvoldoende scores in [6]. Optimalisatie werd in dit stadium niet kansrijk geacht.

⁷ Dit onderscheid is al gemaakt in de semi-probabilistische beoordeling uit maart 2019 [6].

dijkvakindeling	Van dijkpaal	tot dijkpaal	lengte	semi-probabilistisch veiligheidsoordeel (maart 2019)	optimalisatie semi-probabilistisch veiligheidsoordeel	probabilistische veiligheidsoordeel	update veiligheidsoordeel STBI bij WBN (februari 2020)
[-]	[DP m]	[DP m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]
STBI_1	0	1+5	76	V	-	-	V
STBI_2	1+5	17+95	1668	V	-	-	V
STBI_2a	14+60	14+85	35	O	-	-	O
STBI_3	17+95	34+20	1625	V	-	-	V
STBI_4	34+20	39+30	502	V	-	-	V
STBI_5	39+30	42+40	270	V	-	-	V
STBI_6	42+40	50+20	682	O	O	V	V
STBI_6a	43+75	44+45	72	O	V	-	V
STBI_7a	50+20	54+70	450	O	V	-	V
STBI_7b	54+70	59+20	454	O	O	V	V
STBI_7c	59+20	61+45	225	O	V	-	V
STBI_8	61+45	72+25	1078	V	-	-	V
STBI_9	72+25	74+50	229	O	O	V	V
STBI_10	74+50	85+40	1032	O	O	V	V
STBI_10a	79+45	80+0	62	O	-	-	O
STBI_11	85+55	86+90	132	O	-	-	O
STBI_12	86+90	86+335	-	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
STBI_13	86+335	92+60	339	V	-	-	V
STBI_14	92+60	96+35	385	V	-	-	V
STBI_15	96+35	99+130	473	V	-	-	V
STBI_16	99+130	105+95	897	O	O	V	V

Tabel 19. Veiligheidsoordeel STBI overzadigde situatie zonder infiltratie door golfoverslag



Figuur 26. Veiligheidsoordeel STBI overzadigde situatie zonder infiltratie door golfoverslag

5.3 Veiligheidsoordeel binnenwaartse macrostabiliteit verzadigde situatie

Representativiteit beschouwde doorsnedes

Voor vijf dijkvakken zijn probabilistische FORM-analyses uitgevoerd waarbij de invloed van verzadiging door golfoverslag op de totale faalkans berekend is. De resultaten van deze berekeningen zijn representatief gesteld voor de overige dijkvakken.

Deze keuze is goed te onderbouwen aangezien in de verzadigde situatie ondiepe glijvlakken maatgevend zijn. Deze glijvlakken doorsnijden alleen de top laag en het kernmateriaal. Ook de gemiddelde waterspanningen variëren in beperkte mate er relatief weinig onzekerheid zit in het schematiseren van waterspanningen in een volledig verzadigde situatie (zie verder kanttekeningen in paragraaf 5.5). De aanwezige taludhelling bepaald hierbij grotendeels de kans op falen gegeven het optreden van verzadiging. Hierbij geldt, hoe flauwer het binnentalud hoe hoger de berekende betrouwbaarheidsindex.

Andere variabelen zoals de geometrie van de binnenberm, de opbouw en eigenschappen van het slappe lagen pakket en daar aanwezige waterspanningen hebben nauwelijks tot geen invloed op het resultaat vanwege de ondiepe ligging van het glijvlak.

Criterium optreden volledige verzadiging

Het optreden van verzadiging van het binnentalud is gekoppeld aan het optreden van significante golfoverslag. Binnen de actuele sterktemethode wordt aangenomen dat verzadiging op kan treden bij een overslagdebiet groter dan 1 l/m/s en dat volledige verzadiging op is getreden bij een overslagdebiet groter dan 10 l/m/s. NB. Dit betreft een uitgangspunt dat zeer veel invloed heeft op de uiteindelijke faalkans (zie kanttekeningen in paragraaf 5.5).

Invloed verzadiging door overslag op faalkans macrostabiliteit

Bij het beschouwen van de verzadigde situatie moet onderscheid worden gemaakt tussen de kans op falen gegeven het optreden van volledige verzadiging en de kans dat deze verzadiging op kan treden. De combinatie van beide kansen bepaald hoe deze doorwerkt in de uiteindelijke faalkans.

Kans op falen gegeven het optreden van volledige verzadiging

Uit alle probabilistische FORM-analyses volgt dat de kans op falen gegeven het optreden van volledige verzadiging zeer hoog tot hoog is. De betrouwbaarheidsindex varieert van:

- 0,12 tot 0,23 op locaties met binnentalud steiler dan 1:2,5 ter plaatse van DP43 en DP104 (de berekende kans op falen gegeven volledige verzadiging is dan bijna 50% tot 100%).
- 3,16 tot 4,48 op locaties met een binnentalud tussen de circa 1:3 en 1:3,2 ter plaatse van DP58, DP74 en DP80.

Oftewel indien verzadiging optreedt is de berekende kans op een afschuiving relatief zeer groot tot groot. Het optreden van volledige verzadiging lijkt hiermee een groot risico te vormen voor de veiligheid van de waterkering. Een belangrijke toevoeging hierbij is variaties in de schematisering van de waterspanningen in de verzadigde situatie niet tot andere conclusies leiden. De invloed hiervan is relatief beperkt. De berekende faalkansen blijven relatief hoog.

Kans op optreden van volledige verzadiging

De invloed van het verzadigde scenario op de gecombineerde faalkans is afhankelijk van de kans dat verzadiging optreedt. Aangezien vastgesteld is dat de kans op falen gegeven verzadiging hoog is, kan de waterkering alleen voldoen indien de kans op het optreden van verzadiging zeer klein is.

Dit is bijvoorbeeld het geval bij doorsnedes DP80 en DP104. De kruinhoogte ligt bij deze doorsnedes (ruim) boven de HBN bij 1 l/m/s, waardoor de kans op verzadiging door overslag laag is en de gecombineerde faalkans toch aan de norm voldoet.

Bij de overige beschouwde doorsnedes DP43, DP58 en DP74 is de kans op het optreden van verzadiging aanzienlijk hoger. Dit betreffen alle drie vakken waarvan de aanwezige kruinhoogte lager ligt dan de HBN bij 1 l/m/s. Uit de berekende gecombineerde faalkansen volgt dan ook in alle gevallen een onvoldoende oordeel. Ondanks het gegeven dat de waterkering in onverzadigde situatie ruim voldoet aan de vereiste faalkans.

Actualisatie veiligheidsoordeel

Op basis van de bevindingen uit deze analyses is het veiligheidsoordeel geactualiseerd voor alle dijkvakken waar sprake is van significante overslag. Als grens voor significante overslag is in deze fase gerekend met locaties waarvan de kruinhoogte (in 2073) lager ligt dan het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) behorende bij 1 l/m/s overslag.

De resultaten zijn samengevat in Tabel 20 en Figuur 27. De tabel toont het oorspronkelijke veiligheidsoordeel van de semi-probabilistische beoordeling (maart 2019), het oordeel op basis van de probabilistische FORM analyses en het nieuwe veiligheidsoordeel. Uit de resultaten volgt dat voor **alle dijkvakken maatregelen worden aanbevolen om falen door verzadiging bij overslag te voorkomen**. De totale lengte van deze vakken bedraagt 2384 m.

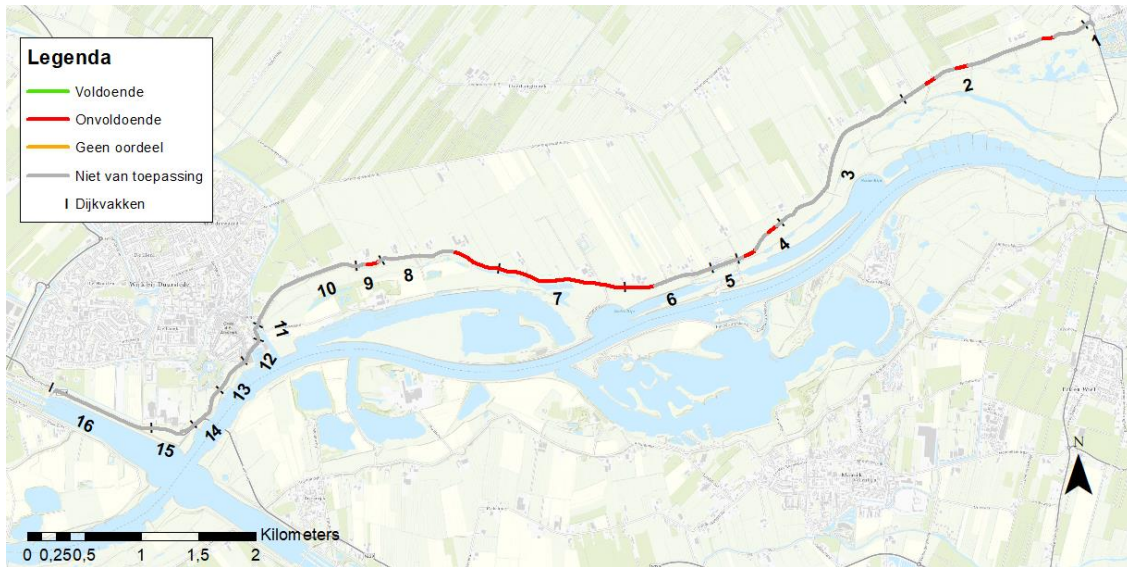
In de tabel zijn mogelijke maatregelen beschreven. Er zijn twee opties voorgesteld:

- ofwel verhogen van de kruin om de golfoverslag en daarmee de kans op het optreden van verzadiging te verlagen, de belastingsituatie wordt dan feitelijk uitgesloten (kans zodanig klein dat deze geen significante invloed meer heeft op de faalkans);
- ofwel verflauwen van het binnentalud om de kans op falen gegeven verzadiging te verlagen. Hierbij geldt hoe flauwer het talud, hoe kleiner de faalkans. Voor deze fase is een taludverflauwing voorgesteld naar circa 1:3,5. Deze maatregel is oorspronkelijk vastgesteld op basis van semi-probabilistische berekeningen. Er zijn enkele probabilistische gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd om te verifiëren of deze maatregel voldoende veilig is.

NB. In de semi-probabilistische beoordeling [6] was een deel van de vakken waar sprake is van significante overslag goedgekeurd op basis van de methode beschreven door KPR in [3]. Uit de probabilistische FORM-analyses volgt echter dat deze methode voor de situatie langs de Lekdijk mogelijk een te optimistisch oordeel geeft.

dijkvakindeling	Van dijkpaal	tot dijkpaal	lengte	semi-probabilistisch veiligheidsoordeel (maart 2019)	probabilistische veiligheidsoordeel	update veiligheidsoordeel STBI bij overslag > 1 l/m/s (februari 2020)	Voorstel maatregelen
[-]	[DP m]	[DP m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]
STBI_1	DP 0-65	DP 0+45	76	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_2	DP 0+50	DP 3+50	286	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_2	DP 3+55	DP 4+45	96	V	O	O	kruinverhoging 0,10 tot 0,15 m of taludverflauwing naar circa 1:3.5.(huidig talud ligt al op circa 1:3).
STBI_2	DP 4+50	DP 11+45	690	nvt	nvt	nvt	
STBI_2	DP 11+50	DP 12+50	101	V	O	O	
STBI_2	DP 12+55	DP 14+45	195	nvt	nvt	nvt	
STBI_2	DP 14+50	DP 15+50	62	V	O	O	
STBI_2a	DP 14+60	DP 14+85	35	V	O	O	
STBI_2	DP 15+55	DP 17+90	238	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_3	DP 17+95	DP 34+15	1625	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_4	DP 34+20	DP 34+50	34	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_4	DP 34+55	DP 35+40	93	O	O	O	Maatregel: kruinverhoging 0,10 tot 0,30 m of taludverflauwing naar circa 1:3.5.(huidige talud ligt op circa 1:3).
STBI_4	DP 35+45	DP 37+45	195	nvt	nvt	nvt	
STBI_4	DP 37+50	DP 38+50	102	O	O	O	
STBI_4	DP 38+55	DP 39+25	78	nvt	nvt	nvt	
STBI_5	DP 39+30	DP 42+5	270	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_6	DP 42+10	DP 43+70	136	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_6a	DP 43+75	DP 44+45	72	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_6	DP 44+50	DP 47+40	292	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_6	DP 47+45	DP 50+15	254	O	O	O	Maatregel: kruinverhoging 0,10 tot 0,40 m of taludverflauwing naar circa 1:3.5.(huidig talud ligt op circa 1:2).
STBI_7a	DP 50+20	DP 54+70	450	V	O	O	Maatregel: kruinverhoging 0,15 tot 0,60 m of taludverflauwing naar circa 1:3.5.(huidig talud ligt op circa 1:3,2, lokaal flauwer).
STBI_7b	DP 54+75	DP 59+20	454	V	O	O	
STBI_7c	DP 59+25	DP 61+40	225	V	O	O	
STBI_8	DP 61+45	DP 65+50	410	O	O	O	Maatregel: kruinverhoging 0,05 tot 0,50 m of taludverflauwing naar circa 1:3.5.(huidig talud ligt op circa 1:3).
STBI_8	DP 65+55	DP 72+20	668	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_9	DP 72+25	DP 72+50	29	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_9	DP 72+55	DP 73+50	102	V	O	O	Maatregel: kruinverhoging 0,25 m of taludverflauwing naar circa 1:3.5.(huidige talud ligt op circa 1:3).
STBI_9	DP 73+55	DP 74+45	98	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_10	DP 74+50	DP 85+35	1032	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_10a	DP 79+45	DP 80+0	62	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_11	DP 85+55	DP 86+85	132	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_12	DP 86+90	DP 86+330		nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_13	DP 86+335	DP 92+55	339	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_14	DP 92+60	DP 96+45	385	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_15	DP 96+50	DP 99+125	473	nvt	nvt	nvt	nvt
STBI_16	DP 99+130	DP 105+95	897	nvt	nvt	nvt	nvt

Tabel 20. Veiligheidsoordeel STBI verzadigde situatie met infiltratie door golfoverslag



Figuur 27. Veiligheidsoordeel STBI verzadigde situatie met infiltratie door golfoverslag

5.4 Samenvatting veiligheidsoordelen per beschouwde doorsnede

Voor de doorsnedes DP43, DP58, DP74, DP80 en DP104 zijn probabilistische FORM-analyses uitgevoerd voor de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit. Per doorsnede zijn allereerst de belangrijkste bevindingen opgesomd. Vervolgens zijn deze vertaald naar generieke conclusies gebruikt voor het vaststellen van de geactualiseerde veiligheidsopgave.

Vak 6: DP43

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft dijk met kleikern op relatief dik kleipakket.
 - Helling van het binnentalud is met 1:2.3 relatief steil.
 - De aanwezige kruinhoogte ligt binnen een deel van het vak lager dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag. Dit betekent dat infiltratie door overslag en de hieruit volgende verzadiging van het dijklichaam en risico vormt.
- Resultaten onverzadigde situatie:
 - Er zijn geen maatregelen vereist om de binnenberm te verhogen vanuit het oogpunt van de binnenwaartse macrostabiliteit. De faalkans voor de onverzadigde situatie zonder overslag voldoet ruim aan de vereiste norm.
- Resultaten combinatie onverzadigde en verzadigde situatie:
 - Er is verondersteld dat volledige verzadiging op kan treden bij een overslagdebiet $q > 1$ l/s/m. De doorsnede voldoet dan ruim niet aan de vereiste norm.
 - Indien verondersteld wordt dat volledige verzadiging optreedt bij een overslagdebiet van $q > 10$ l/s/m voldoet de doorsnede net niet aan de vereiste norm;
 - Deze slechte score is het gevolg van een zeer hoge berekende faalkans gegeven volledige verzadiging. Namelijk een waarde van bijna 50%, oftewel, gegeven het optreden van volledige verzadiging is de faalkans 1 op 2. Gezien het relatief steile binnentalud van 1:2,3 lijkt een hoge faalkans aannemelijk.
 - Aangezien de kans op volledige verzadiging niet heel groot is volgt als uiteindelijke faalkans een waarde van $1,70E^{-07}$ per jaar bij $q > 10$ l/s/m en $1,02E^{-05}$ per jaar bij $q > 1$ l/s/m;
 - Een beperkte ophoging van de kruin zal de faalkans drastisch reduceren aangezien volledige verzadiging in dat geval veel minder waarschijnlijk is;

- Ook een taludverflauwing resulteert in een afname van de faalkans doordat de kans op falen gegeven volledige verzadiging dan kleiner wordt.

Vak 6a: DP44

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft maatwerklocatie
 - De aanwezige kruinhoogte ligt hoger dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag.
- Dit dijkvak is goedgekeurd na het uitvoeren van de optimalisaties op de semi-probabilistische berekening.

Vak 7a: DP54

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft een subvak van dijkvak 7. De nadere vakindeling betreft een van de optimalisaties.
 - De aanwezige kruinhoogte ligt lager dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag. Dit betekent dat infiltratie door overslag en de hieruit volgende verzadiging van het dijklichaam en risico vormt.
- Dit dijkvak is goedgekeurd na het uitvoeren van de optimalisaties op de semi-probabilistische berekening.

Vak 7b: DP58

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft dijk met kleikern op relatief dik kleipakket.
 - Helling van het binnentalud is met 1:3.2 relatief flauw
 - De aanwezige kruinhoogte ligt lager dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag. Dit betekent dat infiltratie door overslag en de hieruit volgende verzadiging van het dijklichaam en risico vormt.
- Resultaten onverzadigde situatie:
 - Er zijn geen maatregelen vereist om de binnenberm te verhogen vanuit het oogpunt van de binnenwaartse macrostabiliteit. De faalkans voor de onverzadigde situatie zonder overslag voldoet ruim aan de vereiste norm.
- Resultaten combinatie onverzadigde en verzadigde situatie:
 - Er is verondersteld dat verzadiging op kan treden bij een overslagdebiet vanaf $q > 1$ l/s/m en dat bij $q > 10$ l/s/m volledige verzadiging is opgetreden.
 - Ondanks het relatief flauwe binnentalud voldoet de gecombineerde faalkans nog niet aan de norm. De afstand tot de norm is niet heel groot, bij een flauwer binnentalud neemt de faalkans sterk af.
 - Een beperkte ophoging van de kruin zal de faalkans drastisch reduceren aangezien volledige verzadiging in dat geval veel minder waarschijnlijk is;
 - Ook een taludverflauwing resulteert in een afname van de faalkans doordat de kans op falen gegeven volledige verzadiging dan kleiner wordt.

Vak 7c: DP61

- Betreft een subvak van dijkvak 7. De nadere vakindeling betreft een van de optimalisaties.
- De aanwezige kruinhoogte ligt lager dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag. Dit betekent dat infiltratie door overslag en de hieruit volgende verzadiging van het dijklichaam en risico vormt.
- Dit dijkvak is goedgekeurd na het uitvoeren van de optimalisaties op de semi-probabilistische berekening.

Vak 9: DP74

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft dijk met kleikern op een zeer dun kleipakket. Bij het uittredepunt van het glijvlak is alleen een topklaag aanwezig.
 - Helling van het binnentalud is met 1:3 relatief flauw.
 - De aanwezige kruinhoogte ligt hoger dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag.
- Resultaten onverzadigde situatie:
 - Er zijn geen maatregelen vereist om de binnenberm te verhogen vanuit het oogpunt van de binnenwaartse macrostabiliteit. De faalkans voor de onverzadigde situatie zonder overslag voldoet ruim de vereiste norm.
- Resultaten combinatie onverzadigde en verzadigde situatie:
 - Er is verondersteld dat verzadiging op kan treden bij een overslagdebiet vanaf $q > 1$ l/s/m en dat bij $q > 10$ l/s/m volledige verzadiging is opgetreden.
 - Ondanks het relatief flauwe binnentalud en de hoge β voor de onverzadigde situatie voldoet de gecombineerde faalkans nog niet aan de norm. De afstand tot de norm is niet heel groot, bij een flauwer binnentalud neemt de faalkans sterk af.
 - Een beperkte ophoging van de kruin zal de faalkans drastisch reduceren aangezien volledige verzadiging in dat geval veel minder waarschijnlijk is;
 - Ook een taludverflauwing resulteert in een afname van de faalkans doordat de kans op falen gegeven volledige verzadiging dan kleiner wordt.

Vak 10: DP80

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft dijk met kleikern op een dun kleipakket.
 - Helling van het binnentalud is met 1:3.2 relatief flauw
 - De aanwezige kruinhoogte ligt hoger dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag.
- Resultaten onverzadigde situatie:
 - Er zijn geen maatregelen vereist om de binnenberm te verhogen vanuit het oogpunt van de binnenwaartse macrostabiliteit. De faalkans voor de onverzadigde situatie zonder overslag voldoet ruim de vereiste norm.
- Resultaten combinatie onverzadigde en verzadigde situatie:
 - Vanwege het gegeven dat de kruinhoogte hier hoger ligt dan de het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag (kans op overslag kleiner) en het relatief flauwe binnentalud is de berekende faalkans gegeven volledige verzadiging met een waarde van $3,7E-06$ per jaar aanzienlijk gunstiger dan de overige doorsnedes.
 - Er maatregelen geen vereist vanuit dit faalmechanisme om het risico op falen door verzadiging te verkleinen.

Vak 16: DP104

- Kenmerkend voor deze doorsnede:
 - Betreft dijk met zandkern op relatief dik kleipakket.
 - Helling van het binnentalud is met 1:2.5 relatief steil
 - De aanwezige kruinhoogte ligt ruim boven het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag. Dit betekent dat infiltratie door overslag en de hieruit volgende verzadiging van het dijklichaam en zeer klein risico vormt.
- Resultaten onverzadigde situatie:
 - Er zijn geen maatregelen vereist om de binnenberm te verhogen vanuit het oogpunt van de binnenwaartse macrostabiliteit. De faalkans voor de onverzadigde situatie zonder overslag voldoet aan de vereiste norm.
- Resultaten combinatie onverzadigde en verzadigde situatie:

- Indien verondersteld wordt dat volledige verzadiging optreedt bij een overslagdebiet van $q > 10$ l/s/m voldoet de doorsnede ruimschoots aan de vereiste norm;
- Indien verzadiging echter al eerder optreedt, bijvoorbeeld bij een overslagdebiet $q > 1$ l/s/m voldoet de doorsnede nog steeds aan de vereiste norm;
- Deze gunstige score is het gevolg van de relatief hoge aanwezige kruinhoogte en daarmee extreem kleine kans op verzadiging door overslag;
- De kans op falen gegeven volledige verzadiging is bij deze doorsnede namelijk wel zeer hoog met een waarde van bijna 100%;
- Er maatregelen geen vereist vanuit dit faalmechanisme om de binnenberm te verhogen.

5.5 Doorvertaling naar planuitwerkingsfase

Er spelen een aantal grote onzekerheden bij de beoordeling van de macrostabiliteit die veel invloed kunnen hebben op de definitieve ontwerpogave. In de onderstaande opsomming zijn de belangrijkste onzekerheden en aanbevelingen voor de planuitwerkingsfase benoemd:

- Niet alle onzekerheden kunnen worden meegenomen in een probabilistische analyse. Alleen de sterkteparameters, grensspanningen (POP's) en waterspanningen kunnen worden opgegeven als stochast. De invloed van onzekerheden in de bodemopbouw kan alleen worden vastgesteld door het uitvoeren van aanvullende berekeningen. In deze studie zijn de onzekerheden afgedekt door gebruik te maken van de minimaal vereiste schematiseringsfactor zoals vastgesteld in [6], zie verder paragraaf 2.6. Deze schematiseringsfactor (factor 1,05) is nu vastgesteld op een relatief beperkt aantal gevoeligheidsberekeningen. Voor de planuitwerkingsfase wordt aanbevolen om de schematiseringsfactor opnieuw vast te stellen per dijkvak. Indien deze hoger uitvalt zal dit in het merendeel van de vakken geen invloed hebben op de eindscore, uitzondering hierop betreft vak 16, dit vak voldoet nu net aan de gestelde eis.

Specifiek voor de berekening van de macrostabiliteit in de verzadigde situatie spelen veel onzekerheden. Wijziging van deze uitgangspunten kunnen de opgave zowel significant verkleinen als vergroten. In de onderstaande opsomming zijn de belangrijkste onzekerheden benoemd:

- De grens waarop waaronder verzadiging begint op te treden en wanneer er sprake is van volledige verzadiging. Deze zijn nu redelijk arbitrair gekozen op > 1 l/m/s en > 10 l/m/s. Deze grenzen hebben zeer veel invloed op de faalkans. Het is wenselijk om in de beschouwing ook de optredende golfhoogtes, golf lengtes en tijdsduur van de belasting mee te nemen.
 - Het overslagdebiet betreft een gemiddelde. Het maakt voor de snelheid waarmee verzadiging kan optreden veel uit of er sprake is van hoge golven met een lange golf lengte of lage golven met een korte golf lengte. Bij hoge lange golven waarbij in een keer heel veel water over de dijk slaat kan er in dezelfde tijd minder water indringen als bij kleine korte golven. Bij de grote golven eindigt het water voor het merendeel in de sloot.
 - Daarnaast speelt de tijdsduur uiteraard een belangrijke rol. Indien de omstandigheden waarbij sprake is van significante golfoverslag heel kort optreden neemt de kans op verzadiging sterk af. Vice versa neemt die enorm toe indien de omstandigheden heel lang aan kunnen houden.
- Aandacht verdient het volgen van de toekomstige inzichten ten aanzien van de snelheid van verzadiging. Indien de toekomstige inzichten laten zien dat (volledige) verzadiging al op kan treden bij lagere overslagdebieten dan 1 l/m/s, dit veel impact heeft op de ontwerpogave (bijvoorbeeld door langdurige overslag met een heel klein debiet). In dat geval zijn over een (veel) groter traject maatregelen vereist. Anderzijds kunnen toekomstige inzichten de opgave ook nog aanzienlijk verkleinen indien blijkt dat volledige verzadiging pas optreedt bij hogere overslagdebieten.

- De nu aangehouden grens voor wel of geen maatregelen voor verzadiging is gekoppeld aan het HBN niveau behorende bij een overslagdebiet van 1 l/m/s. Wij bevelen aan deze grens te verifiëren voor alle doorsnedes conform de aanpak van DP43 en DP104 waar in de berekening van de faalkans de kans op het optreden van een overslagdebiet van $q > 1$ l/m/s en $q > 10$ l/m/s gegeven de waterstand is meegenomen.
- Er is nu geen ongedraineerde schuifsterkte/cohesie toegekend aan de toplaag. Dit betreft een conservatieve aanname. Er ontbreekt echter nog een goed onderbouwde waarde om toe passen voor een volledig verzadigde situatie. Indien het op basis van toekomstige inzichten mogelijk is om deze sterkte wel mee te nemen, zal dit de opgave aanzienlijk verkleinen.
- Ten slotte heeft ook wijze waarop de waterspanningen worden geschematiseerd in de verzadigde situatie nog invloed. Ook hier spelen veel onzekerheden:
 - In de huidige analyses is dit middels een vereenvoudigde methode meegenomen zoals beschreven in bijlage A. Wij bevelen aan deze schematisering nader uit te werken in de volgende fase.
 - Daarnaast is er nu maar een schematisering, alleen volledig verzadigd. In werkelijkheid duurt het enige tijd voor volledige verzadiging is bereikt.

5.6 Adviezen voor vervolgtrajecten

- Bij het traject WAM is ervoor gekozen om na de oplevering van het semi-probabilistische veiligheidsoordeel geen verdere vak verfijningen te maken en direct de probabilistische analyses uit te voeren. Voor vervolgtrajecten wordt aanbevolen om waar nodig eerst de vakken verder te verkleinen op basis van zowel de geometrie als eventuele variaties in de bodemopbouw. Hierdoor bestaat er veel minder onzekerheid over de representativiteit van de beschouwde doorsnedes in relatie tot de rest van het vak.
- De huidige werkwijze voor het berekenen van de faalkans vereist een groot aantal probabilistische berekeningen bij verschillende belastingen oplopend van dagelijks tot de situatie bij WBN en de verzadigde situatie. De vereiste inspanning hiervoor zijn zeer groot. Er wordt aanbevolen om dit proces nader te beschouwen. Het lijkt niet altijd zinvol om alle belastingssituaties te beschouwen, met name als de berekende β 's in de afzonderlijke belastinggevallen gevallen zeer hoog liggen > 7 a 8 . De faalkans zal dan na integratie ook ver boven de norm liggen. Het lijkt zinvoller om hier de inspanning te beperken en bij doorsnedes met een meer kritische β rond de vereiste norm extra berekeningen uit te voeren. Bijvoorbeeld extra gevoeligheidsberekeningen.
- Uit de probabilistische berekeningen volgen invloedscoëfficiënten. De belangrijkste invloedscoëfficiënten zijn de modelfactor, de ongedraineerde schuifsterkteratio van de klei, hoek van inwendige wrijving van het dijksmateriaal en de ligging van de freatische lijn. Met name meer zekerheid in de spreiding op modelfactor, de ongedraineerde schuifsterkteratio en in bepaalde configuraties de ligging van de freatische lijn heeft veel invloed op de berekende faalkans. Er wordt aanbevolen om hier nader onderzoek voor uit te voeren, met als doel het verkrijgen van meer inzicht in de werkelijke spreiding.

6 Bronnen

- [1] Grondonderzoek Sterke Lekdijk Wijk bij Duurstede / Amerongen (WAM), Resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek, 02P011039 / 70199, 08-09-2018, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 2018
- [2] Nota van Uitgangspunten Dijkversterking Wijk bij Duurstede – Amerongen, Arcadis-Sweco, 26 oktober 2018
- [3] KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag, v2.
- [4] Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017, 1 december 2016
- [5] Strategische Nota van Uitgangspunten Sterke Lekdijk, HDSR, Versie 0.9, eindconcept, mei 2018
- [6] Beoordeling binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, Dijkversterking Wijk bij Duurstede – Amerongen, Arcadis-Sweco, 6500978000, C03011.000750, 27-03-2019
- [7] Modeleren sterkte van het dijksmateriaal – CONCEPT, Deltares, 14-10-2017
- [8] Actuele sterkte Zwolle – Olst, 11202937-002-GEO-0001, Deltares 2019
- [9] Handreiking Faalkansanalyse Macrostabiliteit” [Schweckendiek et al. (2017)
- [10] Handreiking Faalkansanalyse en Faalkans Updating” [Kanning & Schweckendiek, (2017)
- [11] Probabilistisch rekenen Sterke Lekdijk, toegepast bij deeltraject WAM, HDSR, maart 2020

Rapport

Projectnummer: 6500978000, C03011.000750

Referentienummer:

Datum: 13-03-2020

Bijlage A – Uitgangspunten probabilistische berekeningen macrostabiliteit binnenwaarts fase 1& 2

Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen

Definitief

Opdrachtgever:
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Poldermolen 2
3994DA Houten

Sweco Nederland B.V.
De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt
Postbus 203
3730 AE De Bilt
T +31 88 8116600
Handelsregister 30129769

Arcadis Nederland B.V.
Piet Mondriaanlaan 26
3812 GV Amersfoort
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
T +31 88 4261261
Handelsregister 09036504

Revisiebeheer

Revisie	Datum	Status	Belangrijkste wijzigingen
1.0	21-08-2019	Concept	
2.0	14-11-2019	Definitief	
3.0	04-02-2020	Concept	Aanvulling fase 2 probabilistische berekeningen
3.1	10-02-2020	Concept	Verfijning dijkvak 7
4.0	13-03-2020	Definitief	Verwerking review HDSR, Deltares

Verantwoording

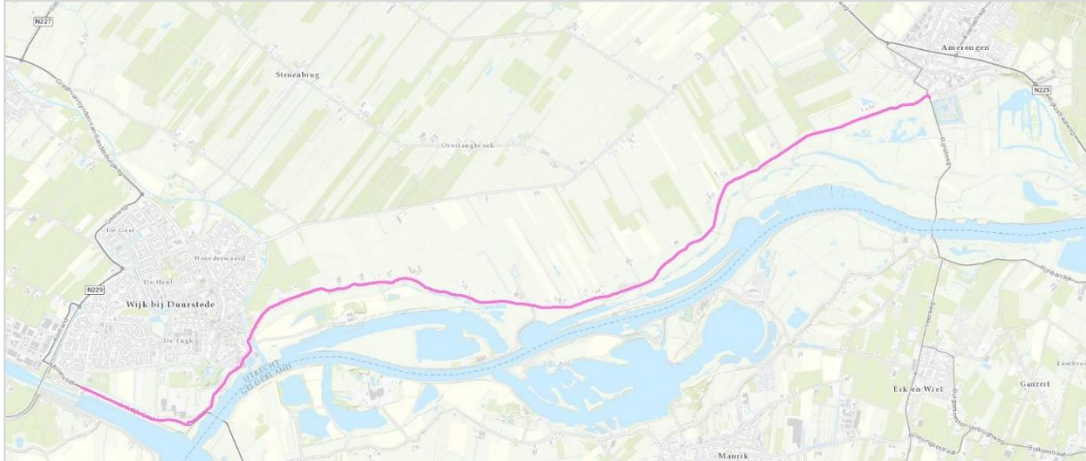
Titel	Uitgangspunten Probabilistische Berekeningen Macrostablieit Binnenwaarts
Subtitel	Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen
Projectnummer	C03011.000750
Referentienummer	-
Revisie	Definitief
Datum	
Auteur(s)	Leo Kwakman, Yos Simanjuntak, Martin Roosendaal
E-mailadres	leo.kwakman@arcadis.com
Gecontroleerd door	Leo Kwakman, Jana Steenbergen- Kajabová
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	XX
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1	Normering en Faalkanseis	5
1.1	Faalkanseis	5
1.2	Modelfactor	5
2	Schematisering	6
2.1	Gemotiveerde keuze dijkvakken	6
2.2	Verfijning indeling dijkvak 7	9
2.3	Huidige Geometrie en Geometrie Zichtjaar 2073	11
2.4	Grondopbouw	11
3	Geotechnische parameters	13
3.1	Volumiek Gewicht	13
3.2	Geotechnische sterkteparameters	13
3.3	Grensspanning / Pre Overburden Pressure	14
3.4	Correlaties	19
4	Buitenwaterstand	20
4.1	Bepaling rekenlocaties in Hydra-NL	20
4.2	Buitenwaterstand Huidige Situatie en 2073	21
4.3	Frequentielijn Buitenwaterstand	22
4.4	Significante Waterstanden	24
4.5	Fragility curves overslagdebiet 1 en 10 l/s/m	25
5	Waterspanningen	26
5.1	Peilbuismetingen	26
5.2	Freatische lijn onverzadigde Situatie	28
5.3	Freatische lijn verzadigde situatie	32
5.4	Stijghoogte	32
5.5	Polderpeilen	32
6	Overige uitgangspunten	33
6.1	Verkeersbelasting	33
6.2	Glijvlak	33
6.3	Uplift strenght reduction	33
6.4	Probabilistische analyses	34
6.5	Softwarepakket	34
7	Bronnen	35
8	Bepaling stijghoogtes	36

1 Normering en Faalkanseis

1.1 Faalkanseis



Figuur 1. Dijktraject Wijk bij Duurstede tot Amerongen

Het dijkproject tussen Wijk bij Duurstede en Amerongen (WAM) is gelegen in normtraject 44-1, welke een totaal lengte van circa 32,4 km heeft. Voor dit traject geldt een signaleringswaarde van 1/30.000 per jaar en bijbehorende maximale toelaatbare overstromingskans van 1/10.000 per jaar. Voor het faalkansbudget geldt voor macrostabiliteit 4%.

Hiermee wordt de toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau ($P_{eis,dsn}$) van $1,79 \times 10^{-7}$ per jaar, uitgedrukt in een vereiste betrouwbaarheidsindex (β_{eis}) van 5,09. Om rekening te houden met de invloed van variaties in de bodemopbouw is ervoor gekozen om een schematiseringsfactor toe te passen. Bij het vaststellen van de schematiseringsfactor in de semi-prob. beoordeling [6] is een minimaal vereiste waarde van 1,05 berekend¹. Een schematiseringsfactor van 1,05 resulteert in een beta van 5,46 en toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau van $2,4 \times 10^{-8}$ per jaar.

1.2 Modelfactor

Voor het modelleren van macrostabiliteit wordt uitgegaan van een glijvlakmodel. Er is een sprake van modelonzekerheid omdat een model een schematisering is van de werkelijkheid. Afhankelijk van het glijvlakmodel zijn de parameters kansverdeling modelonzekerheidsfactor (m_d) in Tabel 1 opgenomen. Voor de faalkansanalyse macrostabiliteit van het project WAM is uitgegaan van het Uplift-Van model.

Tabel 1. Modelonzekerheid

Model	μ_{md}	σ_{md}
Bishop	0.976	0.050
Uplift-Van	0.995	0.033
Spencer-Van der Meij	0.992	0.035

¹ NB. in [6] is ervoor gekozen om een veilige waarde van 1,1 aan te houden. Voor een probabilistische analyse is dat een erg conservatief uitgangspunt, dit resulteert in een circa 80 keer strengere eis voor de toelaatbare faalkans, alleen voor onzekerheden in de opbouw van de bodem. Waterspanningen zijn reeds als stochast (freatische lijn) of bovengrenswaarde (stijghoogte) opgegeven. Ook de 'state' parameters (POP) zijn als stochast opgegeven.

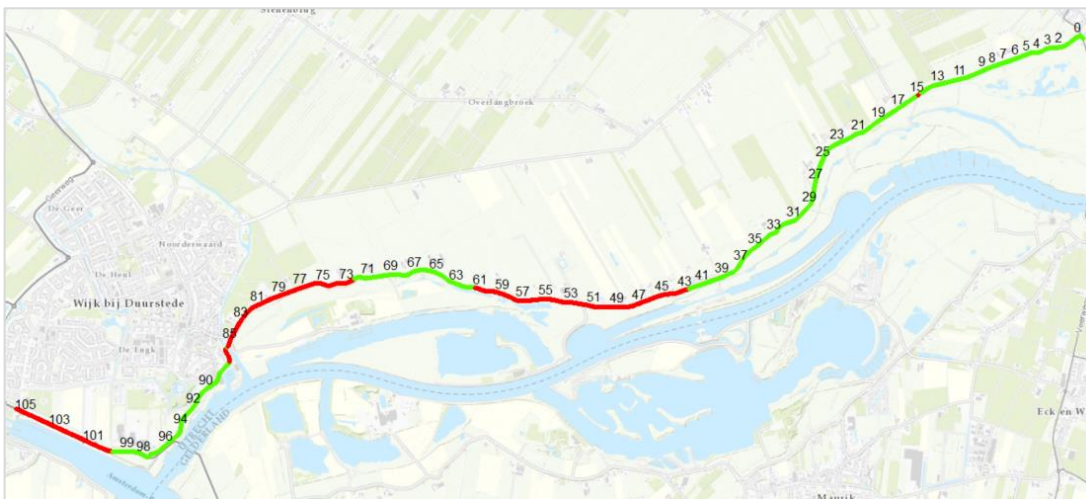
2 Schematisering

2.1 Gemotiveerde keuze dijkvakken

In [6] is de semi-probabilistische beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit opgenomen. Uit de beoordeling volgt dat:

- 9 dijkvakken onvoldoende scores op basis van de belastingsituatie Waterstand bij norm (WBN);
- 3 dijkvakken over een deel van het dijkvak onvoldoende scores op basis van de belastingsituatie significante golfoverslag;
- 1 dijkvak onvoldoende scoort op zowel de belastingsituatie waterstand bij norm (WBN) als significante golfoverslag.

De onvoldoende vakken en keuze voor het wel of niet toepassen van de actuele sterkte technieken zijn samengevat in Tabel 2.



Figuur 2. Score Beoordeling STBI bij WBN (rood is onvoldoende)



Figuur 3. Score Beoordeling STBI bij significante overslag (rood = onvoldoende, grijs is geen significante overslag)

vak	van	tot	lengte	Oordeel		Toepassen actuele sterkte technieken	
				WBN	Overslag	[ja/nee]	[toelichting]
[-]	[DP m]	[DP m]	[m]				
2	1+5	17+95	1668	V	V	Ja, fase 2	Beschouwing invloed verzadiging bij overslag
2a	14+60	14+85	35	O	V	Nee	Niet kansrijk, ruim onvoldoende ($SF_{tekort}=0,55$)
4	34+20	39+30	502	V	O	Ja, fase 2	Beschouwing invloed verzadiging bij overslag
6	42+40	50+20	682	O	O	Ja, fase 1	Kenmerkend vak met kleidijk op dikke deklaag, steil talud, kruinhoogte < HBN 1 l/s/m
6a	43+75	44+45	72	O	-	Ja, fase 2	Kansrijk, net onvoldoende ($SF_{tekort}=0,04$)
7	50+20	61+45	1129	O	V	Ja, fase 2	Kansrijk, lang dijkvak met beperkt tekort ($SF_{tekort}=0,16$) + beschouwing invloed verzadiging bij overslag
8	61+45	72+25	1078	V	O	Ja, fase 2	Beschouwing invloed verzadiging bij overslag
9	72+25	74+50	229	O	V	Ja, fase 2	Kansrijk, ondiep glijvlak met beperkt tekort ($SF_{tekort}=0,10$) + beschouwing invloed verzadiging bij overslag
10	74+50	85+40	1032	O	-	Ja, fase 1	Kenmerkend vak met kleidijk op dunne deklaag, flauw talud, kruinhoogte > HBN 1 l/s/m
10a	79+45	80+0	62	O	-	Nee	Niet kansrijk, ruim onvoldoende ($SF_{tekort}=0,44$)
12	85+55	86+90	132	O	-	Nee	Niet kansrijk, ruim onvoldoende ($SF_{tekort}=0,29$)
16	99+130	105+95	897	O	-	Ja, fase 1	Kenmerkend vak met zanddijk op dikke deklaag, steil talud, kruinhoogte >> HBN 1 l/s/m

Tabel 2: samenvatting veiligheidsoordeel en keuze toepassen actuele sterkte technieken

Toelichting fase 1 optimalisatie en probabilistische FORM-analyses

Voor de eerste fase van de optimalisaties en probabilistische FORM-analyses zijn 3 dijkvakken nader beschouwd. De vakken zijn zodanig gekozen dat de resultaten ook bruikbaar zijn om een indicatief oordeel te kunnen geven over de overige onvoldoende vakken.

Binnen het traject zijn qua bodemopbouw en sterkteparameters globaal drie types te onderscheiden. Per type is één doorsnede gekozen:

- Dunne deklaag & dijk met kleikern, zowel de deklaag als de kleikern zijn volledig of grotendeels met gedraineerde schuifsterkteparameters geschematiseerd.
- Dikke deklaag & dijk met kleikern, de deklaag is grotendeels met ongedraineerde schuifsterkteparameters geschematiseerd, de kleikern met gedraineerde schuifsterkteparameters.
- Dikke deklaag & dijk met zandkern, de deklaag is grotendeels met ongedraineerde schuifsterkteparameters geschematiseerd, de zandkern met gedraineerde schuifsterkteparameters. Bij een dijk met zandkern is ook sprake van een andere schematisering van de freatische lijn.

Daarnaast is er bij een deel van het traject sprake van significante overslag bij WBN ($q > 1$ l/m/s). Hier speelt de invloed van infiltratie een grote rol in de beoordeling.

Voor de faalkans analyse zijn de maatgevende profielen als in de semi-probabilistische analyse gehandhaafd. Dit betreft de volgende dijkvakken/profielen:

- Dijkvak 6, met kenmerkend profiel DP43+00m: Dikke deklaag & dijk met kleikern, ongedraineerde parameters hebben veel invloed. Er is grote onzekerheid over de aan te houden waarde voor POP. Maatgevende glijvlak relatief diep. Binnen dit vak is sprake van significante overslag. Het resultaat is representatief voor de overige overslaglocaties.
- Dijkvak 10, met kenmerkend profiel DP80+10m: Dunne deklaag & dijk met kleikern, ongedraineerde parameters nauwelijks relevant. Maatgevende glijvlak relatief ondiep. Binnen dit vak is geen sprake van significante overslag.
- Dijkvak 17, met kenmerkend profiel DP104+80m: Dikke deklaag & dijk met zandkern. Ongedraineerde parameters hebben veel invloed. Er grote onzekerheid over de aan te houden waarde voor POP. Het glijvlak is diep met de deklaagdikte van ongeveer 6,5 m.

Het betreft een voorhavendijk met zandkern. Binnen dit vak is geen sprake van significante overslag.

De berekende veiligheidsfactoren van de beoordeling 2019 zijn in Tabel 3 samengevat.

Tabel 3. Resultaten beoordeling STBI uit semi-probabilistische analyse

Vak	Dwarsprofiel		Lengte [m]	Gekozen Profiel	Belasting	SF _{eis}		SF _{berekend}	
	van	tot				Uplift-Van	Spencer	Uplift-Van	Spencer
6	DP42+40m	DP50+20m	682	DP43	WBN	1.36	1.38	1.16	1.24
					Overslag	0.90	0.91	0.66	0.82
10	DP74+50m	DP85+40m	1032	DP80	WBN	1.36	1.38	1.27	1.30
17	DP99+130m	DP105+95m	897	DP104	WBN	1.36	1.38	1.32	1.36

Toelichting fase 2 optimalisatie en probabilistische FORM-analyses

Voor de tweede fase van de optimalisaties en probabilistische FORM-analyses zijn de overige relevante dijkvakken beschouwd. Dit betreft dijkvakken die in beperkte mate onvoldoende scores (SF;tekort <0,2) bij de beoordeling van de Waterstand Bij Norm.

Daarnaast alle dijkvakken waarvan de kruinhoogte lager ligt dan het hydraulisch belastingniveau (HBN) bij 1 l/s/m overslag.

Voor de faalkans analyse zijn de maatgevende profielen als in de semi-probabilistische analyse gehandhaafd. Dit betreft de volgende dijkvakken/profielen:

- Dijkvak 6a, met kenmerkend profiel DP43+100m: maatwerkvak bij woning met een relatief brede dijk. Kansrijk op nader beschouwen POP in relatie tot de beperkte lengte dijkvak en toepassen restbreedtemethode. Qua type overeenkomstig met dijkvak 6, dikke deklaag & dijk met kleikern. Binnen dit vak is geen sprake van significante overslag.
- Dijkvak 7, met kenmerkend profiel DP58+65m. Kansrijk op beschouwen extra doorsnedes binnen dijkvak en probabilistische analyse. Zowel de geometrie als bodemopbouw varieert aanzienlijk binnen dit dijkvak. Deze analyse is opgenomen in paragraaf 2.2.
- Qua type overeenkomstig met dijkvak 6, dikke deklaag & dijk met kleikern. Binnen dit vak is geen sprake van significante overslag.
- Dijkvak 9, met kenmerkend profiel DP74+0m. Kansrijk bij probabilistische analyse. Qua type overeenkomstig met dijkvak 10, Dunne deklaag & dijk met kleikern. Binnen dit vak is geen sprake van significante overslag.

De berekende veiligheidsfactoren van de beoordeling 2019 zijn in Tabel 4 samengevat.

Tabel 4. Resultaten beoordeling STBI uit semi-probabilistische analyse

Vak	Dwarsprofiel		Lengte [m]	Gekozen Profiel	Belasting	SF _{eis}		SF _{berekend}	
	van	tot				Uplift-Van	Spencer	Uplift-Van	Spencer
6a	43+75	44+45	72	DP44	WBN	1.36	1.38	1.32	1.35
7	50+20	61+45	1129	DP58	WBN	1.36	1.38	1,20	1,24
9	72+25	74+50	229	DP74	WBN	1.36	1.38	1,31	1,27

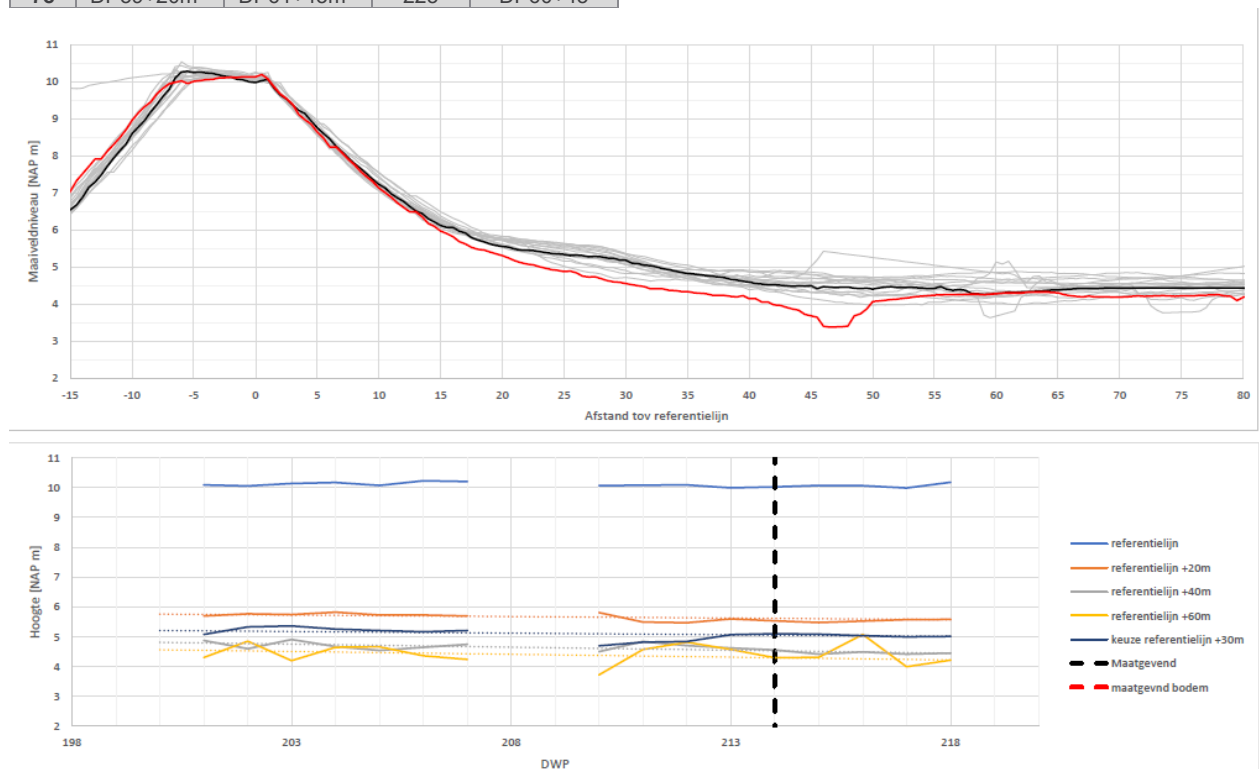
2.2 Verfijning indeling dijkvak 7 (fase 2)

Voor vak 7 is een nadere verfijning van de vakindeling uitgevoerd ten opzichte van de indeling beschreven in [6]. Dijkvak 7 is met een lengte van 1129 m relatief lang, bovendien varieert de geometrie relatief sterk. De hoogte van het achterland ligt in het eerste en laatste deel van het vak gemiddeld circa 0,5 m hoger. Ook de rond DP58 aanwezige teensloot waar het maaiveld lokaal circa 1,25 lager ligt komt hier niet voor.

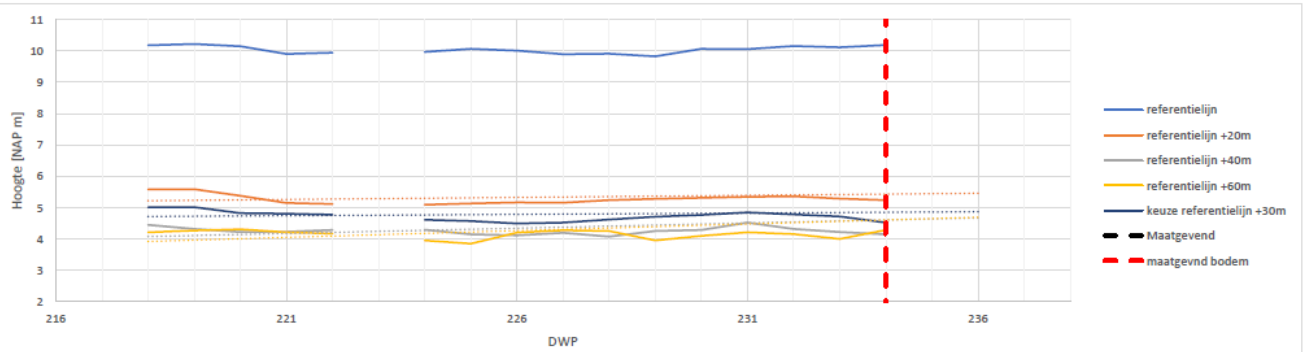
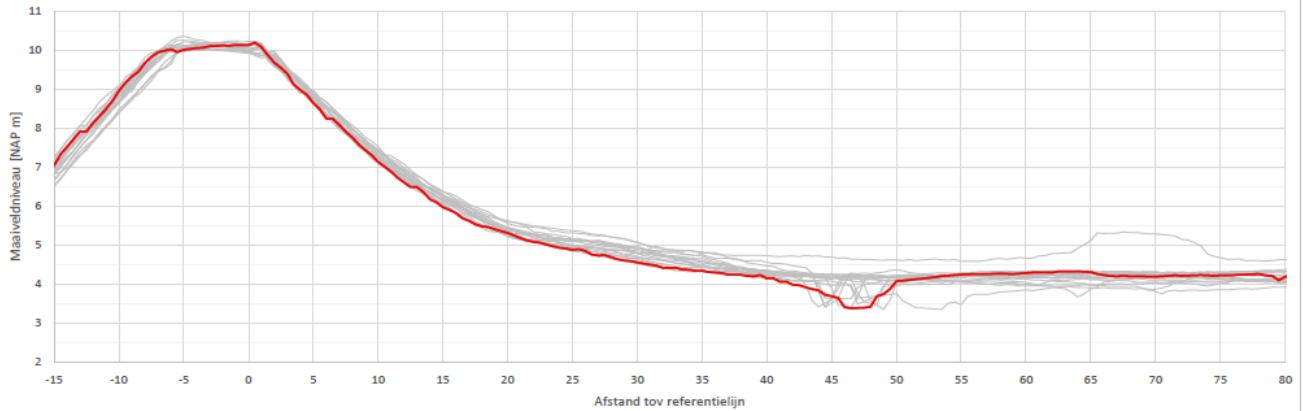
De aangepaste vakindeling en het gekozen profiel per deelvak is getoond in Tabel 5. Dijkvak 7a en 7c zijn nieuw. Voor deze dijkvakken is tevens een maatgevend profiel gekozen. Hierbij is het uitgangspunt dat het profiel over ten minste 40 a 50 m aanwezig is, lokale afwijkingen worden niet meegenomen. De grafische onderbouwing van de gekozen vakindeling is getoond in Figuur 4 t/m Figuur 6.

Tabel 5. Verfijning indeling dijkvak 7

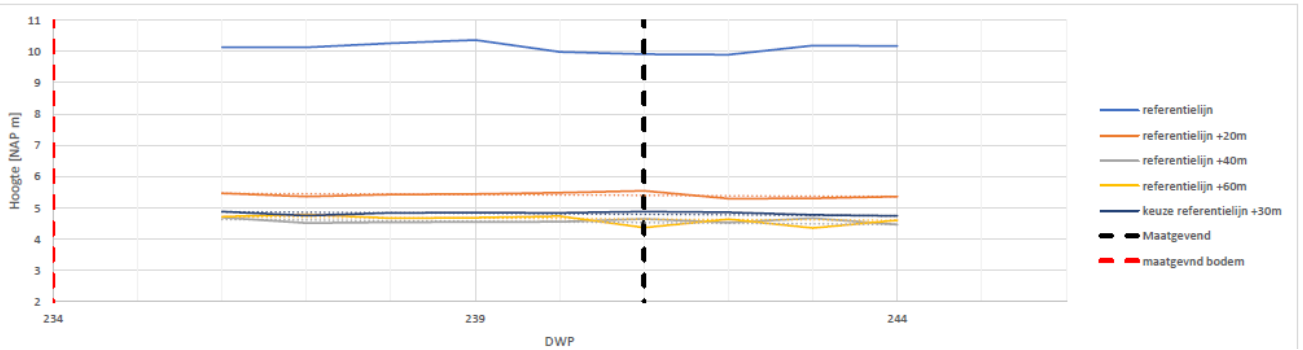
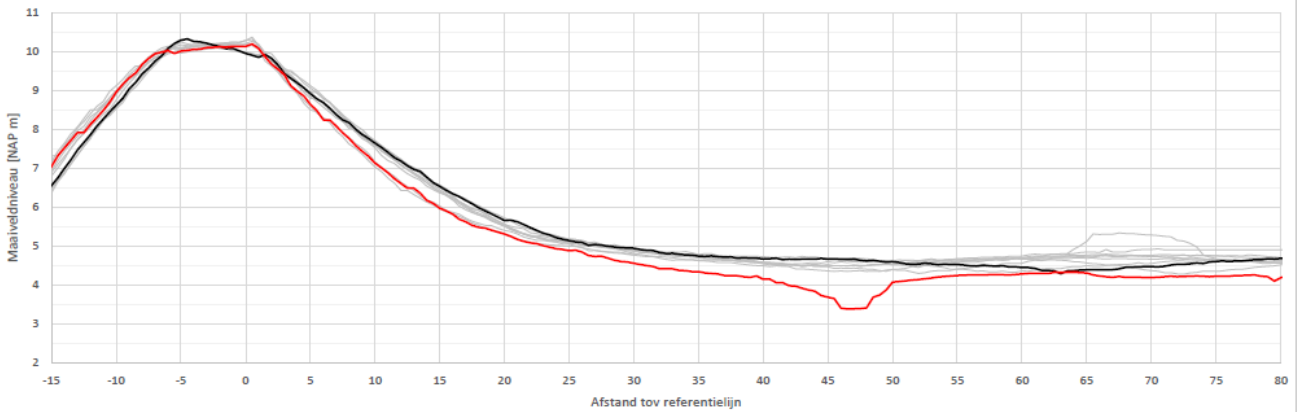
Vak	Dwarsprofiel		Lengte [m]	Gekozen Profiel
	van	tot		
7a	DP50+20m	DP54+70m	450	DP53+70
7b	DP54+70m	DP59+20m	454	DP58+65
7c	DP59+20m	DP61+45m	225	DP60+45



Figuur 4. Dijkvak 7a (gekozen profiel 7a=zwart, profiel 7b=rood)



Figuur 5. Dijkvak 7b



Figuur 6. Dijkvak 7c (gekozen profiel 7c=zwart, profiel 7b=rood)

2.3 Huidige Geometrie en Geometrie Zichtjaar 2073

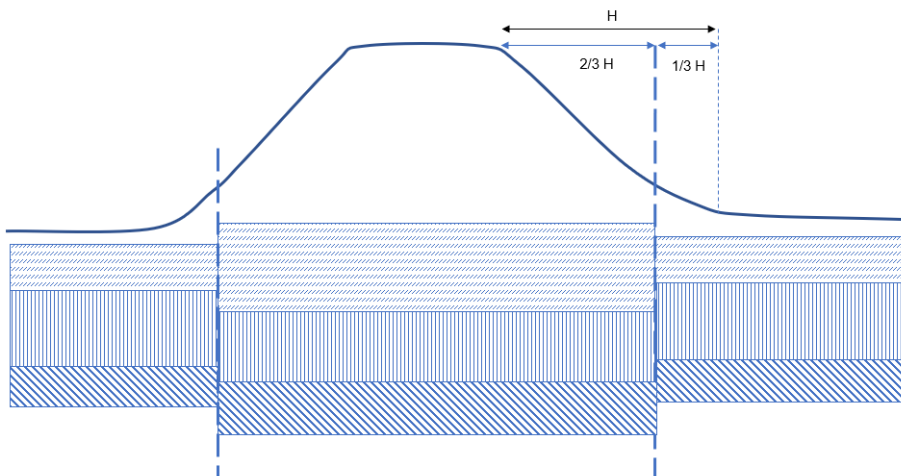
Voor de huidige geometrie van de waterkering is het meest recente AHN3 profiel gebruikt. Hierbij is rekening gehouden met de 'uitgefilterde' bebouwing die aanwezig is.

De autonome bodemdaling voor het dijktraject is afgeleid met behulp van TerraSAR-X satellietmetingen. Specifiek voor WAM geldt voor de autonome bodemdaling een brandbreedte van 0 tot en met 2 mm per jaar. De invloed van bodemdaling op de geometrie van het zichtjaar 2073 wordt genomen door het verhogen van de buitenwaterstand.

2.4 Grondopbouw

De grondopbouw voor de gekozen profielen is overgenomen uit de semi-probabilistische berekeningen [6]. Voor een groot aantal locaties zijn er raaien van twee of meer sonderingen beschikbaar: één in de kruin, één in de binnenteen en een in het achterland. Daarnaast zijn er boringen beschikbaar.

Een schematisering van horizontale laagscheidingen is wenselijk om onderscheid te kunnen maken tussen de grensspanningen onder en naast de dijk. In Figuur 7 is de grondopbouw schematisch weergegeven.



Figuur 7. Schematisatie Weergave Laagscheidingen

Verificatie opbouw voorhavendijk DP104

In het archief van HDSR ontbreekt informatie over de bodemopbouw en het ontwerp van de voorhavendijk van de Prinses Irenesluis. De voorhavendijk is onderdeel van het Amsterdam-Rijnkanaal. Deze is in het beheer van RWS. Er zijn archieftekeningen opgevraagd bij RWS over de aanleg van het Amsterdam-Rijnkanaal in de omgeving van Wijk bij Duurstede.

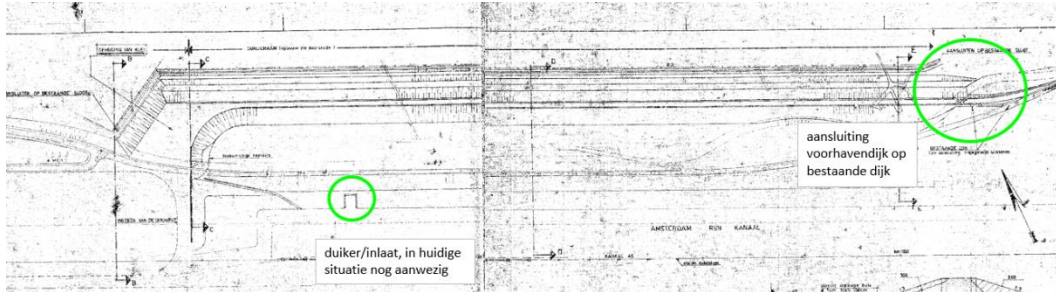
RWS heeft de volgende tekeningen aangeleverd:

- A4812 Nieuwe dijk noordzijde voorhaven;
- A4813 Grondmechanische gegevens;
- SU- 3255 Dwarsprofiel van de nieuwe dijk – Oostzijde Wijk en Tiel.

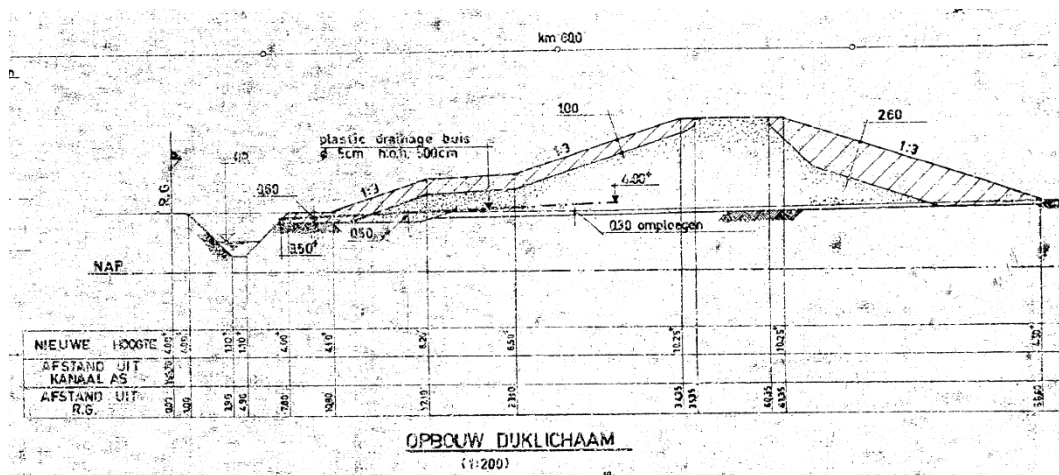
Figuur 8 toont de situatie in 1969 met de ligging van de oude dijk (voor de verbreding van het Amsterdam-Rijnkanaal en de prinses Irenesluis) en de ligging van de huidige voorhavendijk.

Figuur 9 toont de opbouw van het dijklichaam. De voorhavendijk is medio 1974 nieuw aangelegd. Het betreft een nieuw dijktracé naast bestaande dijk, zie overzicht, D-D. Dijk

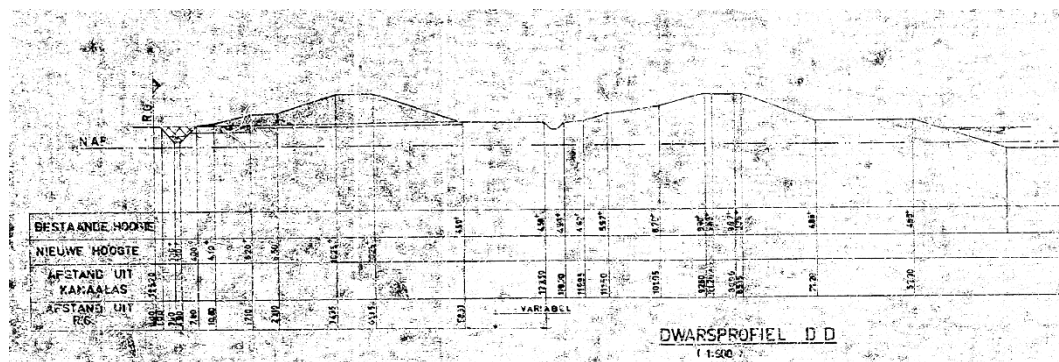
opgebouwd uit zandkern met kleideklaag. Aan buitenzijde kleideklaag van circa 2 m. Het profiel van het dijklichaam lijkt niet aangepast te zijn sinds de aanleg. De berm is wel verbreed. In het oorspronkelijke ontwerp was een drain voorzien in de berm.



Figuur 8: A4812, Situatie nieuwe dijk noordzijde voorhaven



Figuur 9: A4812 Opbouw dijklichaam noordzijde voorhaven



Figuur 10: A4812 Doorsnede D-D oude en nieuwe dijk noordzijde voorhaven

3 Geotechnische parameters

De geotechnische parameters voor de semi-probabilistische analyses zijn vastgesteld in [6]. In dit hoofdstuk zijn de parameters opgenomen ten behoeve van de probabilistische berekeningen. De te hanteren grensspanningen zijn opnieuw afgeleid. In Tabel 6 is een samenvatting opgenomen van de geotechnische parameters, of deze als stochast zijn meegenomen en de toegepaste kansverdeling.

Tabel 6: samenvatting variabelen

Parameter	Stochast	Verdeling
Volumiek gewicht	nee	nvt
Hoek van inwendige wrijving ϕ	ja	Lognormaal
Ongedraineerde schuifsterkteratio S	ja	Lognormaal
Macht m	ja	Lognormaal
Pre Overburden Pressure POP	ja	Lognormaal

3.1 Volumiek Gewicht

De volumieke gewichten zijn als deterministische waarde opgenomen Gewichten conform [6]. De waarden zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7. Volumieke Gewichten

Grondsoort	γ [kN/m ³]	γ_{verz} [kN/m ³]
Toplaag	19,5	19,5
Klei Zwaar & Dijk Onverzadigd	19,5	19,5
Klei Zwaar	18,5	18,5
Klei Licht	16,6	16,6
Veen	11,0	11,0
Zand	18,0	20,0

3.2 Geotechnische sterkteparameters

Van de geotechnische sterkteparameters ϕ , S en m zijn in [6] reeds de gemiddelde en karakteristieke waarden (5% onderschrijdingskans) vastgesteld. Dit betreft de karakteristieke waarde van het gemiddelde van een steekproef waarbij rekening is gehouden met regionale variantie.

Voor de probabilistische analyses zijn de standaardafwijkingen vastgesteld zodat de 5% onderschrijdingskans op basis van een puntmeting, overeenkomt met de 5% onderschrijdingskans van het gemiddelde van een steekproef inclusief factor Γ om rekening te houden met regionale variantie.

De geotechnische sterkteparameters voor de permanent verzadigde lagen zijn in Tabel 8 weergegeven. Dit betreft ongedraineerde schuifsterkteparameters.

Tabel 8. Eigenschappen van Ongedraineerde Lagen

Grondsoort	Verdelingstype	Karakteristiek		Gemiddeld		Standaardafwijking	
		S_{kar}	m_{kar}	μS	μm	σS	σm
Klei Zwaar	Lognormaal	0,27	0,90	0,29	0,95	0,012	0,031
Klei Licht	Lognormaal	0,24	0,82	0,28	0,87	0,026	0,031
Veen	Lognormaal	0,30	0,80	0,34	0,85	0,025	0,031

De geotechnische sterkteparameters voor de onder dagelijkse omstandigheden onverzadigde lagen en zand zijn in Tabel 9 weergegeven. Dit betreft gedraineerde schuifsterkteparameters.

NB. Voor de hoek van inwendige wrijving van zand is in fase 2 een optimalisatie doorgevoerd ten opzichte van fase 1. Conform [4] mag voor zanden met WBI-SOS eenheid $H_{Rg_z..}$ en $P_{Rg_z..}$ gerekend worden met een hoek van inwendige wrijving van gemiddeld 34 graden en een karakteristieke waarde van 32,4 graden.

Tabel 9. Eigenschappen van gedraineerde lagen

Grondsoort	Verdelingstype	Karakteristiek	Gemiddeld	Standaardafwijking
		ϕ'_{kar} [°]	$\mu\phi$ [°]	$\sigma\phi$ [°]
Toplaag	Lognormaal	30,0	32,0	1,242
Klei Zwaar & Dijk Onverzadigd	Lognormaal	31,0	32,6	0,989
Zand pleistoceen, zandtussenlaag en zand schoon (fase 1)	Lognormaal	28,6	30,0	0,865
Zand pleistoceen, zandtussenlaag en zand schoon (fase 2)	Lognormaal	32,4	34,0	0,989

3.3 Grensspanning / Pre Overburden Pressure

In [6] zijn, op basis van de sonderingen voor alle grondlagen, de POP-waarden vastgesteld aan de boven- en onderzijde van de iedere grondlaag gegeven de gemiddelde waarden van S en m , de afgeleide waarde voor N_{kt} en de bijbehorende variatiecoëfficiënt. Deze waarden zijn bepaald met behulp van de CPT-tool.

In de semi-probabilistische beoordelingen zijn de doorsnedes beschouwd met de maatgevende geometrie. In [6] is reeds vastgesteld dat de waarden van POP zeer sterk variëren binnen de gedefinieerde dijkvakken. Er worden zowel zeer hoge als zeer lage waarden gevonden. In [6] is hierop geconcludeerd dat de ter plaatse van de maatgevende geometrie vastgestelde POP-waarden niet of zeer beperkt representatief zijn voor het gehele dijkvak. Derhalve is ervoor gekozen om de ondergrenswaarden voor POP uit [4] aan te houden. Dit betreft een veilig uitgangspunt.

Voor de probabilistische analyses zijn de te hanteren POP-waarden opnieuw beschouwd om voor het gehele vak representatieve gemiddelde en karakteristieke waarden vast te stellen. Tevens is de waarde van S_u in relatie tot de aanwezige geometrie (gunstig of ongunstig) beschouwd.

Om vast te stellen hoe de sterkte varieert binnen het vak zijn per ongedraineerde grondlaag genormaliseerde S_u -profielen opgesteld. In het S_u profiel is de gemiddelde waarde (gemiddelde tussen waarde aan bovenzijde en onderzijde per grondlaag) getoond onder de kruin, de binnenberm en het achterland.

Op basis van dit profiel is een inschatting gemaakt in hoeverre er sprake is van trends in het verloop van de sterkte en daarmee ook de POP.

Deze analyse is uitgevoerd voor:

- vak 6, doorsnede DP43;
- [vak 6a, doorsnede DP44](#)
- [vak 7, doorsnede DP58](#)
- [vak 9, doorsnede DP74](#)
- vak 17, doorsnede DP104.

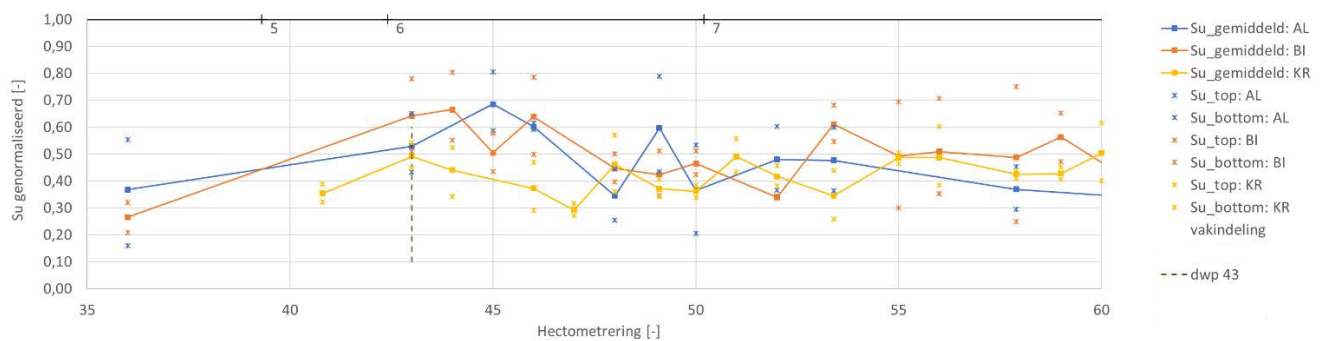
In 10, doorsnede DP80 zijn geen ongedraineerde grondlagen geschematiseerd.

Vak 6, doorsnede DP43 (fase 1)

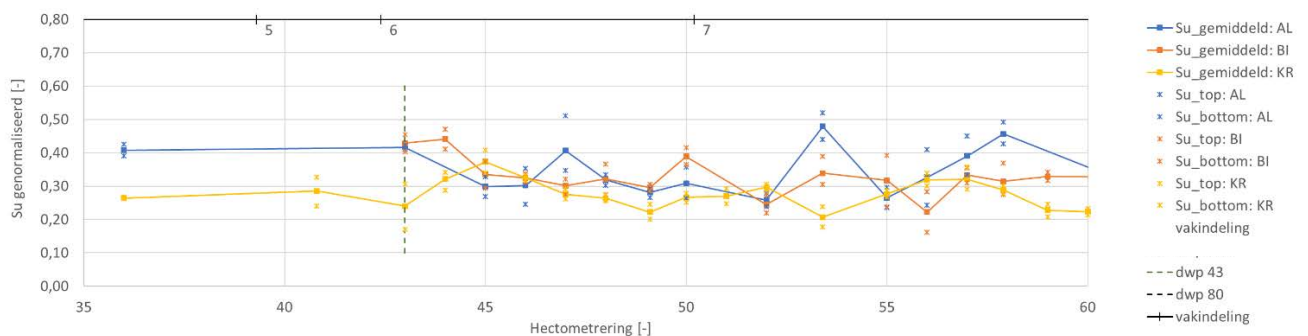
De genormaliseerde S_u voor klei licht en klei zwaar wordt getoond in Figuur 11 en Figuur 12. Voor vak 6 zijn de volgende conclusies getrokken:

- De slechtste geometrie is aanwezig ter plaatse van DP43. Deze geometrie is binnen vak 6 aanwezig tussen circa DP42+40 en 43+70. Zie bijlage 7 [6].

- Uit genormaliseerde Su van klei licht en zwaar volgt dat zeer waarschijnlijk sprake is van trends binnen vak 6. (De sterkte varieert, maar niet geheel willekeurig). Dit betekent dat de gemeten schuifsterkte en afgeleide POP representatief zijn voor de berekende doorsnede en dat het aannemelijk is dat tussen DP42+70 en 43+70 de sterkte grotendeels overeenkomt.
- Binnen vak 6 zijn in andere raaien lagere sterktes gemeten, echter op deze locaties is ook sprake van een aanzienlijk gunstigere geometrie.
- Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat in plaats van het aanhouden van de ondergrenswaarden uit [4], de "lokaal" gemeten sterktes, bepaald met de CPT-tool, wel representatief zijn.
- Uitzondering betreft de sterkte van veen. De lokaal gemeten sterkte is zeer hoog en de sterkte varieert op relatief korte afstand zeer sterk. Derhalve is ervoor gekozen om hier de laagste gemeten waarden (DP45_AL) aan te houden.
- Tevens is de grens tussen klei onverzadigd en klei zwaar verlaagd van circa NAP +5 naar NAP +4. De sterkte van deze kleilaag varieert ook zeer sterk, de lokaal gemeten hoge sterkte wordt niet representatief geacht voor het gehele vak.
- Om de berekeningen te vereenvoudigen, is gerekend met één POP per layer in plaats van top en bottom. Dit heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat.
- NB: Voor de berekening van de ondergrens van POP is na de CPT-fase een extra fase opgenomen met de laagst gemeten grondwaterstand gebaseerd op daadwerkelijke metingen.



Figuur 11. Genormaliseerde Su klei zwaar onder de kruin, binnenberm en het achterland



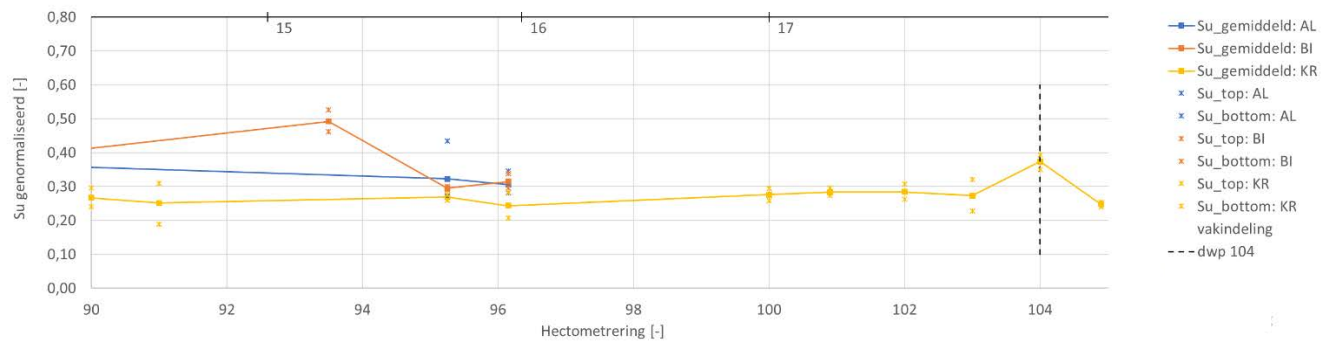
Figuur 12. Genormaliseerde Su klei licht onder de kruin, binnenberm en het achterland

Vak 16, doorsnede DP104 (fase 1)

De genormaliseerde Su voor klei licht (klei zwaar is hier niet aangetroffen) wordt getoond in Figuur 13. Voor vak 17 zijn de volgende conclusies getrokken:

- De geometrie is zeer uniform.

- De bodemopbouw is redelijk uniform afgezien van de aanwezigheid van een veenlaag. Het is onzeker of deze ook aanwezig is onder de kruin. Grondonderzoek is langs dit traject vrij beperkt.
- De veenlaag is mogelijk niet aanwezig. Gebruik van S, m en POP resulteert wanneer er in werkelijkheid een kleilaag aanwezig is in deze situatie tot een overschatting van de sterkte. De S van veen is hoger dan van dicht klei. De gemeten Su is relatief laag. POP kan fysisch niet lager zijn dan 0, de teruggerekende karakteristieke waarde ligt echter lager dan 0 kPa. Voor de probabilistische berekening is de veenlaag daarom gewijzigd in klei licht.
- Uit genormaliseerde Su van klei licht (klei zwaar komt hier niet voor) volgt dat ter plaatse van de gemeten sterkte ter plaatse van de gekozen doorsnede niet representatief is. De sterkte ter plaatse van de doorsnede is relatief hoog, in alle overige raaien worden aanzienlijk lagere sterktes aangetroffen.
- Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat de gemiddelde en karakteristieke waarde op basis van de overige meetraaien moet worden vastgesteld. Dit resulteert in een gemiddelde waarde van POP van 16,06 kPa en een 5% ondergrens van 1,8 kPa voor de lichte klei. Zie voor berekening Tabel 10.



Figuur 13. Genormaliseerde Su klei licht onder de kruin (geen data voor binnenberm en achterland)

Tabel 10. Bepaling POP lichte klei DP104

gemiddelde	-	16.05
VC	variatiecoëfficiënt	0.54
SD	standaarddeviatie	8.62
n	aantal waarnemingen	6
Xgem;kar	karakteristieke waarde van het gemiddelde van een steekproef	1.864
tn-1	Student t-factor bij 5% karakteristieke ondergrenswaarde	2.02
α	Verhouding tussen de lokale en regionale variantie (en (1-a) de fluctuatie van het lokale gemiddelde). $\Gamma^2 = 1 - 0.75 = 0.25$ uit TRWG slaat op <i>puntmetingen</i> in een <i>regionale</i> verzameling. Hier is al sprake van lokaal gemiddelde waarden per sondering, daarnaast is 500 meter breedte ook eerder 'lokaal'. Dit vereist een hogere waarde; in overleg is hier een waarde van 0,5 aangehouden.	0.5

Vak 6a, doorsnede DP44 (fase 2)

Vak 6a betreft een relatief kort vak van 72 m ter plaatse van een woning. De maatgevende doorsnede qua geometrie is aanwezig over circa 35 m. Vanwege de zeer beperkte lengte van het dijkvak (<50 m) is geconcludeerd dat in plaats van het aanhouden van de ondergrenswaarden uit [4], de “lokaal” gemeten sterktes, bepaald met de CPT-tool, wel representatief zijn. In deze berekening is het gemiddelde van de karakteristieke waarden genomen per grondlaag met onderscheid tussen materiaal onder en naast de dijk. De POP-waarden zijn opgenomen in Tabel 9.

Tabel 11. Eigenschappen van ongedraineerde lagen vak 6a, doorsnede DP44

Grondsoort	Karakteristiek
	POP [kPa]
Klei zwaar naast	44,50
Klei licht naast	22,45
Klei zwaar onder	22,50
Klei licht onder	7,00

Vak 7, doorsnede DP58 (fase 2)

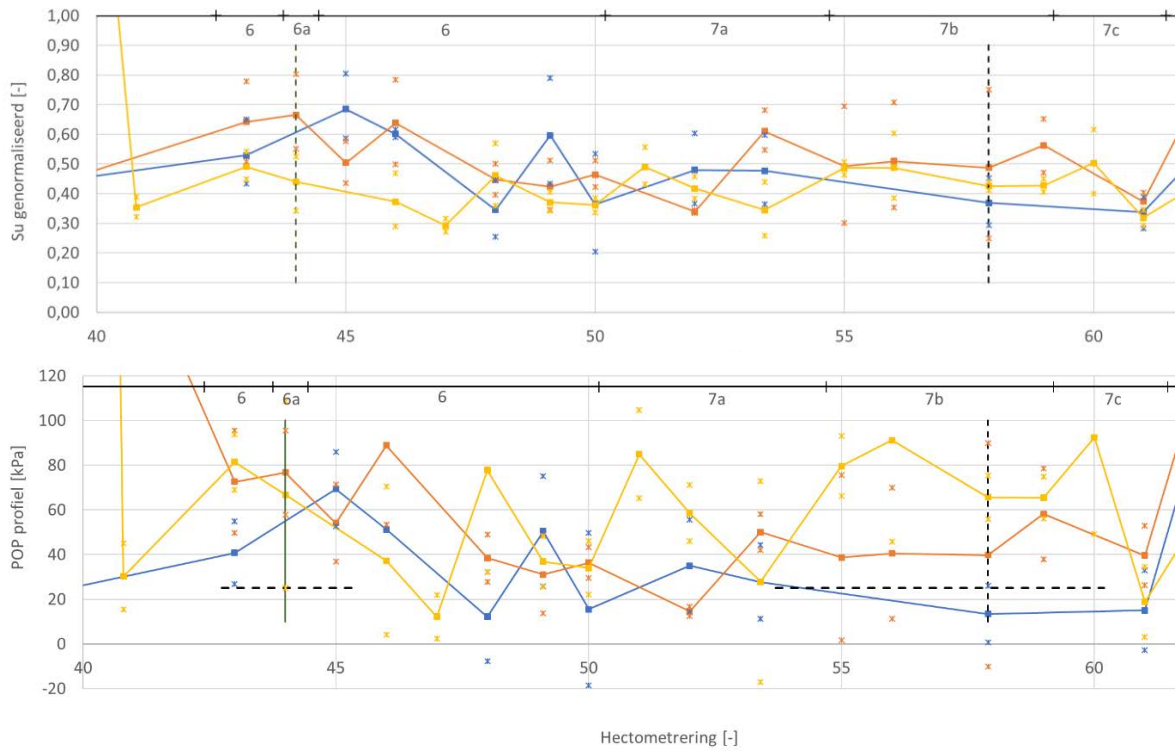
De genormaliseerde Su en de POP voor klei licht en klei zwaar wordt getoond Figuur 14 en Figuur 15. Voor vak 7 zijn de volgende conclusies getrokken:

- Binnen vak 7 zijn qua geometrie 3 subvakken te onderscheiden. Doorsnede DP58 is representatief voor het traject tussen DP54+70m en DP59+20m (vak 7b).
- Uit genormaliseerde Su's en POP's volgt dat de sterkte binnen vak 7 (en ook binnen het qua geometrie uniforme subvak 7b) sterk varieert. De ondergrenswaarden uit [4], de “lokaal” gemeten sterktes, bepaald met de CPT-tool kunnen niet representatief worden gesteld voor het gehele vak. Binnen het vak worden op meerdere locaties aanzienlijk lagere sterktes gevonden dan ter plaatse van doorsnede DP58.
- Er is daarom gekozen om gebruik te maken van de defaultwaarden van POP voor Naaldwijk klei ondiep en diep uit [4] conform tabel 7.4.
- Ter verificatie zijn de gemiddelde defaultwaarden van POP geplot in Figuur 14 en Figuur 15.
 - voor klei zwaar is de gemiddelde default waarde een veilige keuze.
 - voor klei licht onder de berm en in het achterland is de gemiddelde default waarde redelijk representatief.
 - voor klei licht onder de kruin is de gemiddelde waarde geen veilige keuze. De waargenomen gemiddelde waarden liggen bij meerdere doorsnedes aanzienlijk lager. Er is derhalve voor gekozen om de gemiddelde waarde gelijk te stellen aan de karakteristieke waarde.
- NB: Voor de berekening van de ondergrens van POP is na de CPT-fase een extra fase opgenomen met de laagst gemeten grondwaterstand gebaseerd op daadwerkelijke metingen.

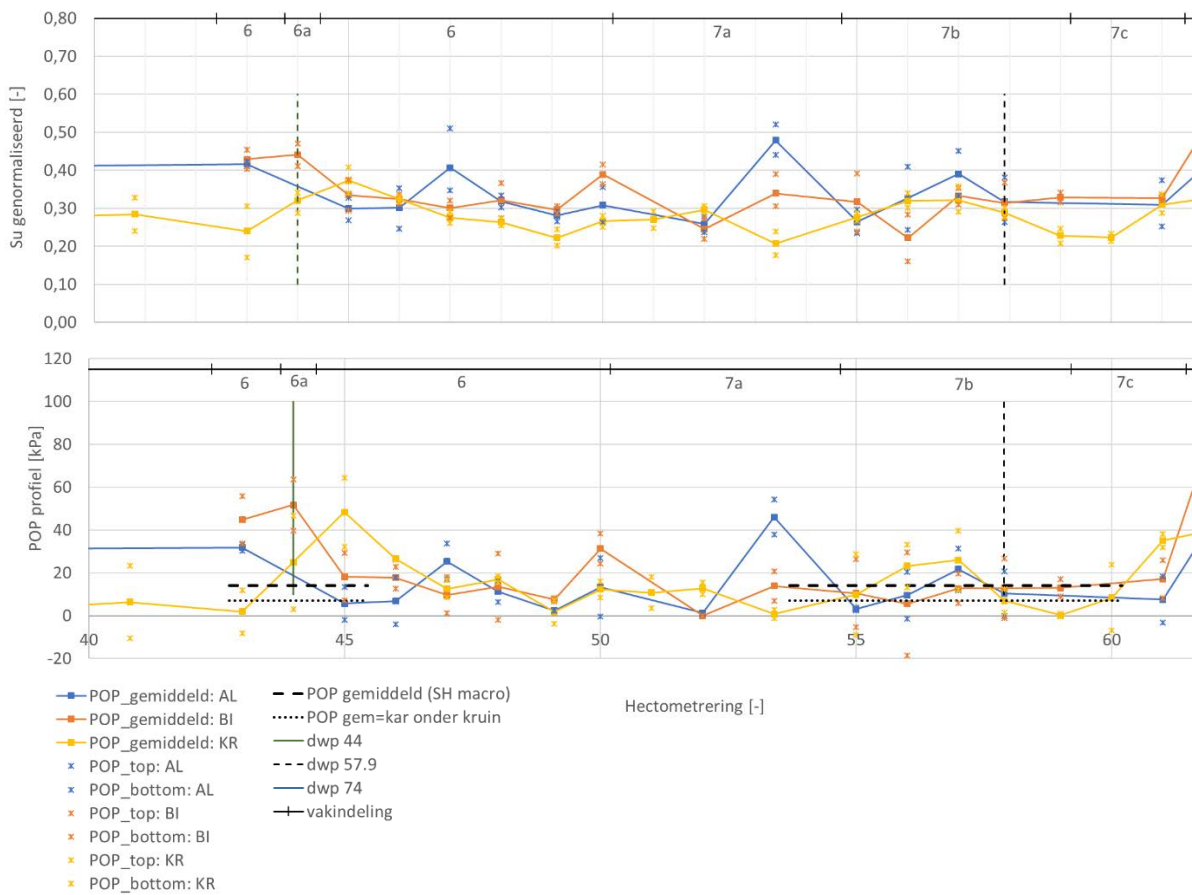
De gehanteerde POP-waarden zijn opgenomen in Tabel 12

Tabel 12. Eigenschappen van ongedraineerde lagen vak 7b, doorsnede DP58

Grondsoort	Karakteristiek	Gemiddeld	Standaarddeviatie
	POP [kPa]	POP [kPa]	POP [kPa]
Klei zwaar KR, BI en AL	15	25	7,29
Klei licht KR	7	7	0
Klei licht BI en AL	7	14	5,49



Figuur 14. Genormaliseerde Su en POP-profiel klei zwaar onder de kruin, binnenberm en het achterland



Figuur 15. Genormaliseerde Su en POP-profiel klei licht onder de kruin, binnenberm en het achterland

Vak 9, doorsnede DP74 (fase 2)

Vak 9 betreft een vak van 229 m met een relatief uniforme geometrie. Binnen het dijkvak is slechts één raai met sonderingen beschikbaar. Er is derhalve onvoldoende informatie beschikbaar om gebruik te maken van de ondergrenswaarden uit [4], de “lokaal” gemeten sterktes, bepaald met de CPT-tool. De enkele beschikbare raai kan niet met voldoende zekerheid representatief worden gesteld voor het gehele vak. Er is daarom gekozen om gebruik te maken van de defaultwaarden van POP voor Naaldwijk klei ondiep uit [4] conform tabel 7.4.

De gehanteerde POP-waarden zijn opgenomen in Tabel 12

Tabel 13. Eigenschappen van ongedraineerde lagen vak 9, doorsnede DP74

Grondsoort	Karakteristiek	Gemiddeld	Standaarddeviatie
	POP [kPa]	POP [kPa]	POP [kPa]
Klei zwaar KR	15	25	7,29

3.4 Correlaties

Aangenomen is dat de parameters S en m per laag met dezelfde afzetting onder en naast de dijk volledig zijn gecorreleerd. Omdat de voorbelastingsgeschiedenis onder en naast de dijk afwijkt, worden de POP waarden onder en naast de dijk volledig onafhankelijk aangenomen. Opgemerkt wordt dat de OCR onder en naast de dijk over het algemeen verschillen en dat deze bij voorkeur apart worden afgeleid.

4 Buitenwaterstand

In de semi-probabilistische analyse is de beoordeling van macrostabiliteit bepaald op basis van de buitenwaterstand behorend bij de overstromingskans van het normtraject (WBN). Voor de faalkans analyse is voor meerdere waterstanden de faalkans berekend. Deze waterstanden zijn met het programma Hydra-NL bepaald met de versie 2.3.5.

4.1 Bepaling rekenlocaties in Hydra-NL

De waterstanden zijn bepaald voor een aantal locaties. In Hydra-NL worden deze locaties illustratiepunten genoemd. Er zijn meerdere illustratiepunten beschikbaar per dijkvak wat leidt tot een andere WBN of herhalingstijd bij een overslag. In deze paragraaf is onderbouwd bij welke rekenlocatie de hydraulische randvoorwaarden zijn gebruikt voor het uitvoeren van de probabilistische berekeningen.

Dijkvak 6

Voor de onderdelen “WBN” en “overslag” is gekozen voor de rekenlocatie bij DP43+00. Voor het bijbehorende illustratiepunt zijn de hydraulische belastingen bepaald.

Voor DP49+00 wordt een *aparte fragility-curve* opgesteld, omdat de kruinhoogte veel lager ligt dan bij DP43+00. Het gevolg is dat de kans van voorkomen bij een overslag van 1l/s/m of 10 l/s/m veel groter is, wat invloed heeft op het resultaat van de probabilistische analyse.

Tabel 14. Gekozen rekenlocatie en illustratiepunt in dijkvak 6

Waterstand bij ...	Dijkpaal	Onderbouwing	Illustratiepunt Dkr 44
WBN	DP43+00	Maatgevende locatie STBI bij WBN	*922-923 Loc 7_156026_443084
Overslag 1 l/s/m	DP43+00	Niet maatgevend, wel representatief	*922-923 Loc 7_156026_443084
Overslag 10 l/s/m	DP43+00	Niet maatgevend, wel representatief	*922-923 Loc 7_156026_443084
Overslag 1 l/s/m	DP49+00	Maatgevend in dijkvak 6 door hoogte tekort	**NR_1_44-1_dk_00279
Overslag 10 l/s/m	DP49+00	Maatgevend in dijkvak 6 door hoogte tekort	**NR_1_44-1_dk_00279

*Illustratiepunt uit DPa database (Rijntakken afvoer)

**Illustratiepunt uit WBI database

Dijkvak 10

Voor de onderdelen “WBN” en “overslag” is gekozen voor de rekenlocatie bij DP80+00. Voor het bijbehorende illustratiepunt zijn de hydraulische belastingen bepaald.

De dijknormaal van dijkvak 10 varieert, maar de rekenlocatie bij DP80+00 is voldoende representatief. Het dijkvak ligt relatief hoog, waardoor de kans op een overslag van 1l/s/m of 10l/s/m extreem laag is. Het onderdeel overslag zal beperkte invloed hebben op het resultaat, waardoor alleen de hydraulische belastingen bij DP80+00 gebruikt worden voor de probabilistische berekening.

Tabel 15. Gekozen rekenlocatie en illustratiepunt in dijkvak 10

Waterstand bij ...	Dijkpaal	Onderbouwing	Illustratiepunt Dkr 44
WBN	DP80+00	Maatgevende locatie STBI bij WBN	926-928 Loc 5_152445_442709
Overslag 1 l/s/m	DP80+00	Niet maatgevend, maar wel representatief. Door de lage kans van optreden hoeft geen aparte maatgevende locatie beschouwd te worden.	926-928 Loc 5_152445_442709
Overslag 10 l/s/m	DP80+00	Niet maatgevend, maar wel representatief. Door de lage kans van optreden hoeft geen aparte maatgevende locatie beschouwd te worden.	926-928 Loc 5_152445_442709

*Gekozen illustratiepunt uit de DPa database ligt 424m van DP80+00. Dit heeft alleen effect bij een waterstand met T=1 en T=3. Bij alle andere terugkeertijden treedt een waterstand op die maximaal 0,05m lager ligt.

Dijkvak 17

Voor de onderdelen “WBN” en “overslag” is gekozen voor de rekenlocatie bij DP104+00. Voor het bijbehorende illustratiepunt zijn de hydraulische belastingen bepaald. Er is weinig variatie binnen het dijkvak, waardoor DP104+00 representatief is voor dijkvak 17.

Tabel 16. Gekozen rekenlocatie en illustratiepunt in dijkvak 17

Waterstand bij ...	Dijkpaal	Onderbouwing	Illustratiepunt Dkr 44
WBN	DP104+00	Maatgevende locatie STBI bij WBN	929-930 Loc 3_150979_441975
Overslag 1 l/s/m	DP104+00	Representatief voor overslag	929-930 Loc 3_150979_441975
Overslag 10 l/s/m	DP104+00	Representatief voor overslag	929-930 Loc 3_150979_441975

4.2 Buitenwaterstand Huidige Situatie en 2073

De verdeling van de buitenwaterstand per profiel is in Tabel 17 en Tabel 18 opgenomen. De statistiek van de buitenwaterstand verandert niet tot en met 2073. In Hydra-NL is een onzekerheidstoetslag voor de waterstand inbegrepen.

In Tabel 17 zijn de buitenwaterstanden weergegeven voor de rekenlocaties uit fase 1 in dijkvak 6, 10 en 16. [In Tabel 18 zijn de buitenwaterstanden weergegeven voor de rekenlocaties in uit fase 2 dijkvak 6a, 7 en 9.](#) De Strategische Nota schrijft de DPa database voor en voor de tussenliggende rekenpunten wordt het verschil met de WBI database meegenomen.

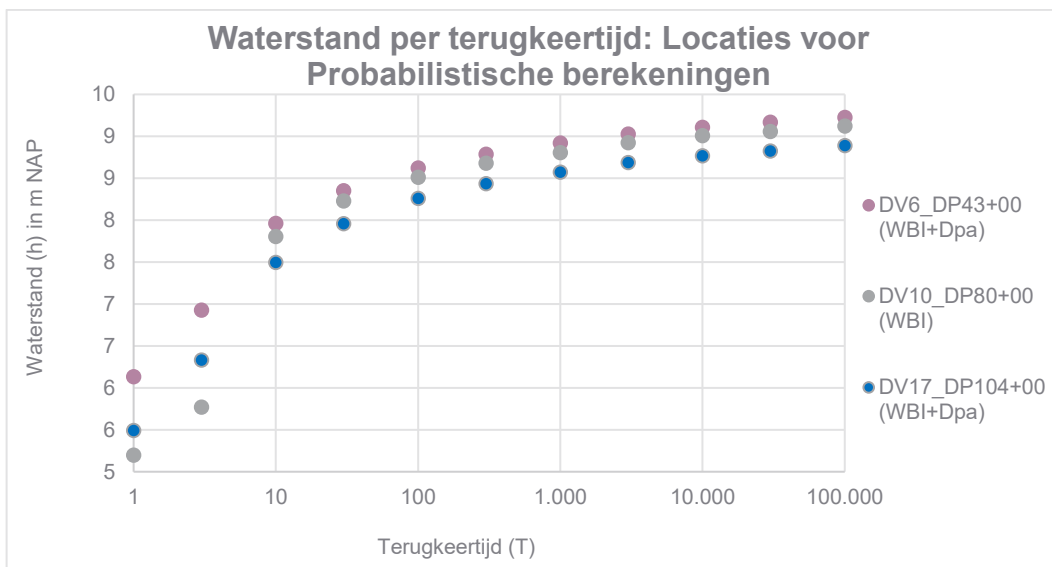
Tabel 17. Buitenwaterstand (Hydra-NL, DPa Rijntakken en WBI 2017 database)

Terugkeertijd [Jaar]	Huidige Buitenwaterstand [NAP m]		
	Dijkvak 6 Profiel DP43+00m	Dijkvak 10 Profiel DP80+00m	Dijkvak 16 Profiel DP104+00m
1	6,13	5,73	5,49
3	6,93	6,58	6,33
10	7,96	7,77	7,50
30	8,35	8,19	7,96
50 (grens dagelijks)	8,47	8,31	8,09
100	8,62	8,48	8,26
300	8,79	8,64	8,43
1.000	8,92	8,77	8,57
3.000	9,03	8,88	8,69
10.000	9,11	8,96	8,77
30.000	9,17	9,02	8,83
100.000	9,22	9,08	8,89

Tabel 18. Buitenwaterstand (Hydra-NL, DPa Rijntakken en WBI 2017 database)

Terugkeertijd [Jaar]	WBI (100m)	WBI (100m)	WBI (100m)	WBI (100m)	DPa (1000m)
	Dijkvak 6a Profiel DP44+00m	Dijkvak 7a Profiel DP53+40	Dijkvak 7b Profiel DP58+65	Dijkvak 7c Profiel DP60+45	Dijkvak 9 Profiel DP74+00
1	6,27	5,37	4,30	3,34	5,83
3	7,11	5,94	5,09	4,32	6,72
10	8,06	7,95	7,93	7,93	7,91
30	8,44	8,39	8,36	8,36	8,33
50 (grens dagelijks)	8,57	8,53	8,50	8,50	8,47
100	8,71	8,67	8,64	8,64	8,6
300	8,87	8,84	8,81	8,81	8,77
1.000	9,00	8,97	8,94	8,94	8,89
3.000	9,12	9,09	9,06	9,06	9,00
10.000	9,21	9,17	9,15	9,15	9,09
30.000	9,26	9,22	9,20	9,20	9,14
100.000	9,32	9,28	9,26	9,26	9,20

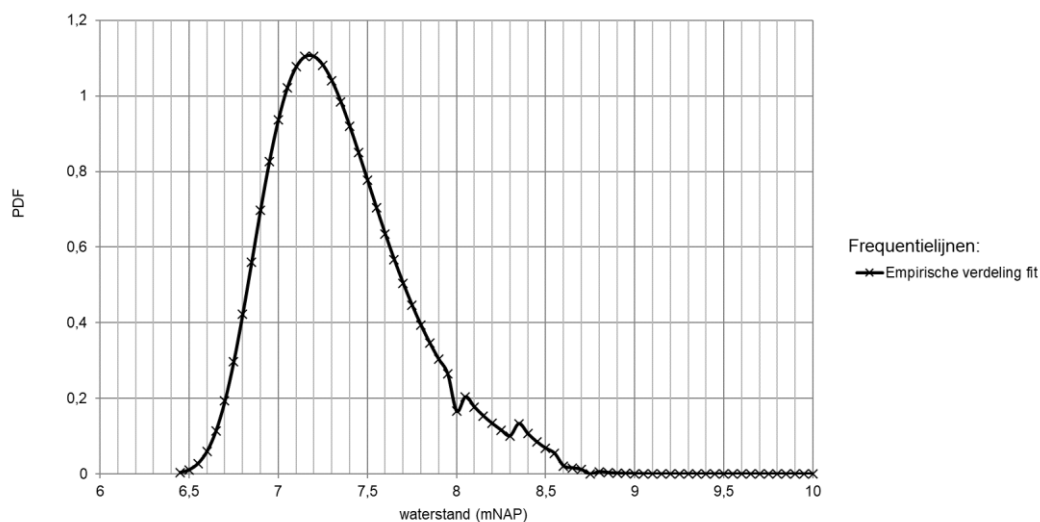
Uit Tabel 17 volgt de grafiek weergegeven in Figuur 16. De berekende punten zijn bepaald met de DPa database. Voor dijkvak 10 DP80+00 is geen rekenlocatie in de DPa database aanwezig. Er is een maximale afwijking van 0,02m bij de andere rekenpunten geconstateerd, waardoor de WBI waarden zo goed als overeenkomen met de vigerende database.



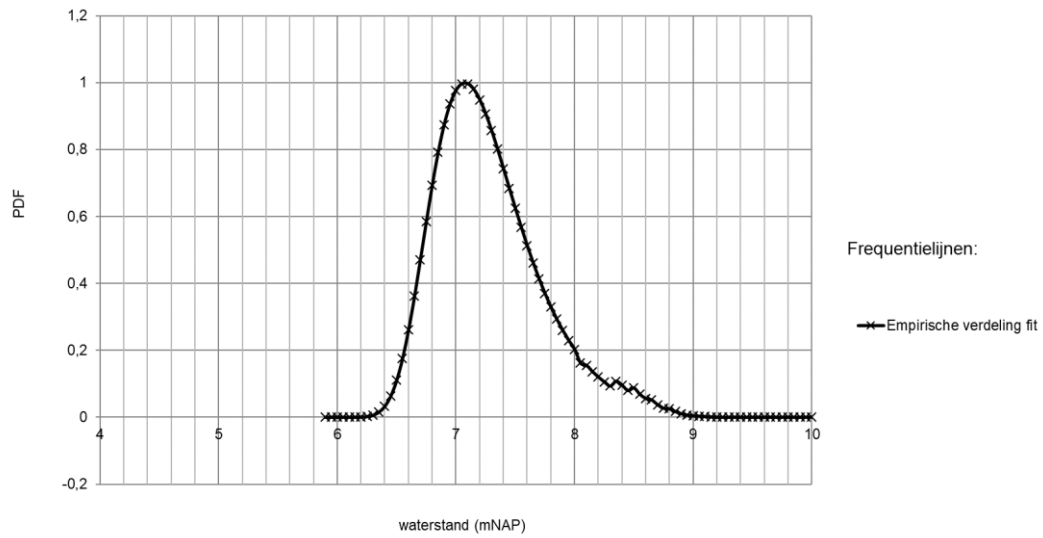
Figuur 16. Waterstanden bij gekozen locaties met een terugkeertijd T

4.3 Frequentielijn Buitenwaterstand

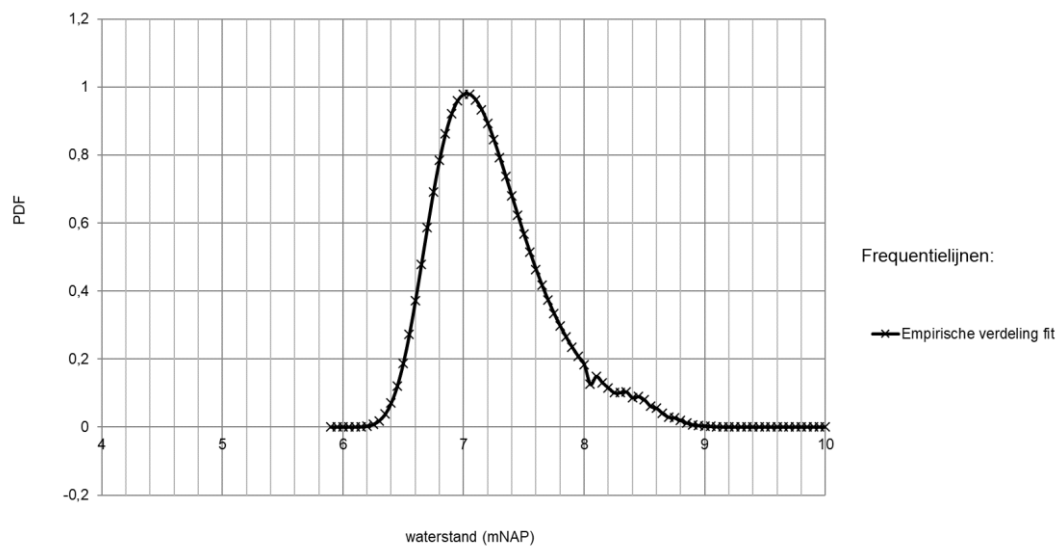
Met behulp van een Gumbel fit zijn verdelingen van de buitenwaterstand opgesteld per locatie. De frequentielijnen zijn getoond in Figuur 17 t/m Figuur 21.



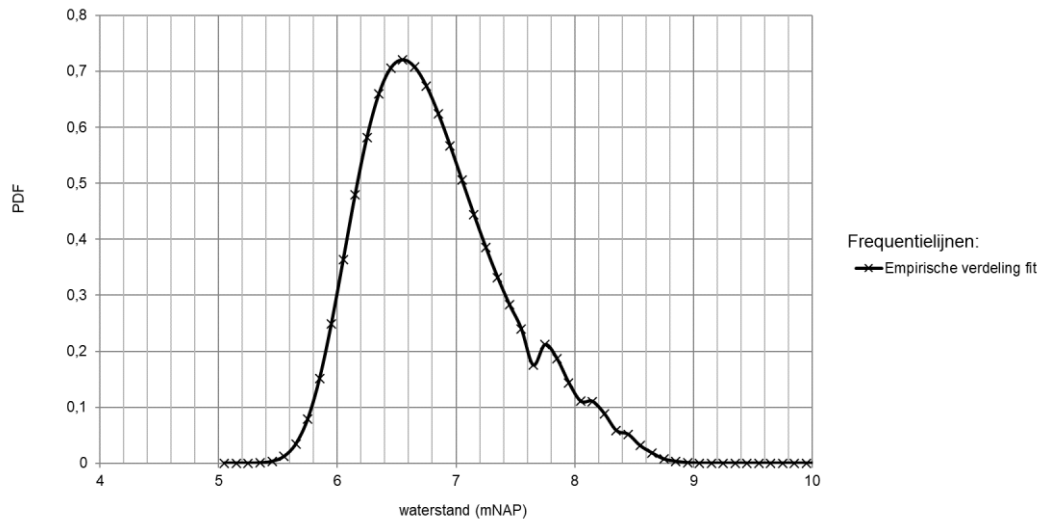
Figuur 17. Frequentielijn waterstand DP43



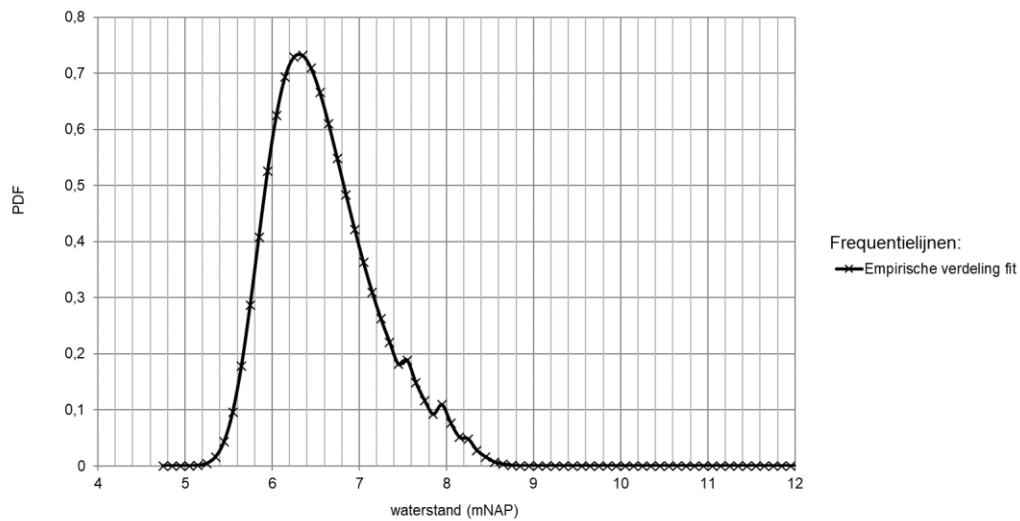
Figuur 18. Frequentielijn waterstand DP58 (fase 2)



Figuur 19. Frequentielijn waterstand DP74 (fase 2)



Figuur 20. Frequentielijn waterstand DP80



Figuur 21. Frequentielijn waterstand DP104

4.4 Significante Waterstanden

Tabel 19 en Tabel 20 geeft de waterstanden voor de beschouwde dijkvakken bij dagelijkse omstandigheden, uplift factor 1.2, uplift factor 1.0 en WBN.

Tabel 19. Buitenwaterstanden: dagelijks en tijdens WBN fase 1

Dijkvak	Profiel	Buitenwaterstanden [NAP m]			
		Dagelijks	Uplift 1,2*	Uplift 1,0*	WBN
6	DP43+00m	3,00	8,21	8,90	9,11
10	DP80+00m	3,00	6,73	7,10	9,01
17	DP104+00m	3,00	5,75	6,38	8,76

* op basis van de karakteristieke waarden van doorlatendheid van het watervoerend pakket en intreelengte van het voorland

Tabel 20. Buitenwaterstanden: dagelijks en tijdens WBN fase 2

Dijkvak	Profiel	Buitenwaterstanden [NAP m]			
		Dagelijks	Uplift 1,2*	Uplift 1,0*	WBN
6a	DP44+00m	4,00	9,65	10,45	9,21
7b	DP58+65	4,30	8,25	9,03	9,15
9	DP74+00	4,00	6,33	6,53	9,09

* op basis van de karakteristieke waarden van doorlatendheid van het watervoerend pakket en intreelengte van het voorland

In Hydra-NL is de buitenwaterstand bepaald bij een overslagdebiet van 1 l/s/m en overslagdebiet van 10 l/s/m bij de ingevoerde (huidige) kruinhoogte. De bodemdaling van 0,10 m is achteraf verdisconteerd in de waterstand. Naast de waterstand wordt ook de herhalingstijd bepaald en is weergegeven in Tabel 21 en Tabel 22.

Tabel 21. Buitenwaterstanden: bepaald met terugkeertijd bij huidige kruinhoogte fase 1

Dijkvak	Profiel	Buitenwaterstanden [NAP m] bij variabele terugkeertijd			
		Overslag 1 l/s/m	T =	Overslag 10 l/s/m	T =
6	DP43+00m	8,52	117.796	8,94	4.317.800
10	DP80+00m	8,66	248.980	8,91	6.571.600
17	DP104+00m	8,38	6.626.200	8,60	8.705.400

* De waterstanden en terugkeertijden in de DPa database verschillen met de WBI database. De DPa database is leidend, zoals voorgeschreven staat in de Strategische Nota van Uitgangspunten.

Tabel 22. Buitenwaterstanden: bepaald met terugkeertijd bij huidige kruinhoogte fase 2

Dijkvak	Profiel	Buitenwaterstanden [NAP m] bij variabele terugkeertijd			
		Overslag 1 l/s/m	T =	Overslag 10 l/s/m	T =
6a	DP44+00m	8,52	92.476	8,90	4.041.698
7b	DP58+65	8,37	9.769	8,65	389.999
9	DP74+00	8,36	27.574	8,63	1.625.599

* De waterstanden en terugkeertijden in de DPa database verschillen met de WBI database. De DPa database is leidend, zoals voorgeschreven staat in de Strategische Nota van Uitgangspunten.

4.5 Fragility curves overslagdebiet 1 en 10 l/s/m

Overslag ($q > 1$ l/m/s) resulteert in verzadiging van het dijklichaam en bij een volledig verzadigde dijk ($q > 10$ l/m/s) is de kans op falen bij DP43 en DP104 relatief hoog. De kans dat deze overslag optreedt is echter relatief klein.

Er zijn door HKV fragility curves vastgesteld met de kans op een overslagdebiet van $q = 1$ en $q = 10$ l/s/m bij verschillende waterstanden. De rapportage is opgenomen in bijlage E.

5 Waterspanningen

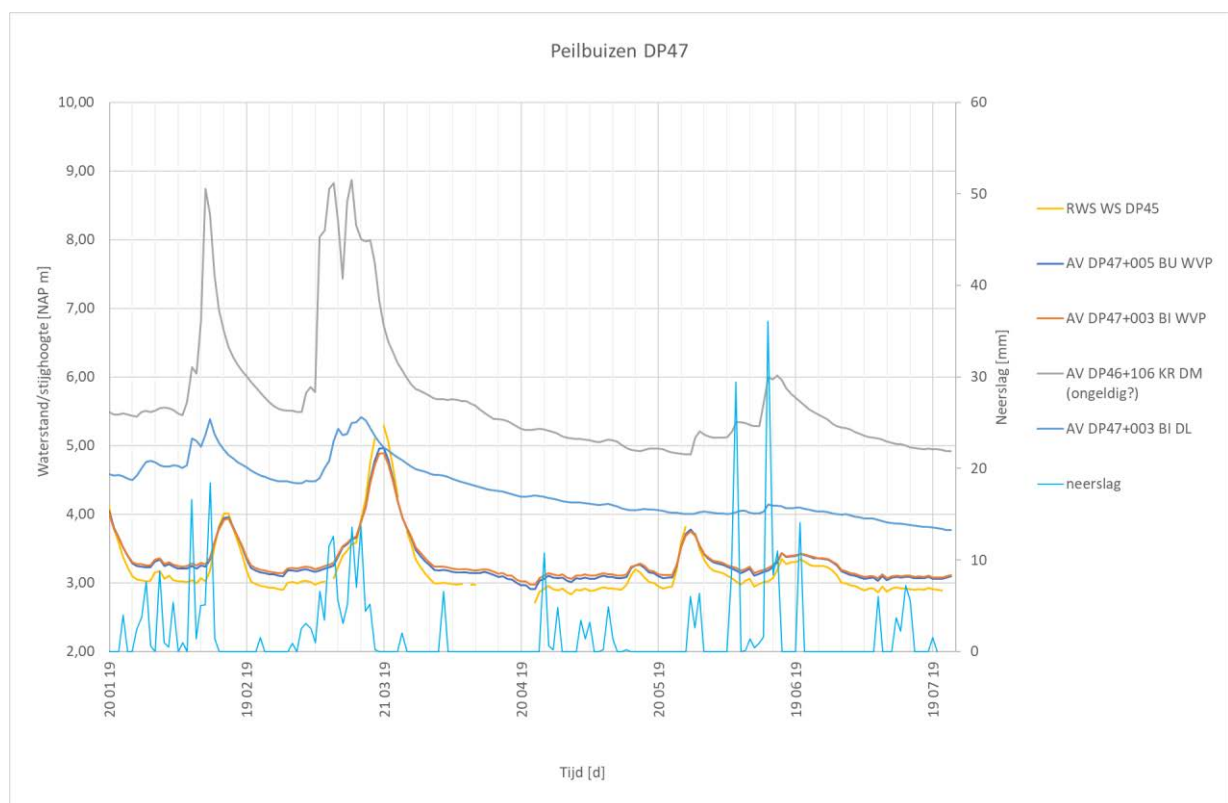
De waterspanningen voor de semi-probabilistische analyses zijn vastgesteld in [6]. In dit hoofdstuk zijn de waterspanningen opgenomen ten behoeve van de probabilistische berekeningen. In Tabel 23 is een samenvatting opgenomen van de waterspanningen, of deze als stochast zijn meegenomen en de toegepaste kansverdeling.

Tabel 23: samenvatting variabelen

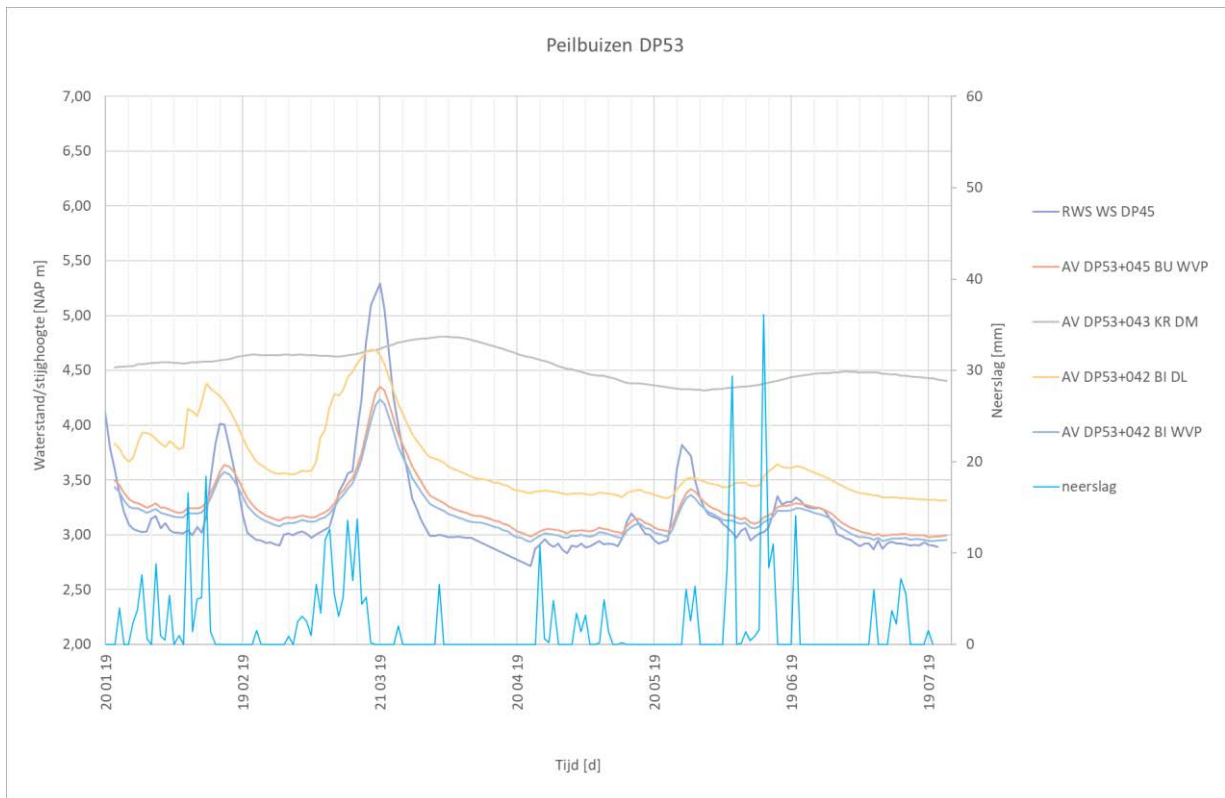
Parameter	Stochast	Verdeling
Freatische lijn dagelijks	nee	nvt
Freatische lijn laagste waterstand	nee	nvt
Freatische lijn berekening faalkans	ja	Normaal
Stijghoogte	nee	nvt

5.1 Peilbuismetingen

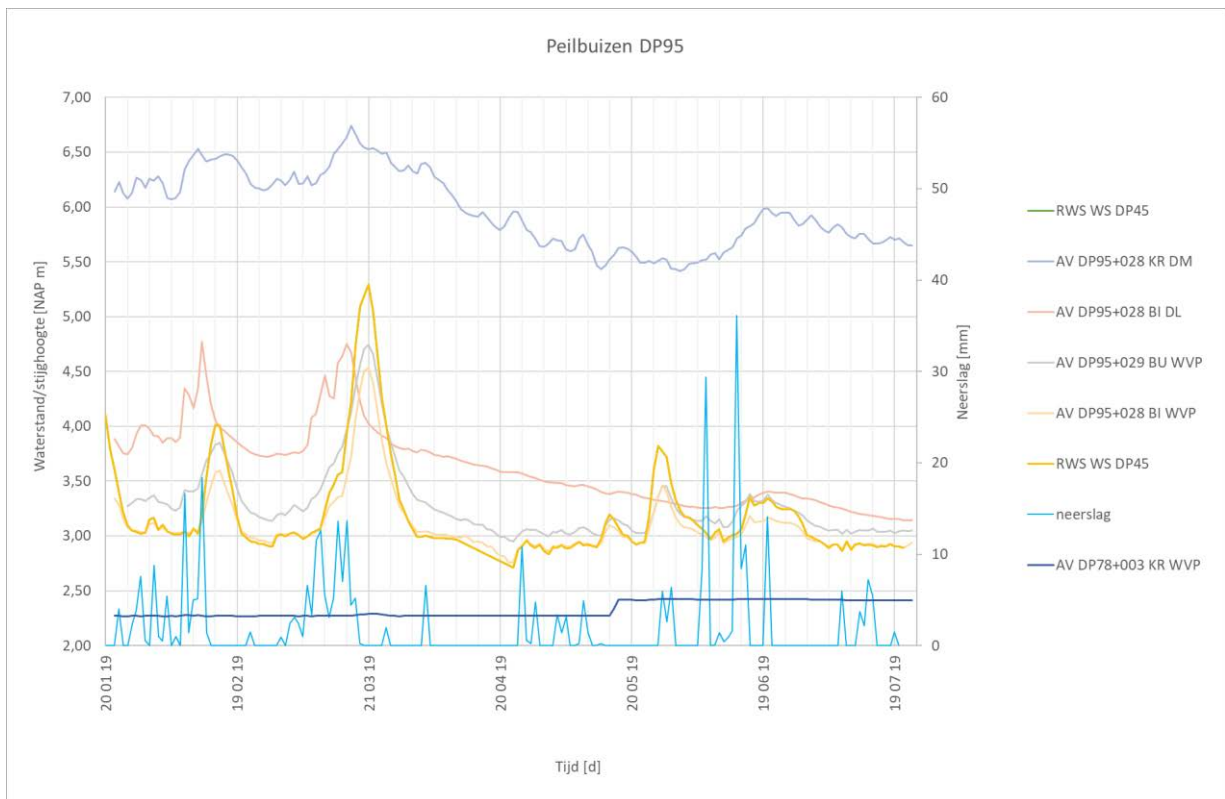
Uitgangspunt voor het inschatten van de waterspanningen bij dagelijkse omstandigheden zijn de beschikbare peilbuismetingen in de buurt van de beschouwde profielen. Er zijn meetresultaten beschikbaar van de afgelopen 6 maanden. De profielen betreffen een dijk hoofdzakelijk bestaande uit klei op een slappe-lagenpakket, zoals klei en veen, op het pleistocene zand. De metingen zijn opgenomen in Figuur 22 t/m Figuur 24.



Figuur 22. Peilbuismetingen freatisch en watervoerend pakket, buitenwaterstand en neerslag dp47



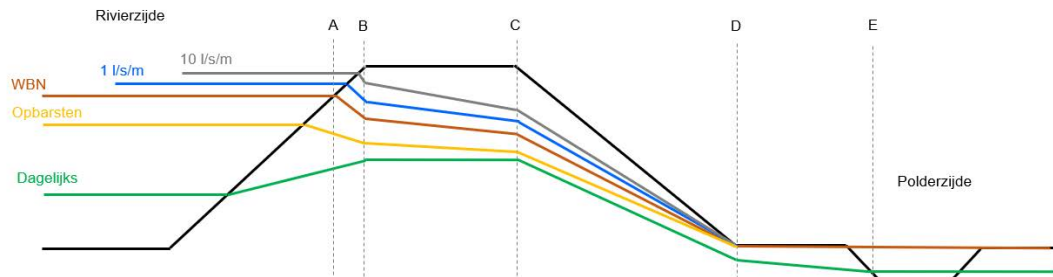
Figuur 23. Peilbuismetingen freatisch en watervoerend pakket, buitenwaterstand en neerslag dp53



Figuur 24. Peilbuismetingen freatisch en watervoerend pakket, buitenwaterstand en neerslag dp95

5.2 Freatische lijn onverzadigde Situatie

Bij een onverzadigde dijk is het principe van de schematisering van het verloop van de freatische lijn voor de verschillende buitenwaterstanden (dagelijks, uplift 1.2 en 1.0, WBN, overslagdebiet 1 l/s/m en 10 l/s/m) weergegeven in Figuur 25.



Figuur 25. Principe schematisering van gemiddelde freatische Lijn bij onverzadigde Situatie

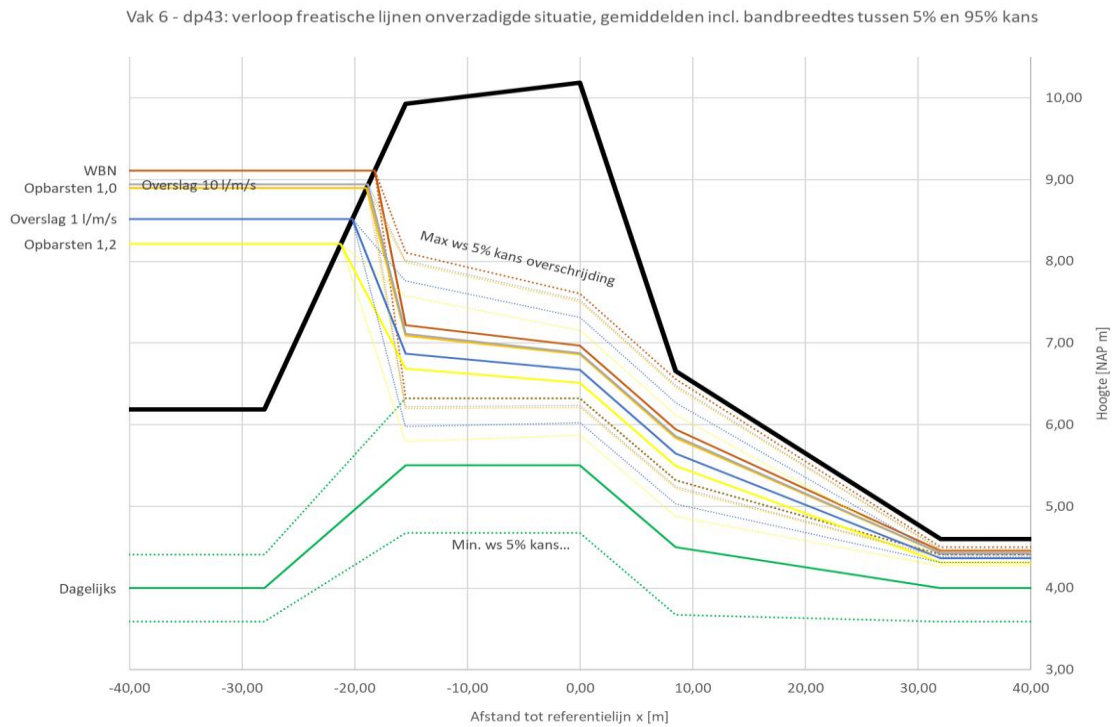
In [5] is een voor het project algemene schematisering van de freatische lijn bij WBN voorgeschreven voor dijken met een kleikern (DP43 en DP80). Voor dijken met een zandkern (DP104) is de schematisering bepaald conform TRWS dijken, zie Figuur 31. Dit betreft karakteristieke bovengrenswaarden van de freatische lijn. Er is aangenomen dat dit een 95% onderschrijdingswaarde betreft (ofwel 5% kans dat de freatische lijn nog hoger ligt). Er zijn geen peilbuismetingen beschikbaar die informatie verschaffen over de respons van de freatische lijn in de dijk op de buitenwaterstand.

Voor de probabilistische analyses zijn tevens gemiddelde waarden en standaarddeviaties benodigd. Deze waarden zijn benodigd bij verschillende waterstanden van dagelijks oplopend tot WBN.

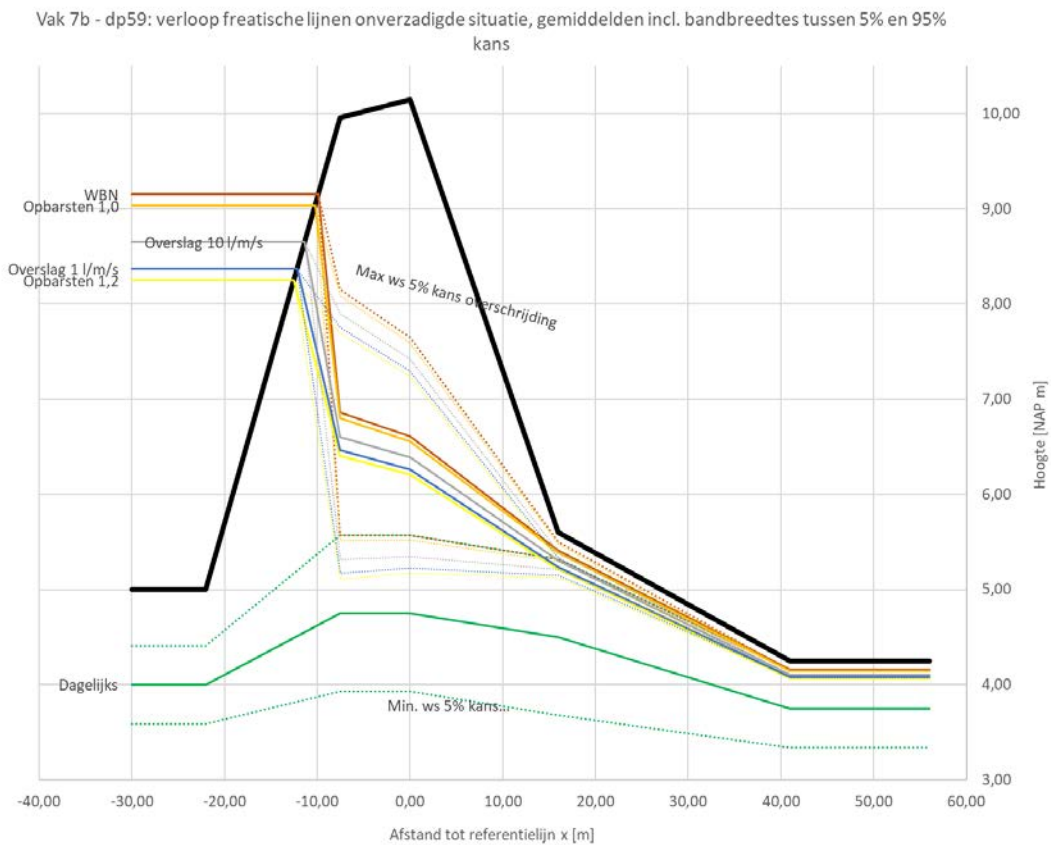
Om tot deze waarden te komen is de volgende aanpak gevolgd:

- De 95% bovengrenslijn bij WBN is gegeven;
- De 95% bovengrenslijn bij dagelijkse omstandigheden kan goed ingeschat worden op basis van de beschikbare peilbuismetingen;
- In [6], bijlage 11 is een geohydrologische effectenstudie opgenomen. In deze studie zijn tijdsafhankelijke berekeningen uitgevoerd waarin de invloed van de buitenwaterstand op het verloop en de hoogte van de freatische lijn zijn onderzocht. Uit deze studie volgt dat de 95% bovengrenslijn bij WBN alleen aannemelijk is indien zowel de toplaag van de dijk als het kernmateriaal een relatief hoge doorlatendheid heeft (orde grote 1 m/dag). Bij een lage doorlatendheid volgt dat de freatische lijn in de dijk niet tot nauwelijks toeneemt als gevolg van een hoge buitenwaterstand. In dat geval wordt de hoogte van de freatische lijn vooral bepaald door neerslag.
- Beide scenario's zijn mogelijk, voor de probabilistische analyses is aangenomen dat de gemiddelde lijn hier precies tussenin ligt. De standaarddeviatie is zo gekozen dat bij WBN de 95% bovengrenswaarde gelijk is aan de in [5] voorgeschreven lijn.
- De gemiddelde freatische lijn voor alle tussenliggende waterstanden is lineair geïnterpoleerd tussen de WBN lijn en het maaiveldniveau van het voorland (pas bij een waterstand hoger dan het voorland kan de buitenwaterstand direct invloed hebben op de ligging van de freatische lijn in de dijk).
- Voor de overige waterstanden is de standaarddeviatie aangehouden overeenkomstig die van de WBN lijn.

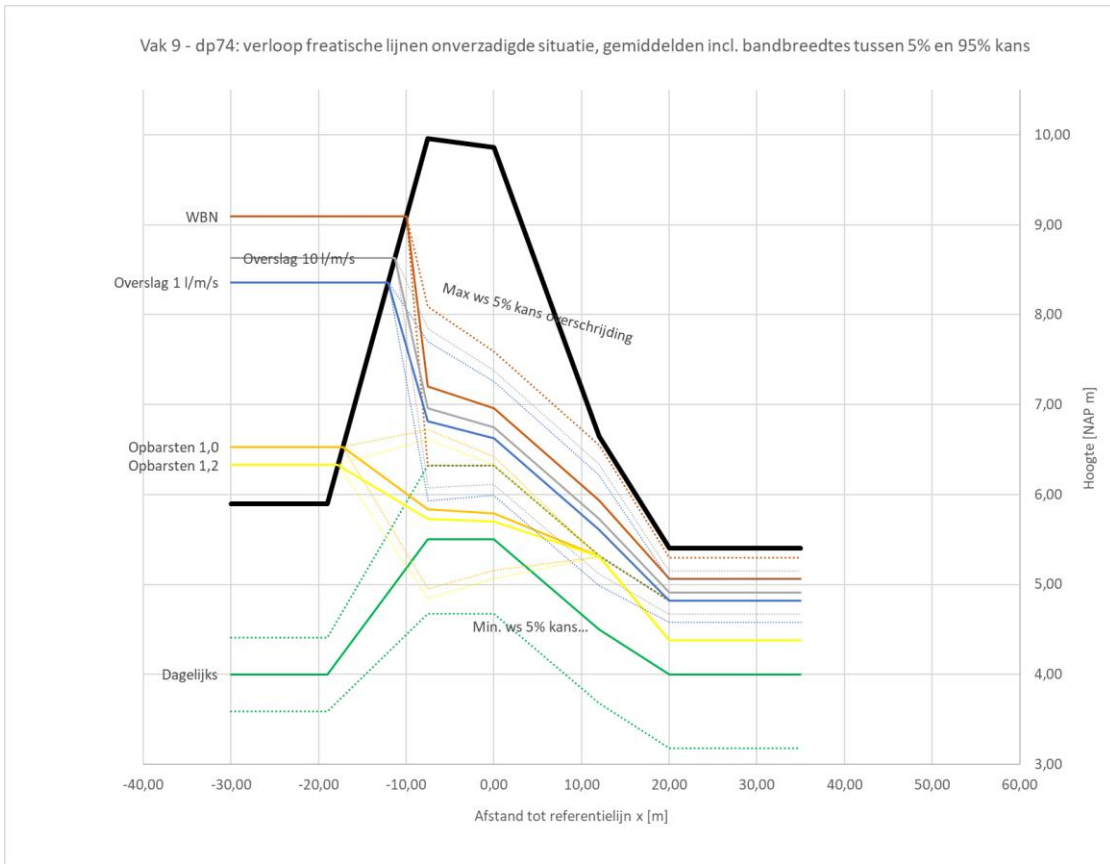
In Figuur 26 t/m Figuur 30 en zijn de aangehouden schematiseringen getoond.



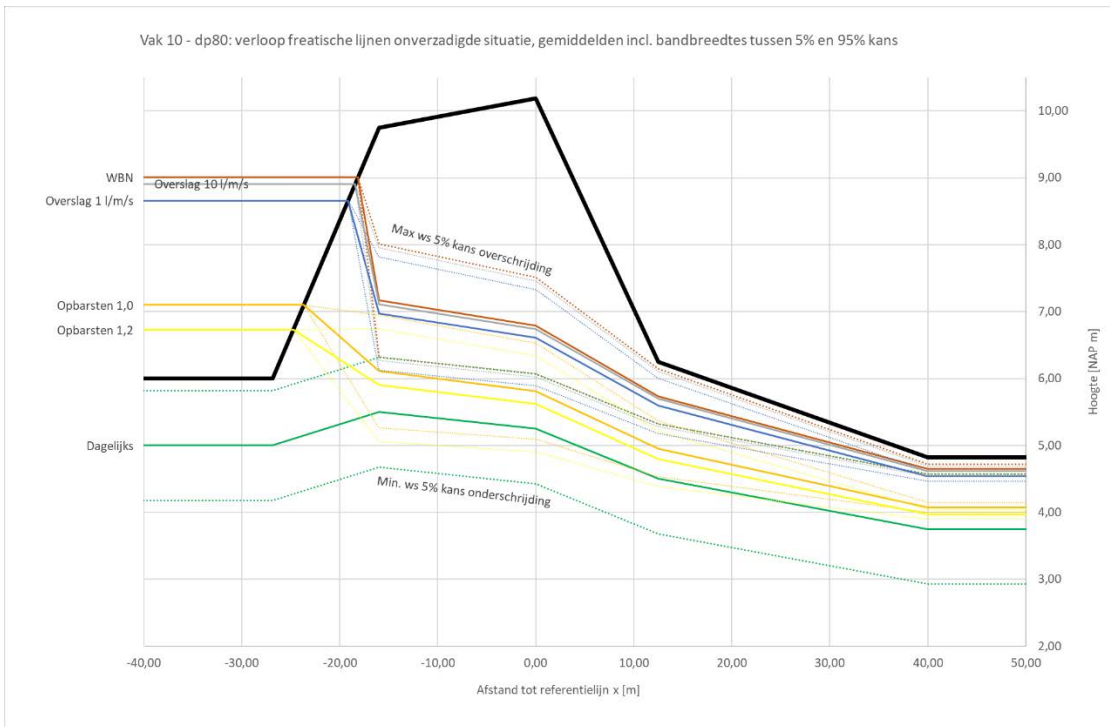
Figuur 26. schematisering freatische lijn DP43 gemiddelde, 5% en 95% kans fase 1



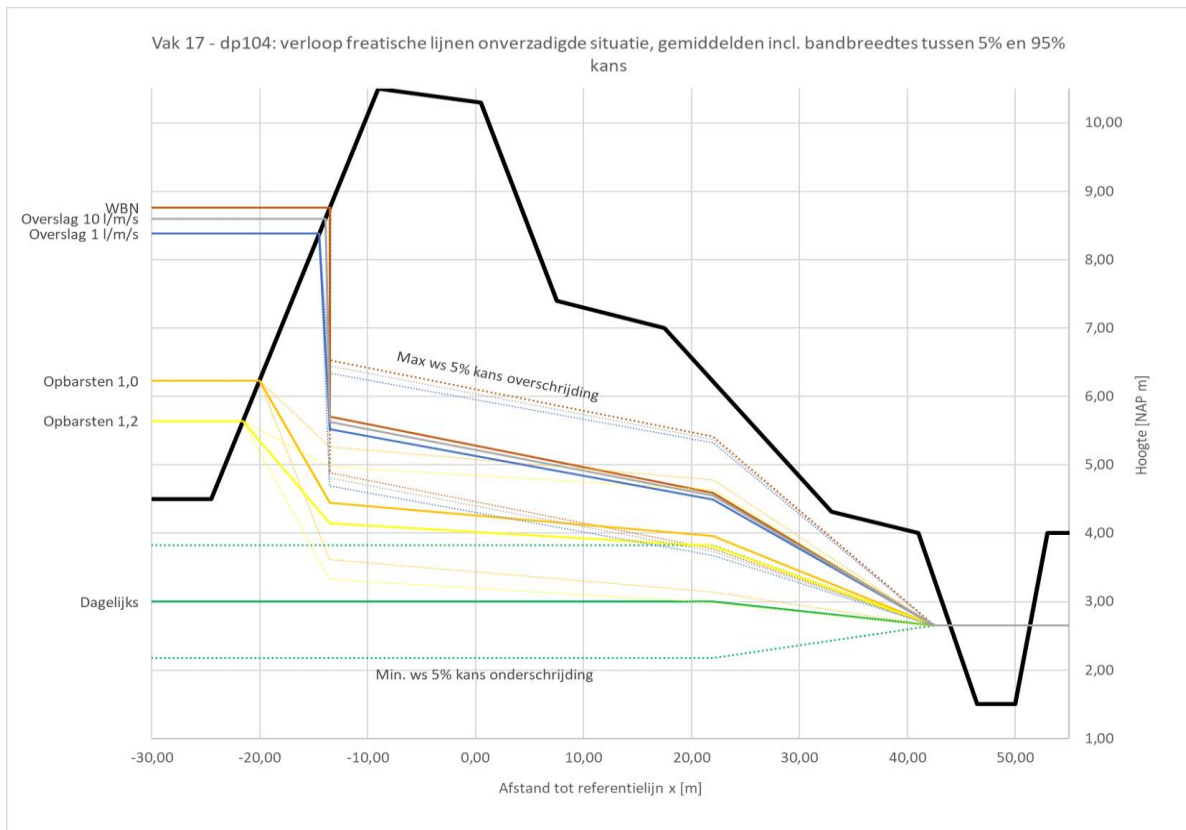
Figuur 27. schematisering freatische lijn DP58 gemiddelde, 5% en 95% kans fase 2



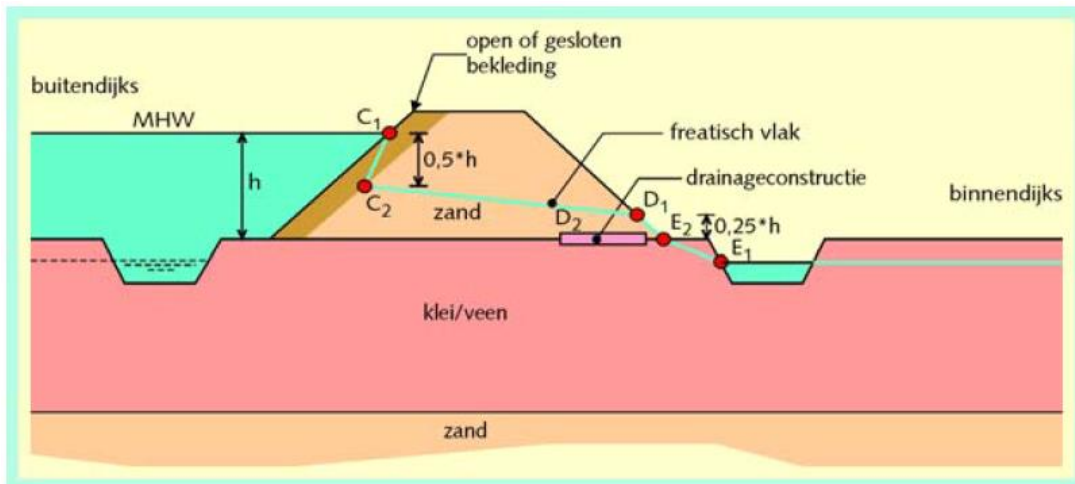
Figuur 28. schematisering freatische lijn DP74 gemiddelde, 5% en 95% kans fase 2



Figuur 29. schematisering freatische lijn DP80 gemiddelde, 5% en 95% kans fase 1



Figuur 30. Schematisering freatische lijn DP104 gemiddelde, 5% en 95% kans fase 1

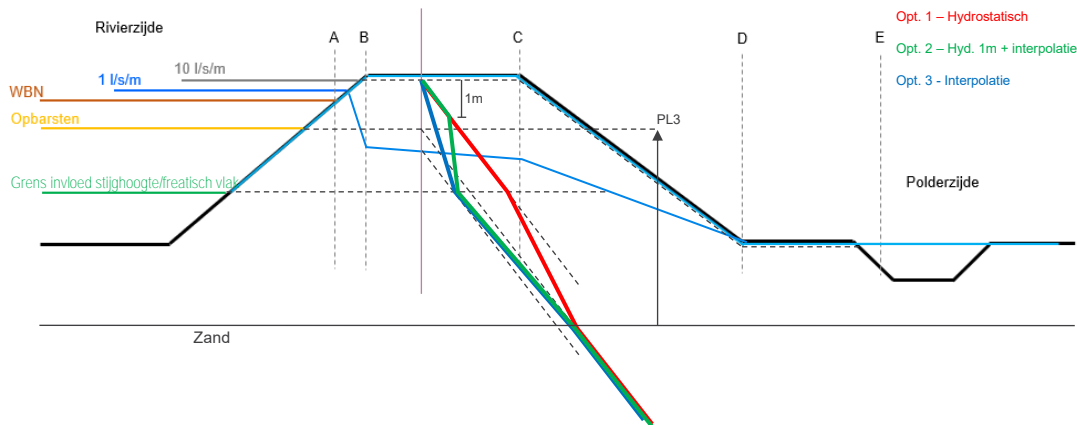


Figuur 31. Schematisatie van freatische lijn bij dijken met zandkern

5.3 Freatische lijn verzadigde situatie

Bij een verzadigde dijk is het principe van de schematisering van het verloop van de freatische lijn weergegeven in

Figuur 32. Hierbij is de ligging van de freatische lijn 10 cm onder het maaiveld aangenomen. Hier is geen spreiding aangenomen.



Figuur 32. Schematisering van freatische lijn bij verzadigde situatie

Voor het verloop van de waterspanningen zijn voor fase 1 3 opties uitgewerkt:

1. Hydrostatic verloop vanaf maaiveld. Betreft een zeer conservatieve schematisering die als niet realistisch is ingeschat. Aangehouden in de semi-probabilistische analyses.
2. Hydrostatic verloop tot 1 m onder maaiveld, vanaf daar geïnterpoleerd naar de gemiddelde freatische lijn behorende bij 1 l/s/m overslag (startpunt infiltratie door overslag). Deze schematisering is als meest realistische variant ingeschat. Deze schematisering is toegepast voor de probabilistische berekeningen.
3. Geïnterpoleerd vanaf maaiveld naar de gemiddelde freatische lijn behorende bij 1 l/s/m overslag. Deze schematisering is als optimistisch ingeschat.

Voor fase 2 is alleen gerekend met optie 2.

5.4 Stijghoogte

De stijghoogte in de zandondergrond van de waterstand behorend bij de dagelijkse omstandigheden is bepaald op basis van de peilbuismetingen.

Bij de hogere waterstanden is de stijghoogte bepaald met de analytische formules voor de stationaire situatie, volgens het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken. De nadere uitwerking is beschreven in [6]. De stijghoogtes zijn deterministisch gemodelleerd in overeenstemming met de semi-probabilistische analyses.

De gehanteerde in- en uitvoer is getoond in hoofdstuk 8.

5.5 Polderpeilen

De polderpeilen zijn overgenomen uit de semi-probabilistische analyses [6].

6 Overige uitgangspunten

6.1 Verkeersbelasting

Onder dagelijkse omstandigheden of tot een waterstand met kans op voorkomen van 1/50 per jaar is een maximale verkeersbelasting van 15 kPa op de dijk mogelijk. Voor de inspectie of herstelwerkzaamheden tot een waterstand met de kans op voorkomen van 1/1000 per jaar bedraagt de verkeersbelasting 8 kPa. Bij WBN en bij zeer hoge waterstanden die gepaard gaan met een zekere golfoverslag, wordt er geen verkeer op de dijk toegelaten. In Tabel 24 is de verkeersbelasting afhankelijk van buitenstand opgenomen.

Tabel 24. Verkeersbelasting fase 2

Waterstand	Dijkvak 6a DP44+00m	Dijkvak 7b DP58+65	Dijkvak 9 DP74+00
Dagelijks	15	15	15
Uplift 1,2	0	15	15
Uplift 1,0	0	0	15
WBN	0	0	0
Overslag 1 l/s/m	15	15	15
Overslag 10 l/s/m	8	8	8

In de berekening is gerekend met 0% aanpassing van de wateroverspanning als gevolg van de belasting in ondoorlatende grondlagen. Voor doorlatende grondlagen is gerekend met een volledige aanpassing en daarmee 100%.

De verkeersbelasting is over een breedte van 2,5 m op de binnenkruinlijn geschematiseerd. In de berekening wordt de spreiding van de belasting in diepte van 30° aangenomen.

6.2 Glijvlak

De minimumdiepte van het glijvlak voor zowel onverzadigde als verzadigde dijk is 2 m aangenomen. Dit is om het glijvlak van de toplaag (bekleding) te voorkomen. Ook moet het intredepunt altijd minimaal voorbij de binnenkruinlijn liggen.

Voor dijken met een kleikern wordt voor het diepe glijvlak resulterend in falen van de waterkering voor het intredepunt een afstand aangehouden van 3 m ten opzichte van de buitenkruinlijn (overslag < 1 l/s/m).

6.3 Uplift strenght reduction

Om de sterkte van de toplaag te reduceren bij opbarsten bij een deklaagdikte <4 m is gebruik gemaakt van de optie "Strenght reduction due to uplift".

Bij één upliftfactor van 1,00 is de sterkte 0%.

Bij één upliftfactor van 1,06 is de sterkte 100%.

NB: Deze factor heeft alleen invloed bij doorsnede DP80. Voor de upliftfactor met sterkte 100% is bewust afgeweken van de standaardwaarde van 1,2. In deze situatie met een zeer flauw oplopende berm resulteert een factor 1,2 in een onrealistisch grote opbarstzone met sterktereductie.

6.4 Probabilistische analyses

De uitgangspunten voor de probabilistische analyses zijn hieronder samengevat, en gebaseerd op de “Handreiking faalkans analyse macrostabiliteit” [Schweckendiek et al., 2017].

- Er zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de invloed van verschillende parameters en onzekerheden te bepalen, maar ook de relevante kritiek glijvlakken.
- Relevante glijvlakken zijn vastgesteld per waterstand en schematisering van het freatische vlak.
- De faalkans analyses zijn uitgevoerd met de FORM methode en default settings. Het ontwerppunt moet worden gecontroleerd.
- Een waterstand betreft een fragility punt. Een fragility curve is dan opgebouwd met verschillende fragility points/waterstanden.
- Overslag is genomen via de locatie van de fragility points (illustratie punten van overslag) en schematisatie van de freatische vlak (methode 2 is gebruikt).
- De fragility curve is dan gecombineerd (fragility curve integration) met de waterstand kansverdeling (Gumbel) en een profile faalkans voor macrostabiliteit is gedaan.
- Als er meer dan één relevant glijvlak is, moet een faalkans berekening per glijvlak gedaan worden. Alléén na combinatie met de waterstand kunnen wij vaststellen welk glijvlak (probabilistische) maatgevend is.

6.5 Softwarepakket

De volgende software is gebruikt voor de faalkans analyse:

- D-Geo Stability, Projectversie 18.1.0.564
- Probabilistic ToolKit, versie 1.9.17.1134, voor het bepalen van totale faalkans STBI

7 Bronnen

- [1] Grondonderzoek Sterke Lekdijk Wijk bij Duurstede / Amerongen (WAM), Resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek, 02P011039 / 70199, 08-09-2018, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 2018
- [2] Nota van Uitgangspunten Dijkversterking Wijk bij Duurstede – Amerongen, Arcadis-Sweco, 26 oktober 2018
- [3] KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag, v2.
- [4] Schematiseringshandleiding macrostabiliteit v3.0, WBI2017, 28 november 2019
- [5] Strategische Nota van Uitgangspunten Sterke Lekdijk, HDSR, Versie 0.9, eindconcept, mei 2018
- [6] Beoordeling binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, Dijkversterking Wijk bij Duurstede – Amerongen, Arcadis-Sweco, 6500978000, C03011.000750, 27-03-2019
- [7] Modeleren sterkte van het dijksmateriaal – CONCEPT, Deltares, 14-10-2017

8 Bepaling stijghoogtes

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP43_P_einde berm_WBI DP80_P_einde berm_WBI DP105_P_teensloot_WBN		
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP43_DWP43+00_GEO	DP80_DWP80+10_GEO	DP104_DWP104+80_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP43	DP80	DP105
-	unieke code doorsnede		7	13	18
-	dijkvak		STBI_6	STBI_10	STBI_17
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	einde berm	teensloot
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	maaiveld	onder water
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	9,11	9,01	8,76
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	2,38	2,65
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	4,80	4,90	2,65
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	25,00	15,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,00	39,50	32,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	9,00	23,00	10,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	12,00	3,50	16,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	0,00	12,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			9,00
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			5,00
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,20	3,05	-2,65
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-10,51	-31,77	-28,83
D	Dikte watervoerend pakket	m	10,71	34,82	26,18
-	Dikte kleilaag voorland	m	5,20	2,50	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	4,60	1,85	6,85
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	nvt	H2
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,20	19,50	17,70
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,20	19,50	15,40
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	750	2437	1832
Potentiaen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	441,50	551,98	459,03
λ3	Spreidingslengte achterland	m	415,25	474,83	792,18
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,01	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,02	0,02
W3	Weerstand achterland	d/m	0,55	0,19	0,43
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,62	0,22	0,46
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,97	8,82	8,65
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,63	8,52	8,42
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,55	8,35	8,35
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,44	8,32	8,23
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,44	8,32	8,15
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0280	0,0109	0,0207
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,10	0,04	0,05
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,95	8,47	8,31
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,54	7,63	7,35
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,45	7,13	6,69
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,32	7,06	6,21
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	grenspotentiaal	grenspotentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,95	8,47	8,31
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,54	7,63	7,35
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,45	7,13	6,69
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,32	7,06	6,21
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
γ _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	0,95	0,53	0,59
γ _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
γ _{up,γ_{b,up}}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP44_P_einde berm_WBN	DP58_P_greppel_WBN	DP74_P_einde berm_WBN
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP44_DWP44+00_GEO	DP57,9_DWP58+65_GEO	DP74_DWP74_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP44	DP58	DP74
-	unieke code doorsnede		8	9	11
-	dijkvak		STBI_6a	STBI_7	STBI_9
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	greppel	einde berm
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	onder water	maaiveld
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	9,21	9,15	9,09
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	4,30	2,60
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	5,60	4,30	5,37
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	15,00	16,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,50	40,00	37,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	8,50	9,00	5,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	0,50	10,00	1,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	11,50	0,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve	m		5,00	
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve	m		2,50	
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,00	-0,55	4,40
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-11,01	-10,18	-11,30
D	Dikte watervoerend pakket	m	11,01	9,63	15,70
-	Dikte kleilaag voorland	m	6,40	7,80	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	5,60	4,85	0,97
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	5,60	3,94	0,97
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	H3	nvt
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	5,60	4,76	0,97
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,30	17,80	19,10
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,30	17,80	19,10
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	770	674	1099
Potentiaen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	496,53	512,71	355,47
λ3	Spreidingslengte achterland	m	464,46	404,29	230,85
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,02	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,06	0,03
W3	Weerstand achterland	d/m	0,60	0,60	0,21
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,67	0,68	0,26
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	9,11	8,99	8,88
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,84	8,57	8,40
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,78	8,48	8,33
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,78	8,37	8,32
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,78	8,26	8,32
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0117	0,0452	0,0055
Wu	Radiale uittreweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,09	0,13	0,06
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,36	8,99	8,41
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,74	8,56	6,84
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,82	8,33	6,62
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,83	8,23	6,58
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,88	8,18	6,29
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	grenspotentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,11	8,99	8,41
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,84	8,56	6,84
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,78	8,33	6,62
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,78	8,23	6,58
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,78	8,18	6,29
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,34	0,98	0,31
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} ,Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP54_P_einde berm_WBN	DP61_P_einde berm_WBN
Algemeen (ALG)				
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP53,4_DWP53+70_GEO	DP61,0_DWP60+45_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP54	DP61
-	unieke code doorsnede		9	9
-	dijkvak		STBI_7a	STBI_7c
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	einde berm
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	maaiveld
Hydraulische randvoorwaarden (HR)				
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	9,17	9,15
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	2,60
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	4,61	4,87
Geometrie (GEO)				
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	15,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	34,00	40,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	13,00	9,50
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	11,00	5,50
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	0,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m	5,00	5,00
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m	2,50	2,50
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	-2,49	-4,35
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-14,54	-7,90
D	Dikte watervoerend pakket	m	12,05	3,55
-	Dikte kleilaag voorland	m	7,80	7,80
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	7,10	9,22
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	7,10	9,22
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	nvt
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	7,10	9,22
Grondeigenschappen GES				
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m ³	17,80	17,80
-	volumiek gewicht berm	kN/m ³	17,80	17,80
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m ² /dag	844	249
Potentialen (POT)				
λ ₁	Spreidingslengte voorland	m	573,58	311,53
λ ₃	Spreidingslengte achterland	m	547,24	338,70
W ₁	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,06
W ₂	Weerstand onder dijk	d/m	0,04	0,16
W ₃	Weerstand achterland	d/m	0,65	1,36
somW	Sommatie van W ₁ , W ₂ en W ₃	d/m	0,71	1,58
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	9,06	8,99
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,80	8,55
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,70	8,45
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,62	8,39
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,62	8,39
W _{3_grens}	Weerstand onder berm	d/m	0,0285	0,0603
W _u	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W ₁ , W ₂ , W _{3_grens} en W _u	d/m	0,09	0,29
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,40	9,83
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,94	11,63
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	10,14	12,06
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	10,31	12,31
φ _{grens}	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	10,39	12,38
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,06	8,99
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,80	8,55
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,70	8,45
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,62	8,39
φ _{grens}	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,62	8,39
Toets opbarsten (OPBARSTEN)				
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,44	2,13
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00
Y _{up} .Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	O	V

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP43_P_einde berm_Upli DP80_P_einde berm_Upli DP105_P_teensloot_Uplift 1		
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP43_DWP43+00_GEO	DP80_DWP80+10_GEO	DP104_DWP104+80_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP43	DP80	DP105
-	unieke code doorsnede		7	13	18
-	dijkvak		STBI_6	STBI_10	STBI_17
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	einde berm	teensloot
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	maaiveld	onder water
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	8,21	6,73	5,64
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	2,38	2,65
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	4,80	4,90	2,65
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	25,00	15,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,00	39,50	32,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	9,00	23,00	10,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	12,00	3,50	16,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	0,00	12,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			9,00
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			5,00
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,20	3,05	-2,65
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-10,51	-31,77	-28,83
D	Dikte watervoerend pakket	m	10,71	34,82	26,18
-	Dikte kleilaag voorland	m	5,20	2,50	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	4,60	1,85	6,85
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	nvt	H2
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,20	19,50	17,70
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,20	19,50	15,40
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	750	2437	1832
Potentialen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	441,50	551,98	459,03
λ3	Spreidingslengte achterland	m	415,25	474,83	792,18
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,01	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,02	0,02
W3	Weerstand achterland	d/m	0,55	0,19	0,43
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,62	0,22	0,46
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,10	6,65	5,59
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	7,83	6,51	5,47
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	7,77	6,44	5,44
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	7,68	6,42	5,38
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	7,68	6,42	5,34
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0280	0,0109	0,0207
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,10	0,04	0,05
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,22	6,73	5,68
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,25	6,73	5,75
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,25	6,73	5,80
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,26	6,73	5,84
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,10	6,65	5,59
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	7,83	6,51	5,47
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	7,77	6,44	5,44
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	7,68	6,42	5,38
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	7,68	6,42	5,34
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,20	1,20	1,20
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} .Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP44_P_einde berm_Uplift	DP58_P_greppel_Uplift 1.2	DP74_P_einde berm_Uplift
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP44_DWP44+00_GEO	DP57,9_DWP58+65_GEO	DP74_DWP74_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP44	DP58	DP74
-	unieke code doorsnede		8	9	11
-	dijkvak		STBI_6a	STBI_7	STBI_9
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	greppel	einde berm
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	onder water	maaiveld
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	9,65	8,25	6,33
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	4,30	2,60
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	5,60	4,30	5,37
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	15,00	16,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,50	40,00	37,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	8,50	9,00	5,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	0,50	10,00	1,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	11,50	0,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve	m		5,00	
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve	m		2,50	
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,00	-0,55	4,40
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-11,01	-10,18	-11,30
D	Dikte watervoerend pakket	m	11,01	9,63	15,70
-	Dikte kleilaag voorland	m	6,40	7,80	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	5,60	4,85	0,97
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	5,60	3,94	0,97
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	H3	nvt
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	5,60	4,76	0,97
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,30	17,80	19,10
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,30	17,80	19,10
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	770	674	1099
Potentiaen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	496,53	512,71	355,47
λ3	Spreidingslengte achterland	m	464,46	404,29	230,85
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,02	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,06	0,03
W3	Weerstand achterland	d/m	0,60	0,60	0,21
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,67	0,68	0,26
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	9,53	8,12	6,28
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	9,24	7,78	6,15
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	9,17	7,70	6,13
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	9,17	7,62	6,13
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	9,17	7,52	6,13
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0117	0,0452	0,0055
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,09	0,13	0,06
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,70	8,24	6,32
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,83	8,21	6,30
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,86	8,19	6,29
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,86	8,18	6,29
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,88	8,18	6,29
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,53	8,12	6,28
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,24	7,78	6,15
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,17	7,70	6,13
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,17	7,62	6,13
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,17	7,52	6,13
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,20	1,20	1,21
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} ,Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP43_P_einde berm_Upli	DP80_P_einde berm_Upli	DP105_P_teensloot_Uplift 1
Algemeen (ALG)			DP43_DWP43+00_GEO	DP80_DWP80+10_GEO	DP104_DWP104+80_GEO
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP43	DP80	DP105
-	dijkpaal of hectometrering		7	13	18
-	unieke code doorsnede		STBI_6	STBI_10	STBI_17
-	dijkvak		P	P	P
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		einde berm	einde berm	teensloot
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		maaiveld	maaiveld	onder water
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-			
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	8,90	7,10	6,23
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	2,38	2,65
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	4,80	4,90	2,65
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	25,00	15,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,00	39,50	32,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	9,00	23,00	10,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	12,00	3,50	16,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	0,00	12,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			9,00
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			5,00
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,20	3,05	-2,65
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-10,51	-31,77	-28,83
D	Dikte watervoerend pakket	m	10,71	34,82	26,18
-	Dikte kleilaag voorland	m	5,20	2,50	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	4,60	1,85	6,85
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	nvt	H2
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,20	19,50	17,70
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,20	19,50	15,40
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	750	2437	1832
Potentiaalen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	441,50	551,98	459,03
λ3	Spreidingslengte achterland	m	415,25	474,83	792,18
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,01	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,02	0,02
W3	Weerstand achterland	d/m	0,55	0,19	0,43
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,62	0,22	0,46
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,77	7,00	6,17
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,44	6,84	6,03
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,37	6,75	5,99
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,26	6,73	5,92
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,26	6,73	5,87
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0280	0,0109	0,0207
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,10	0,04	0,05
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,78	7,01	6,17
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,48	6,87	6,05
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,40	6,79	5,97
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,30	6,78	5,91
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	grenspotentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,77	7,01	6,17
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,44	6,87	6,05
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,37	6,79	5,97
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,26	6,78	5,91
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,26	6,73	5,87
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,00	1,00	1,00
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up,Yb,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP44_P_einde berm_Uplift	DP58_P_greppel_Uplift 1,0	DP74_P_einde berm_Uplift
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP44_DWP44+00_GEO	DP57,9_DWP58+65_GEO	DP74_DWP74_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP44	DP58	DP74
-	unieke code doorsnede		8	9	11
-	dijkvak		STBI_6a	STBI_7	STBI_9
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	greppel	einde berm
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	onder water	maaiveld
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	10,45	9,03	6,53
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	4,30	2,60
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	5,60	4,30	5,37
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	15,00	16,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,50	40,00	37,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	8,50	9,00	5,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	0,50	10,00	1,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	11,50	0,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m		5,00	
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m		2,50	
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,00	-0,55	4,40
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-11,01	-10,18	-11,30
D	Dikte watervoerend pakket	m	11,01	9,63	15,70
-	Dikte kleilaag voorland	m	6,40	7,80	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	5,60	4,85	0,97
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	5,60	3,94	0,97
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	H3	nvt
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	5,60	4,76	0,97
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,30	17,80	19,10
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,30	17,80	19,10
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	770	674	1099
Potentiaen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	496,53	512,71	355,47
λ3	Spreidingslengte achterland	m	464,46	404,29	230,85
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,02	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,06	0,03
W3	Weerstand achterland	d/m	0,60	0,60	0,21
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,67	0,68	0,26
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	10,31	8,88	6,46
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	9,96	8,46	6,31
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	9,88	8,37	6,29
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	9,87	8,27	6,29
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	9,87	8,16	6,29
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0117	0,0452	0,0055
Wu	Radiale uittreweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,09	0,13	0,06
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	10,32	8,89	6,47
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	10,00	8,51	6,34
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,92	8,32	6,32
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,92	8,22	6,31
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,88	8,18	6,29
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	10,31	8,88	6,47
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,96	8,46	6,34
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,88	8,37	6,32
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,87	8,27	6,31
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,87	8,16	6,29
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,00	1,00	1,00
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} ,Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	O	O	O

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP43_P_einde berm_1 l/s/n	DP80_P_einde berm_1 l/s/n	DP105_P_teensloot_1 l/s/m
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP43_DWP43+00_GEO	DP80_DWP80+10_GEO	DP104_DWP104+80_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP43	DP80	DP105
-	unieke code doorsnede		7	13	18
-	dijkvak		STBI_6	STBI_10	STBI_17
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	einde berm	teensloot
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	maaiveld	onder water
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	8,52	8,66	8,38
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	2,38	2,65
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	4,80	4,90	2,65
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	25,00	15,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,00	39,50	32,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	9,00	23,00	10,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	12,00	3,50	16,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	0,00	12,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			9,00
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			5,00
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,20	3,05	-2,65
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-10,51	-31,77	-28,83
D	Dikte watervoerend pakket	m	10,71	34,82	26,18
-	Dikte kleilaag voorland	m	5,20	2,50	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	4,60	1,85	6,85
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K. WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	nvt	H2
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K. WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
Grondeigenschappen GES					
y _{klei} AL	volumiek gewicht klei achterland	kN/m ³	17,20	19,50	17,70
-	volumiek gewicht berm	kN/m ³	17,20	19,50	15,40
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m ² /dag	750	2437	1832
Potentialen (POT)					
λ ₁	Spreidingslengte voorland	m	441,50	551,98	459,03
λ ₃	Spreidingslengte achterland	m	415,25	474,83	792,18
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,01	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,02	0,02
W3	Weerstand achterland	d/m	0,55	0,19	0,43
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,62	0,22	0,46
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,40	8,49	8,28
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,11	8,21	8,06
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,04	8,05	7,99
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	7,94	8,03	7,88
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	7,94	8,03	7,81
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0280	0,0109	0,0207
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,10	0,04	0,05
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,47	8,21	7,99
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,35	7,49	7,16
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,32	7,07	6,58
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,28	7,01	6,17
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	grenspotentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,40	8,21	7,99
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,11	7,49	7,16
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,04	7,07	6,58
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	7,94	7,01	6,17
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	7,94	6,73	5,87
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,10	0,58	0,62
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} .Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP44_P_einde berm_1 l/s/n	DP58_P_greppel_1 l/s/m	DP74_P_einde berm_1 l/s/n
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP44_DWP44+00_GEO	DP57,9_DWP58+65_GEO	DP74_DWP74_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP44	DP58	DP74
-	unieke code doorsnede		8	9	11
-	dijkvak		STBI_6a	STBI_7	STBI_9
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	greppel	einde berm
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	onder water	maaiveld
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	8,52	8,37	8,36
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	4,30	2,60
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	5,60	4,30	5,37
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	15,00	16,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,50	40,00	37,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	8,50	9,00	5,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	0,50	10,00	1,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	11,50	0,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m		5,00	
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m		2,50	
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,00	-0,55	4,40
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-11,01	-10,18	-11,30
D	Dikte watervoerend pakket	m	11,01	9,63	15,70
-	Dikte kleilaag voorland	m	6,40	7,80	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	5,60	4,85	0,97
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	5,60	3,94	0,97
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	H3	nvt
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	5,60	4,76	0,97
Grondeigenschappen GES					
y _{klei} AL	volumiek gewicht klei achterland	kN/m ³	17,30	17,80	19,10
-	volumiek gewicht berm	kN/m ³	17,30	17,80	19,10
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m ² /dag	770	674	1099
Potentialen (POT)					
λ ₁	Spreidingslengte voorland	m	496,53	512,71	355,47
λ ₃	Spreidingslengte achterland	m	464,46	404,29	230,85
W ₁	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,02	0,01
W ₂	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,06	0,03
W ₃	Weerstand achterland	d/m	0,60	0,60	0,21
somW	Sommatie van W ₁ , W ₂ en W ₃	d/m	0,67	0,68	0,26
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,44	8,24	8,19
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,22	7,88	7,80
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,18	7,80	7,75
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,17	7,72	7,74
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,17	7,62	7,74
W _{3_grens}	Weerstand onder berm	d/m	0,0117	0,0452	0,0055
W _u	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W ₁ , W ₂ , W _{3_grens} en W _u	d/m	0,09	0,13	0,06
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,83	8,34	7,86
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,59	8,25	6,69
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,77	8,21	6,54
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,78	8,19	6,51
φ _{grens}	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,88	8,18	6,29
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,44	8,24	7,86
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,22	7,88	6,69
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,18	7,80	6,54
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,17	7,72	6,51
φ _{grens}	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,17	7,62	6,29
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,66	1,17	0,39
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} , Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

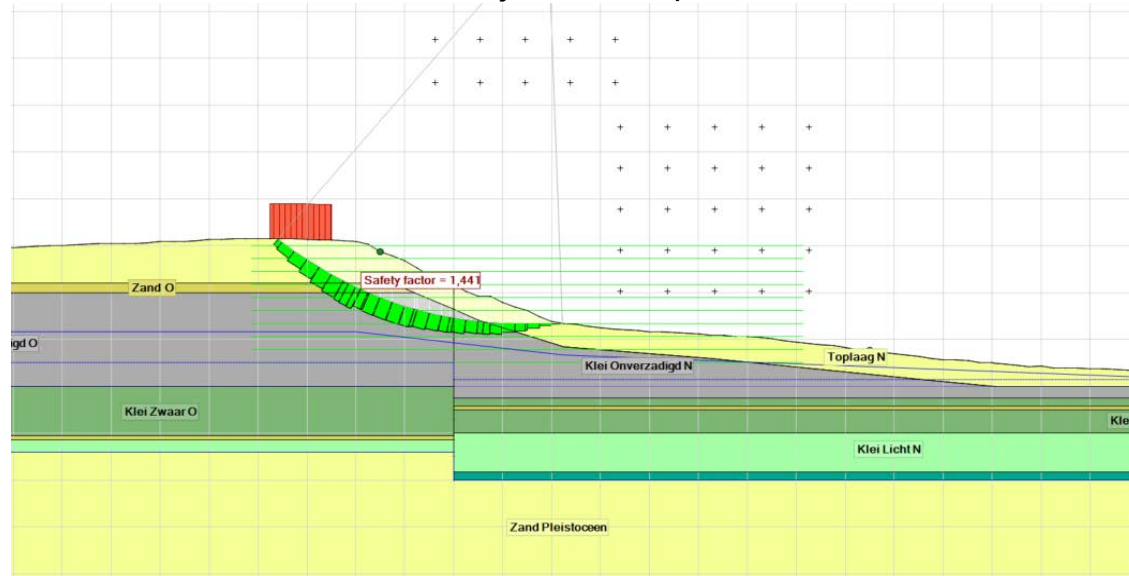
PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP43_P_einde berm_10 l/DP80_P_einde berm_10 l/DP105_P_teensloot_10 l/s/i		
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP43_DWP43+00_GEO	DP80_DWP80+10_GEO	DP104_DWP104+80_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP43	DP80	DP105
-	unieke code doorsnede		7	13	18
-	dijkvak		STBI_6	STBI_10	STBI_17
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	einde berm	teensloot
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	maaiveld	onder water
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	8,94	8,91	8,60
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	2,38	2,65
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	4,80	4,90	2,65
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	25,00	15,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,00	39,50	32,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	9,00	23,00	10,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	12,00	3,50	16,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	0,00	12,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			9,00
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m			5,00
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,20	3,05	-2,65
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-10,51	-31,77	-28,83
D	Dikte watervoerend pakket	m	10,71	34,82	26,18
-	Dikte kleilaag voorland	m	5,20	2,50	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	4,60	1,85	6,85
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	nvt	H2
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	4,60	1,85	4,00
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,20	19,50	17,70
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,20	19,50	15,40
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	750	2437	1832
Potentiaen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	441,50	551,98	459,03
λ3	Spreidingslengte achterland	m	415,25	474,83	792,18
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,01	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,02	0,02
W3	Weerstand achterland	d/m	0,55	0,19	0,43
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,62	0,22	0,46
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,81	8,72	8,49
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,48	8,43	8,27
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,40	8,26	8,20
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,30	8,24	8,09
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,30	8,24	8,00
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0280	0,0109	0,0207
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,10	0,04	0,05
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,81	8,40	8,18
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,49	7,59	7,27
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,41	7,11	6,65
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,31	7,04	6,19
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	grenspotentiaal	grenspotentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,81	8,40	8,18
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,49	7,59	7,27
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,41	7,11	6,65
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,31	7,04	6,19
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,27	6,73	5,87
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
γ _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	0,99	0,55	0,60
γ _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
γ _{up,γ_{b,up}}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

PARAMETER	OMSCHRIJVING_PARAMETER	EENHEID	DP44_P_einde berm_10 l/s/ DP58_P_greppel_10 l/s/m	DP74_P_einde berm_10 l/s/	
Algemeen (ALG)					
-	uniek ID doorsnede (dijkpaal en variant watervoerende laag + uittredepunt)		DP44_DWP44+00_GEO	DP57,9_DWP58+65_GEO	DP74_DWP74_GEO
-	dijkpaal of hectometrering		DP44	DP58	DP74
-	unieke code doorsnede		8	9	11
-	dijkvak		STBI_6a	STBI_7	STBI_9
-	variant: watervoerende laag (P=pleistoceen of ZTL=zandtussenlaag)		P	P	P
-	toelichting locatie uittredepunt: einde berm, watergang, kopsloot etc		einde berm	greppel	einde berm
-	ligging uittredepunt: maaiveld of onder water (watergang)	-	maaiveld	onder water	maaiveld
Hydraulische randvoorwaarden (HR)					
MHW	Waterpeil buitenwaarts	NAP m	8,90	8,65	8,63
PP	Polderpeil	NAP m	2,60	4,30	2,60
GWS	Grondwaterstand bij uittredepunt (=gelijk aan maaiveld BIT of Polderpeil)	NAP m	5,60	4,30	5,37
Geometrie (GEO)					
-	Breedte voorland (BUT-intrede)	m	15,00	15,00	16,00
-	Breedte dijk (BUT - BBL)	m	37,50	40,00	37,00
-	Breedte berm (BBL - EBL)	m	8,50	9,00	5,00
-	Breedte berm eind tot uittredepunt (EBL-BIT)	m	0,50	10,00	1,00
-	Breedte binnenteen tot onderkant watergang (BIT-)	m	0,00	11,50	0,00
-	Breedte achterland (input voor weerstand achterland)	m	5000	5000	5000
-	Breedte sloot aan bovenzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m		5,00	
-	Breedte sloot aan onderzijde (vereist voor bepaling effectieve)	m		2,50	
-	Niveau bovenzijde watervoerende zandlaag/onderzijde kleilaag	NAP m	0,00	-0,55	4,40
-	Niveau onderzijde watervoerende zandlaag	NAP m	-11,01	-10,18	-11,30
D	Dikte watervoerend pakket	m	11,01	9,63	15,70
-	Dikte kleilaag voorland	m	6,40	7,80	2,30
-	Dikte kleilaag achterland (H1)	m	5,60	4,85	0,97
d	Dikte kleilaag bij uittredepunt (=BIT of O.K_WATERGANG)	m	5,60	3,94	0,97
-	Bepaling methode effectieve dikte kleilaag conform C.2	-	nvt	H3	nvt
d _{eff}	Effectieve dikte kleilaag bij uittredepunt (O.K_WATERGANG)	m	5,60	4,76	0,97
Grondeigenschappen GES					
y _{kleiAL}	volumiek gewicht klei achterland	kN/m3	17,30	17,80	19,10
-	volumiek gewicht berm	kN/m3	17,30	17,80	19,10
k	doorlatendheid watervoerend pakket	m/dag	70	70	70
-	doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,02	0,02	0,02
-	doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,02	0,02	0,02
kD	kD waarde watervoerend pakket	m2/dag	770	674	1099
Potentiaen (POT)					
λ1	Spreidingslengte voorland	m	496,53	512,71	355,47
λ3	Spreidingslengte achterland	m	464,46	404,29	230,85
W1	Weerstand voorland	d/m	0,02	0,02	0,01
W2	Weerstand onder dijk	d/m	0,05	0,06	0,03
W3	Weerstand achterland	d/m	0,60	0,60	0,21
somW	Sommatie van W1, W2 en W3	d/m	0,67	0,68	0,26
φ ₁ buitenteen	theoretische potentiaal buitenteen (BUT)	NAP m	8,80	8,51	8,45
φ ₂ begin berm	theoretische potentiaal begin berm (BBL)	NAP m	8,56	8,13	8,02
φ ₃ eind berm	theoretische potentiaal einde berm (EBL)	NAP m	8,51	8,04	7,96
φ ₄ binnenteen	theoretische potentiaal binnenteen (BIT)	NAP m	8,51	7,95	7,95
φ ₅ watergang	theoretische potentiaal watergang (OK_WATERGANG)	NAP m	8,51	7,85	7,95
W3_grens	Weerstand onder berm	d/m	0,0117	0,0452	0,0055
Wu	Radiale uitreeweerstand	d/m	0,01	0,01	0,01
somW_grens	Sommatie van W1, W2, W3_grens en Wu	d/m	0,09	0,13	0,06
φ ₁ buitenteen	grenspotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	9,12	8,57	8,06
φ ₂ begin berm	grenspotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	9,67	8,36	6,75
φ ₃ eind berm	grenspotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	9,80	8,25	6,57
φ ₄ binnenteen	grenspotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	9,80	8,20	6,53
φ_grens	grenspotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	9,88	8,18	6,29
Maatgevende	Maatgevende potentiaal afhankelijk van wel of geen opbarsten (γ _{up} =1,0)	-	theoretische potentiaal	theoretische potentiaal	grenspotentiaal
φ ₁ buitenteen	rekenpotentiaal na opbarsten buitenteen (BUT)	NAP m	8,80	8,51	8,06
φ ₂ begin berm	rekenpotentiaal na opbarsten begin berm (BBL)	NAP m	8,56	8,13	6,75
φ ₃ eind berm	rekenpotentiaal na opbarsten einde berm (EBL)	NAP m	8,51	8,04	6,57
φ ₄ binnenteen	rekenpotentiaal na opbarsten binnenteen (BIT)	NAP m	8,51	7,95	6,53
φ_grens	rekenpotentiaal bij uittredepunt rekening houdend met effectieve slootdikte	NAP m	8,51	7,85	6,29
Toets opbarsten (OPBARSTEN)					
Y _{up}	Veiligheidsfactor opbarsten aanwezig	-	1,47	1,09	0,36
Y _{b,up}	Schematiseringsfactor opbarsten	-	1,00	1,00	1,00
Y _{up} ,Y _{b,up}	Veiligheidsfactor opbarsten vereist	-	1,78	1,78	1,78
score	voldoende of onvoldoende	-	0	0	0

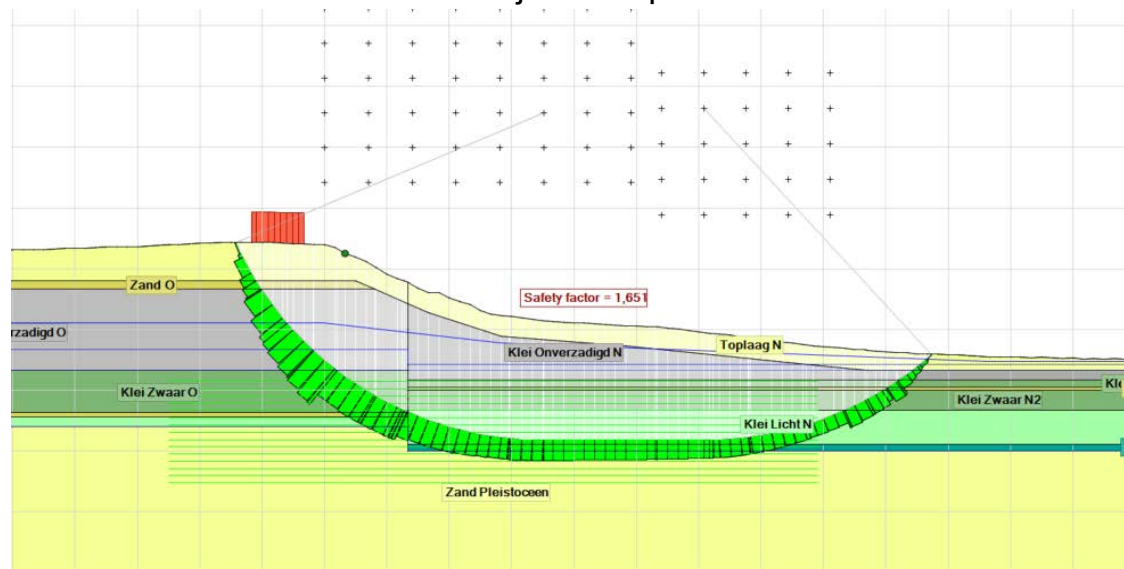
Bijlage B – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP43 fase 1

Nr. 1 Dagelijks
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
4,41
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,441
SF Diep
1,651

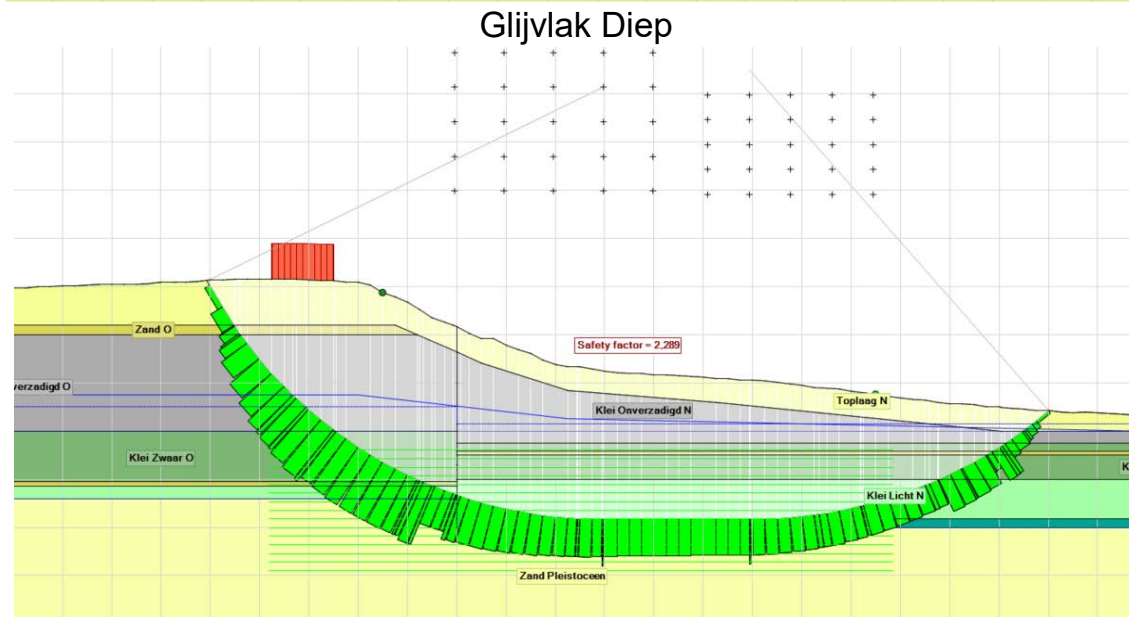
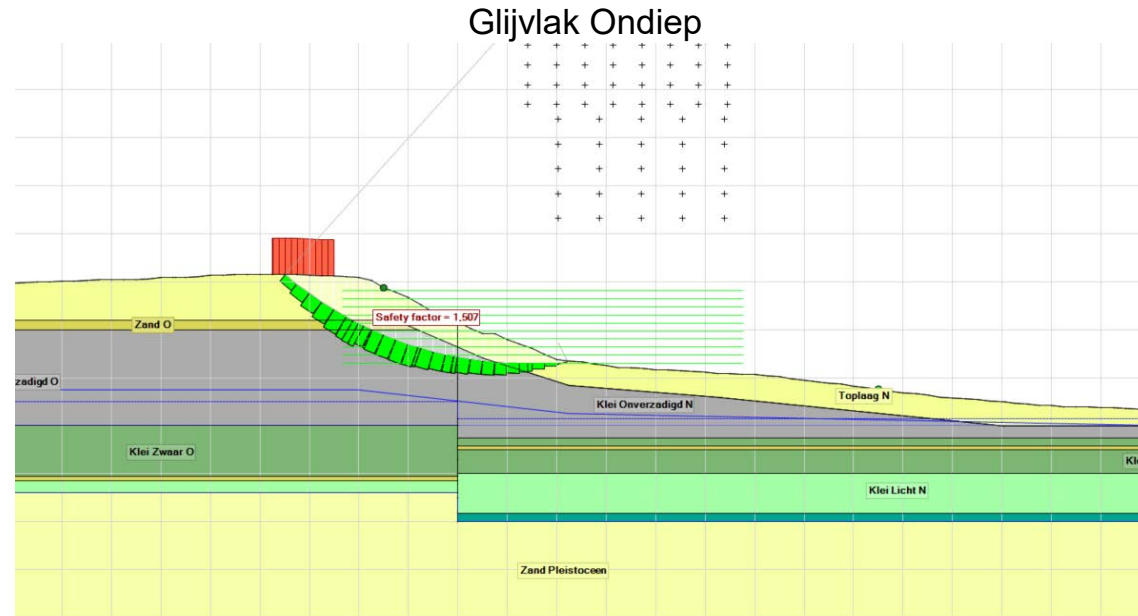
Glijvlak Ondiep



Glijvlak Diep

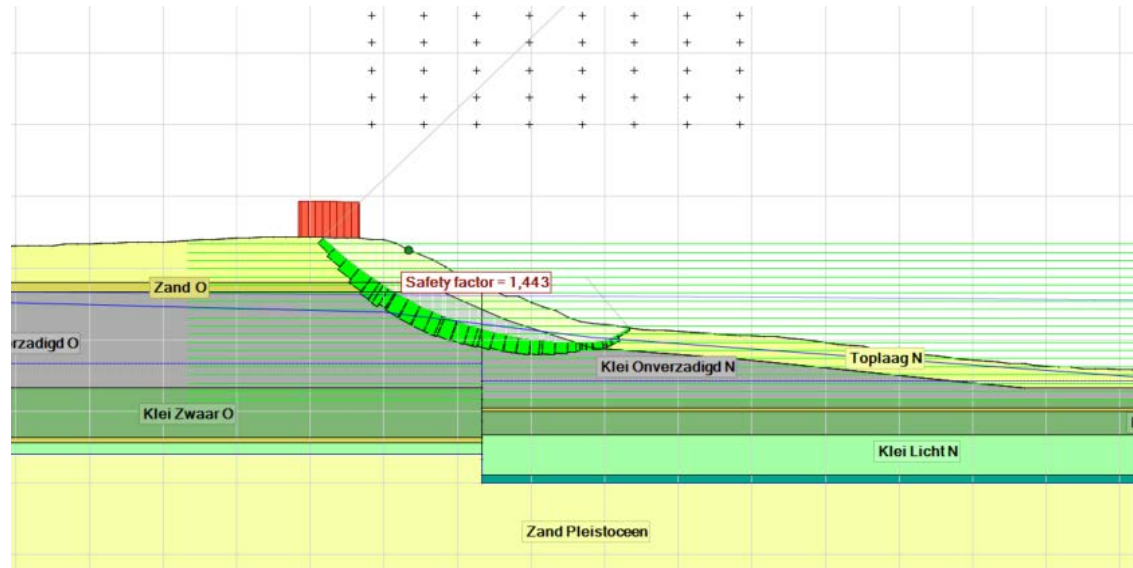


Nr. 2 Dagelijks
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
4,00
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,507
SF Diep
2,289

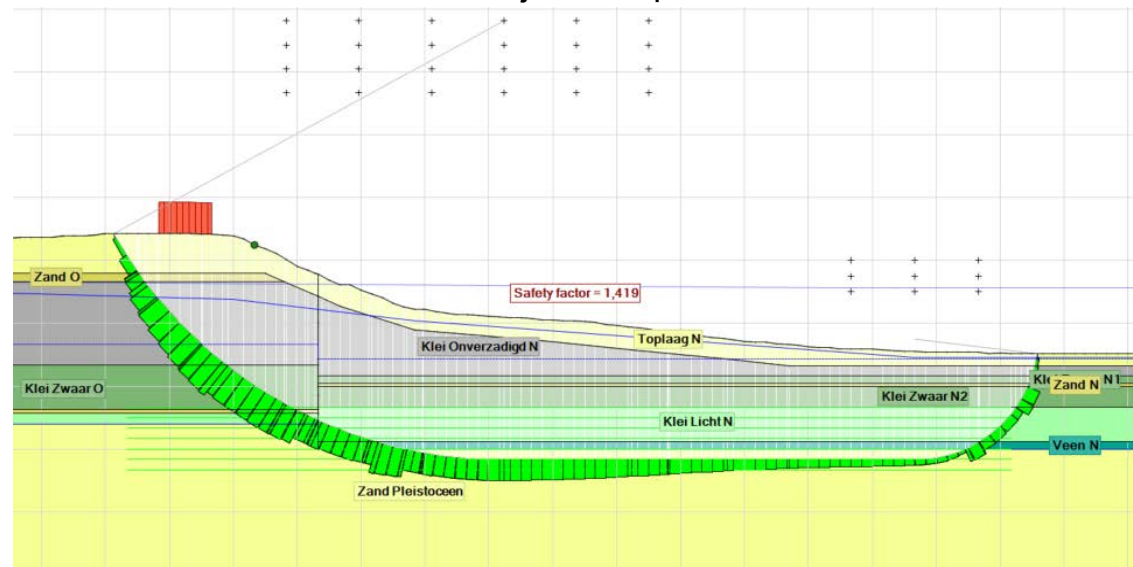


Nr. 3 Uplift 1,2
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,21
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,443
SF Diep
1,419

Glijvlak Ondiep

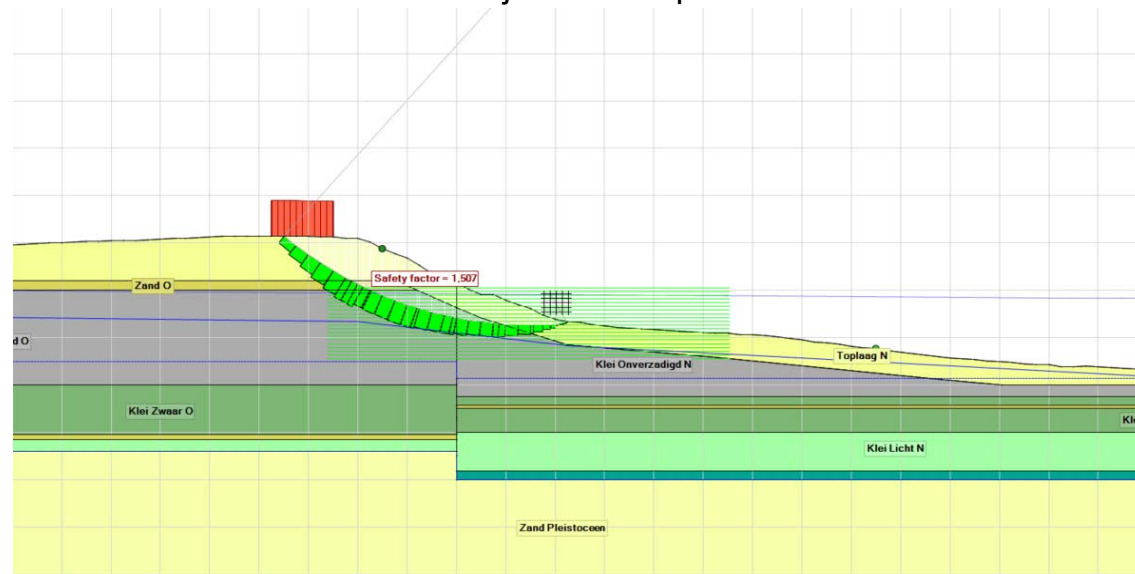


Glijvlak Diep

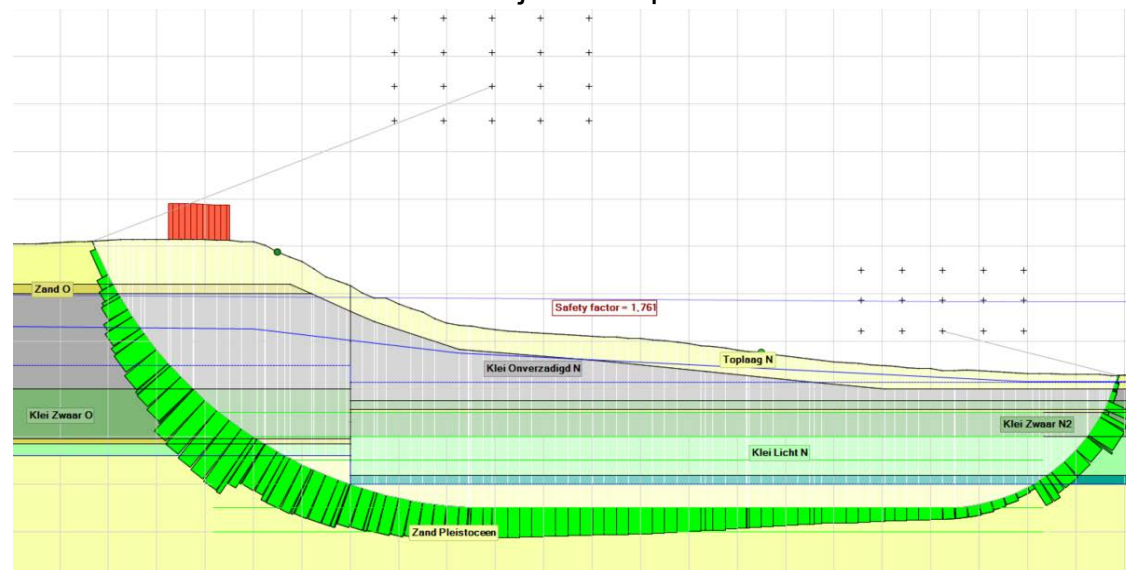


Nr. 4 Uplift 1,2
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,21
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,507
SF Diep
1,761

Glijvlak Ondiep

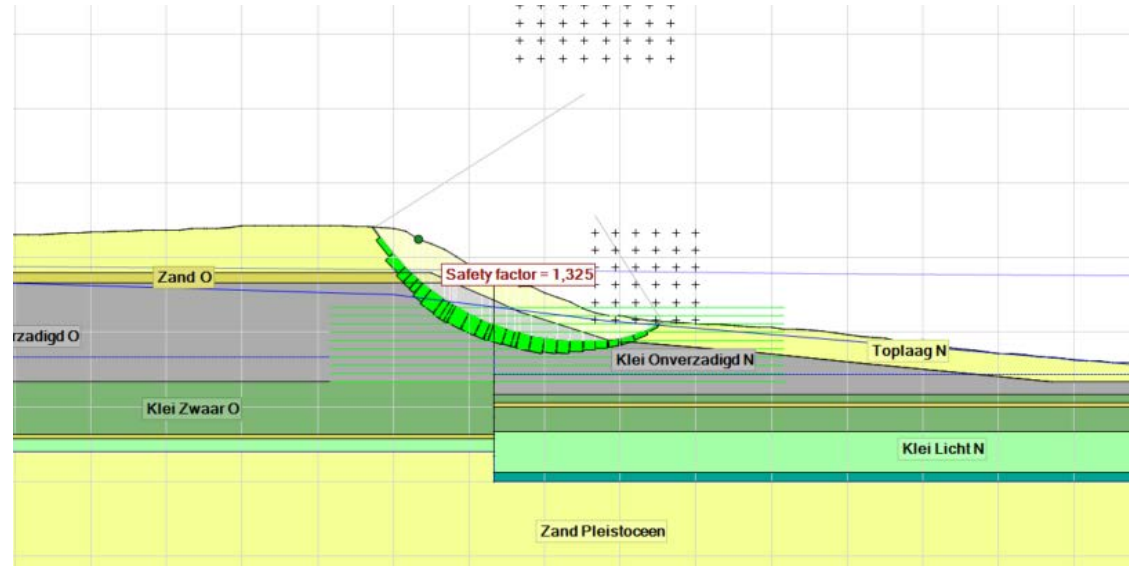


Glijvlak Diep

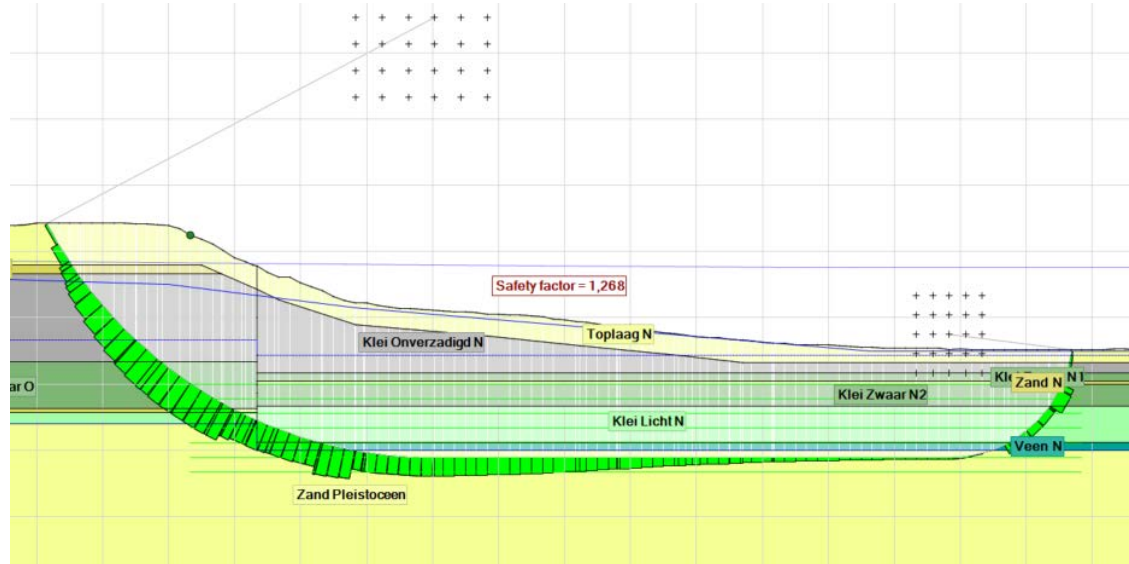


Nr. 5 Uplift 1,0
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,90
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,325
SF Diep
1,268

Glijvlak Ondiep

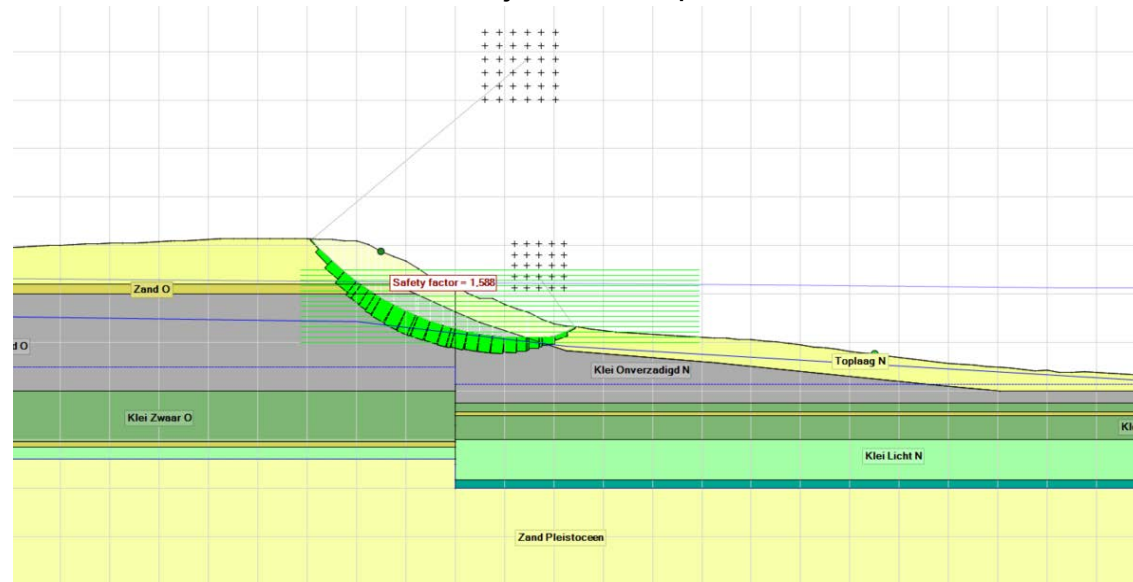


Glijvlak Diep

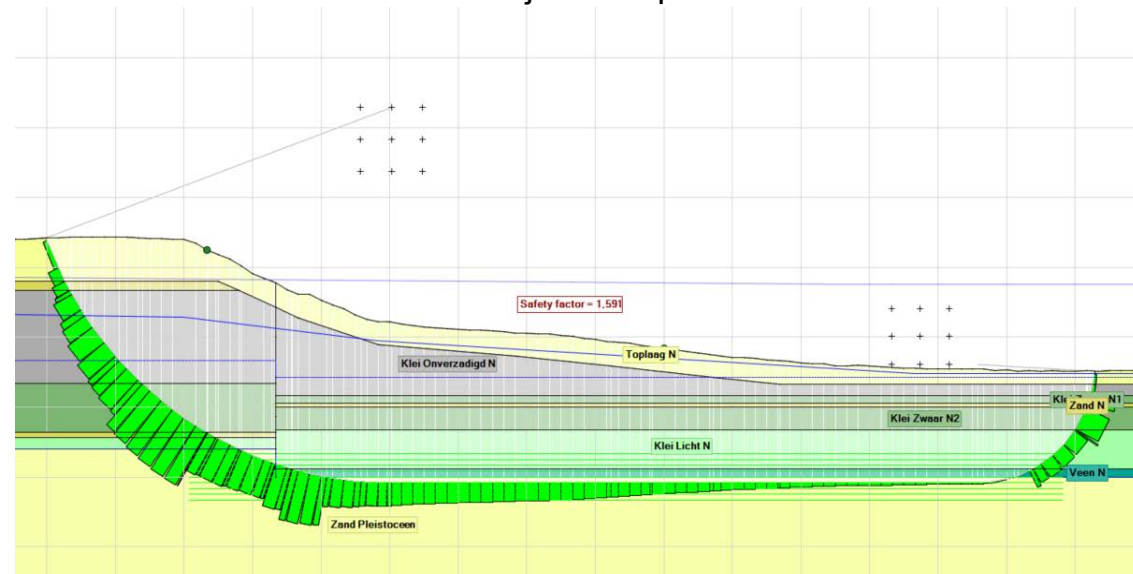


Nr. 6 Uplift 1,0
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,90
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,588
SF Diep
1,591

Glijvlak Ondiep

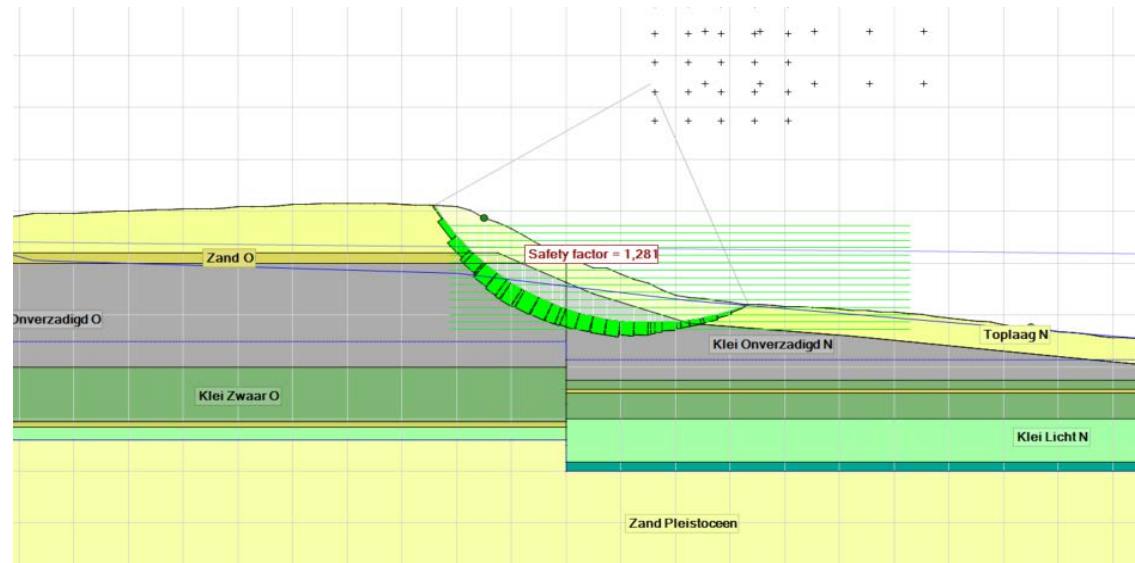


Glijvlak Diep

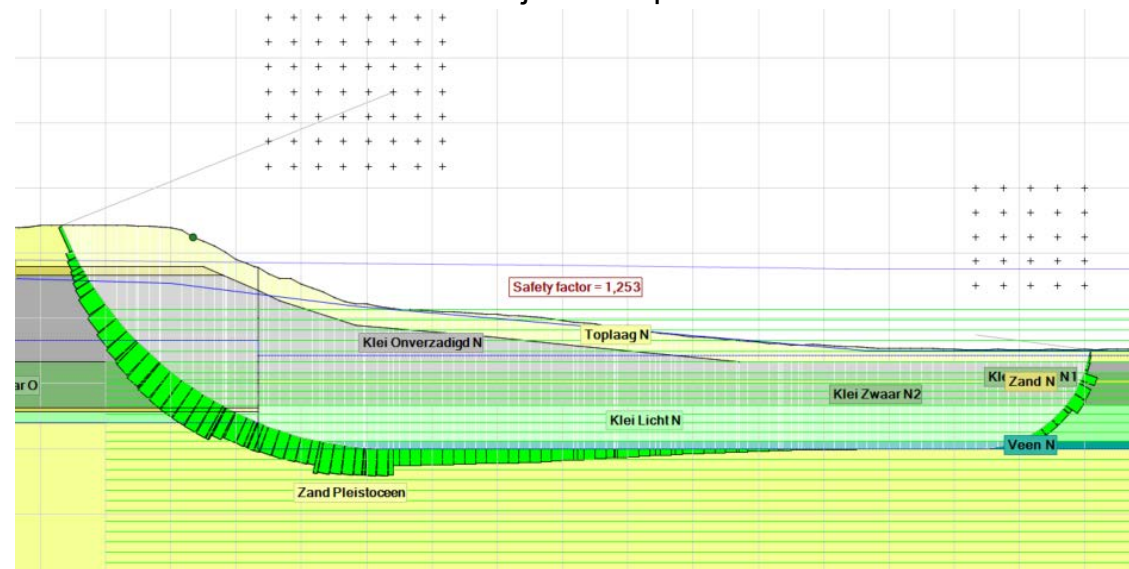


Nr. 7 WBN
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
9,11
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,281
SF Diep
1,253

Glijvlak Ondiep

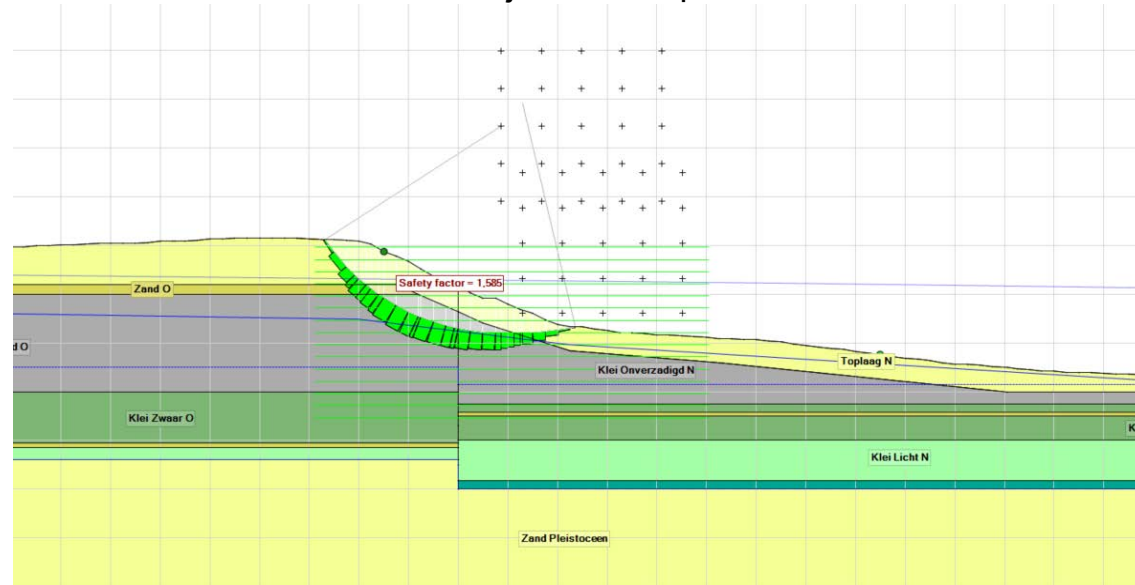


Glijvlak Diep

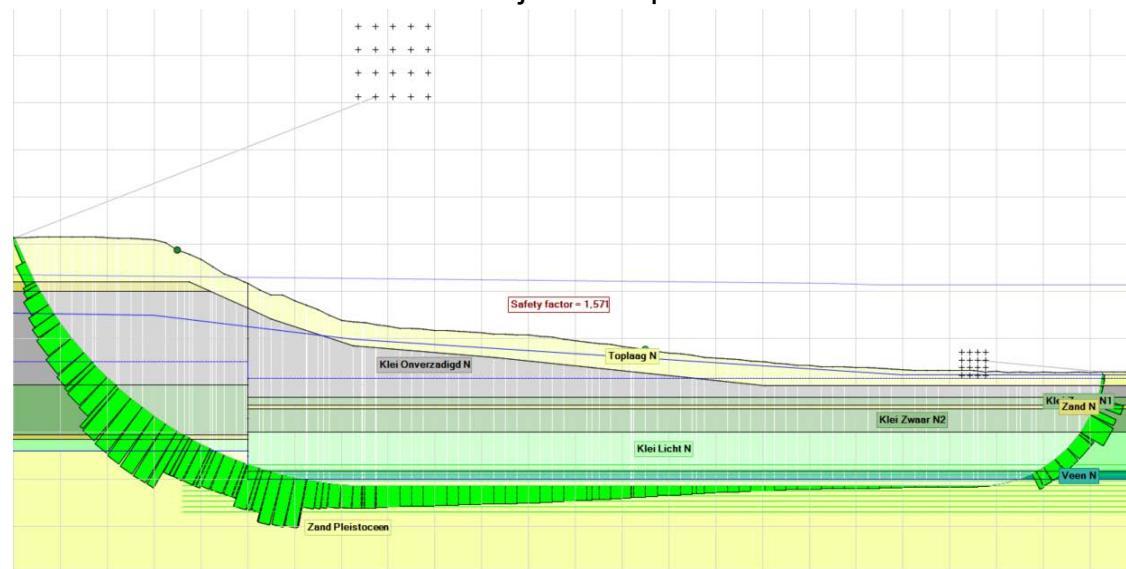


Nr. 8 WBN
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
9,11
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,585
SF Diep
1,571

Glijvlak Ondiep

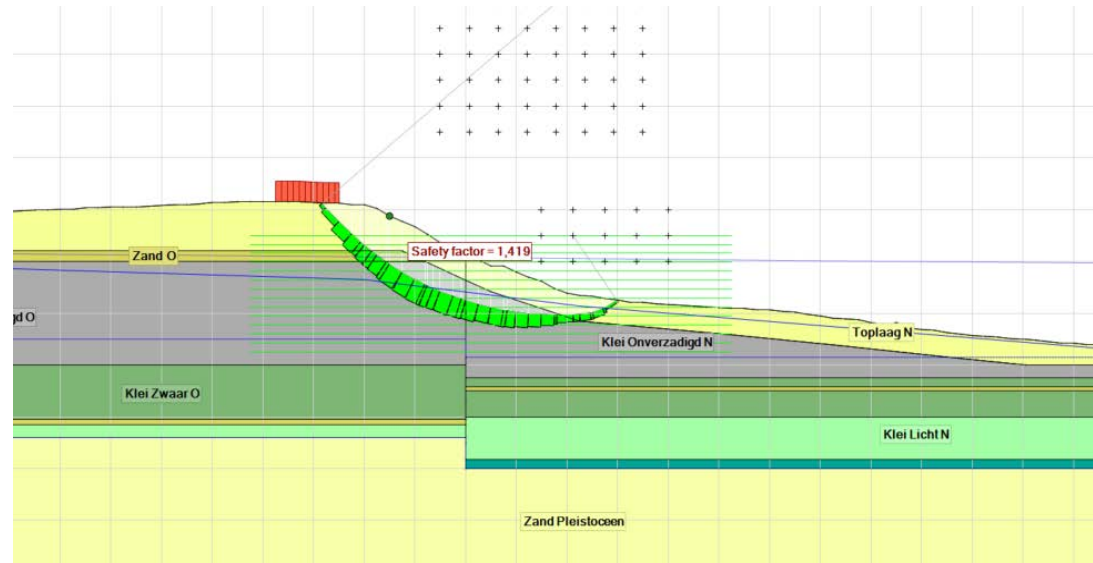


Glijvlak Diep

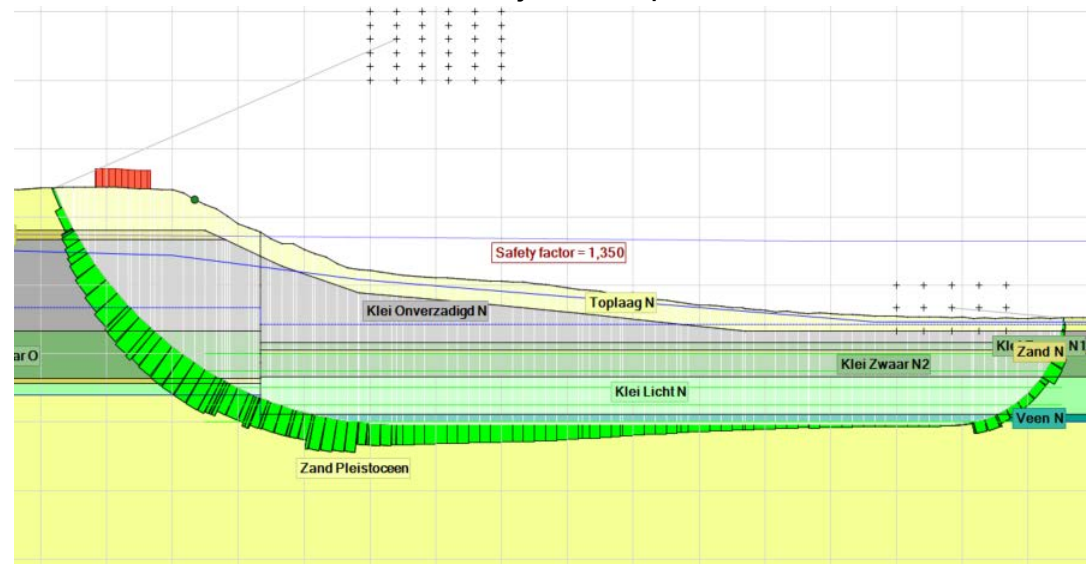


Nr. 9 1 l/s/m
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,52
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,419
SF Diep
1,350

Glijvlak Ondiep

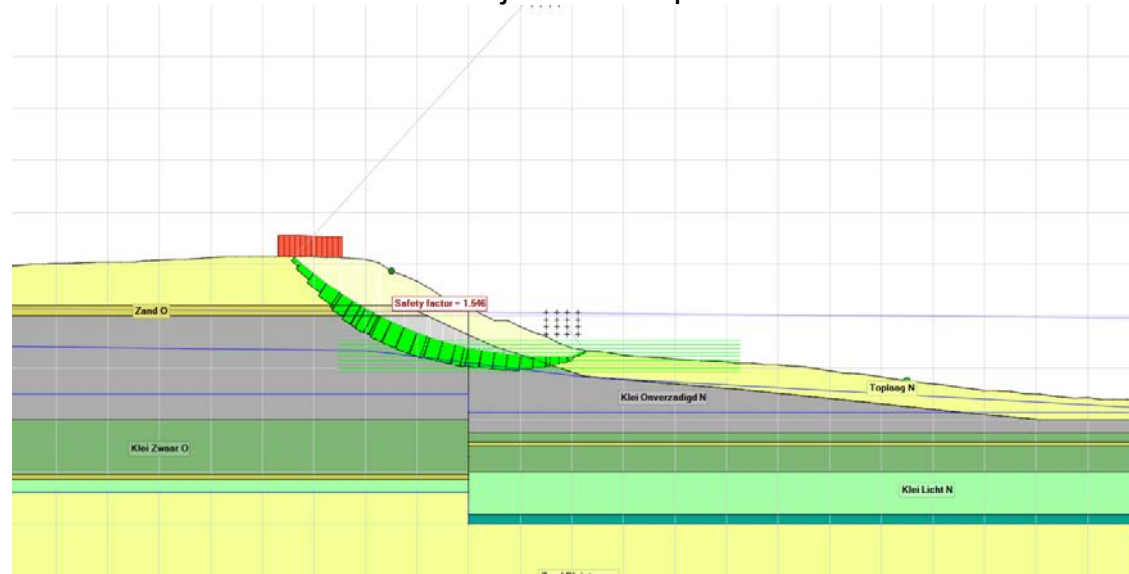


Glijvlak Diep

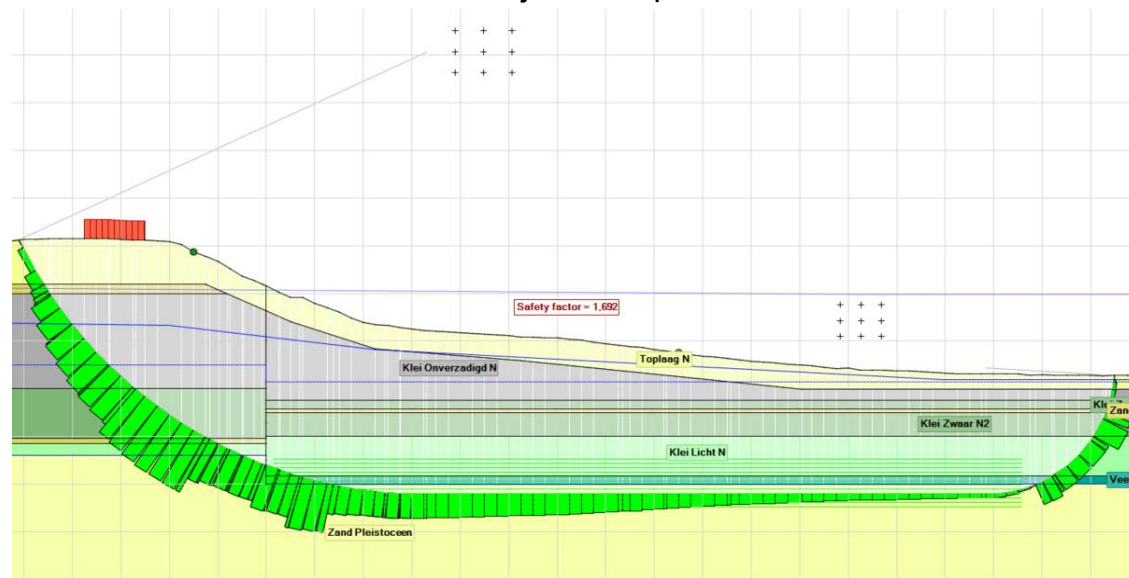


Nr. 10 1 l/s/m
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,52
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,546
SF Diep
1,692

Glijvlak Ondiep

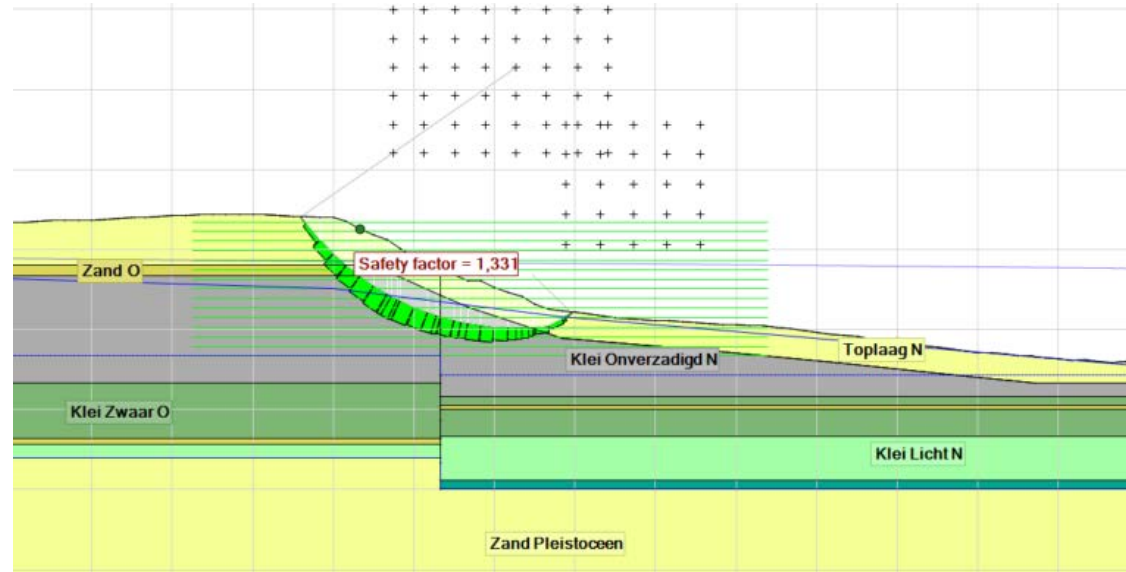


Glijvlak Diep

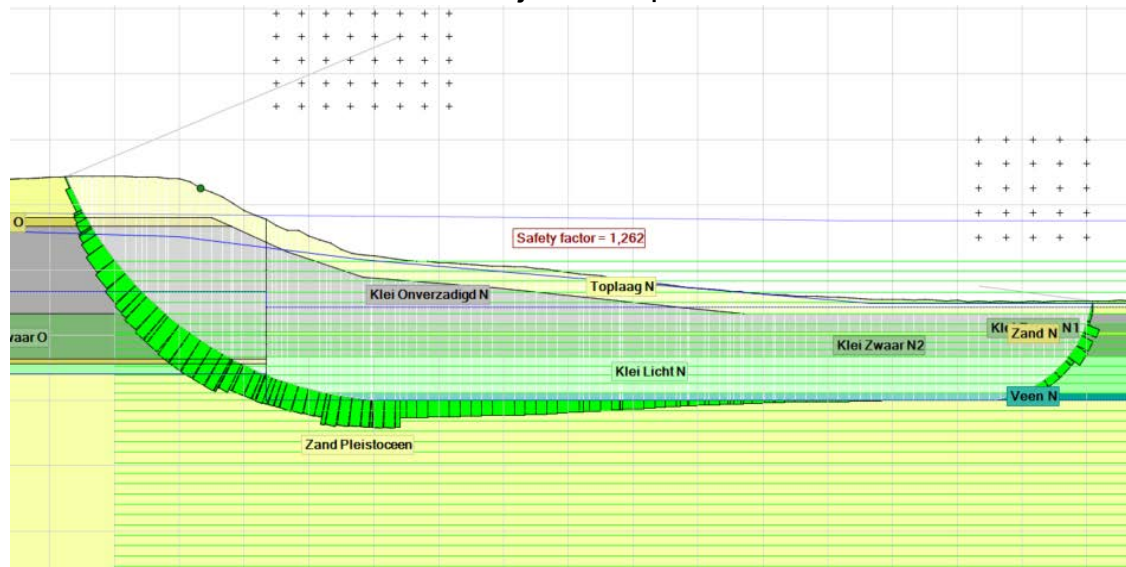


Nr. 11 10 l/s/m
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,94
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,331
SF Diep
1,262

Glijvlak Ondiep

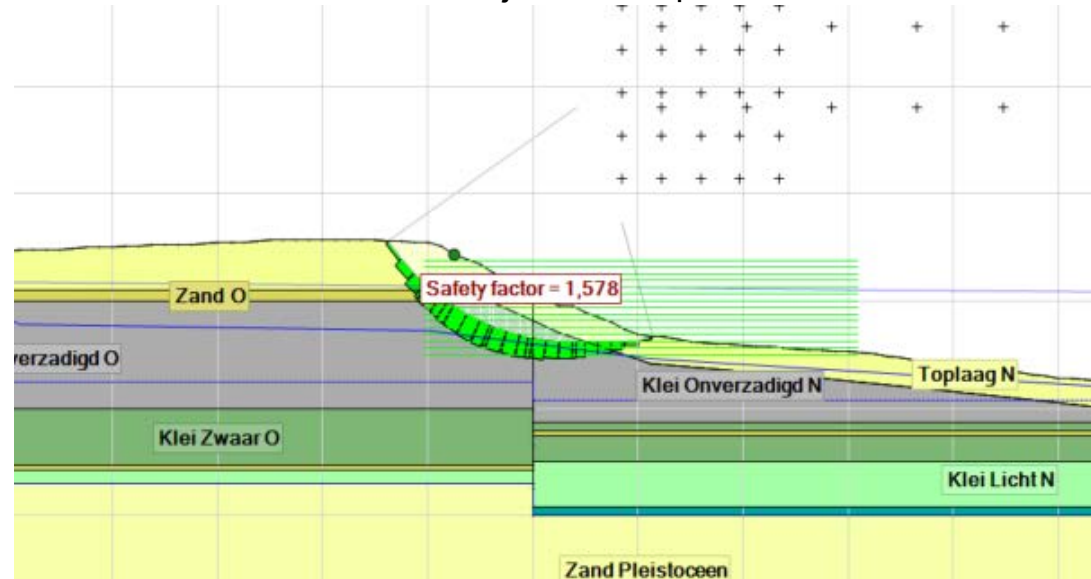


Glijvlak Diep

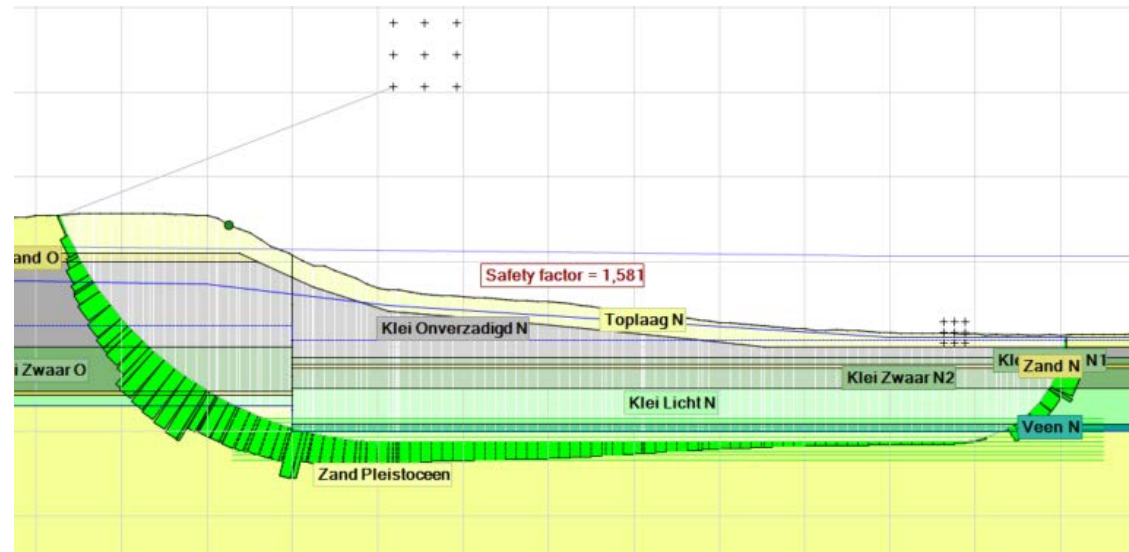


Nr. 12 10 l/s/m
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,94
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,578
SF Diep
1,581

Glijvlak Ondiep

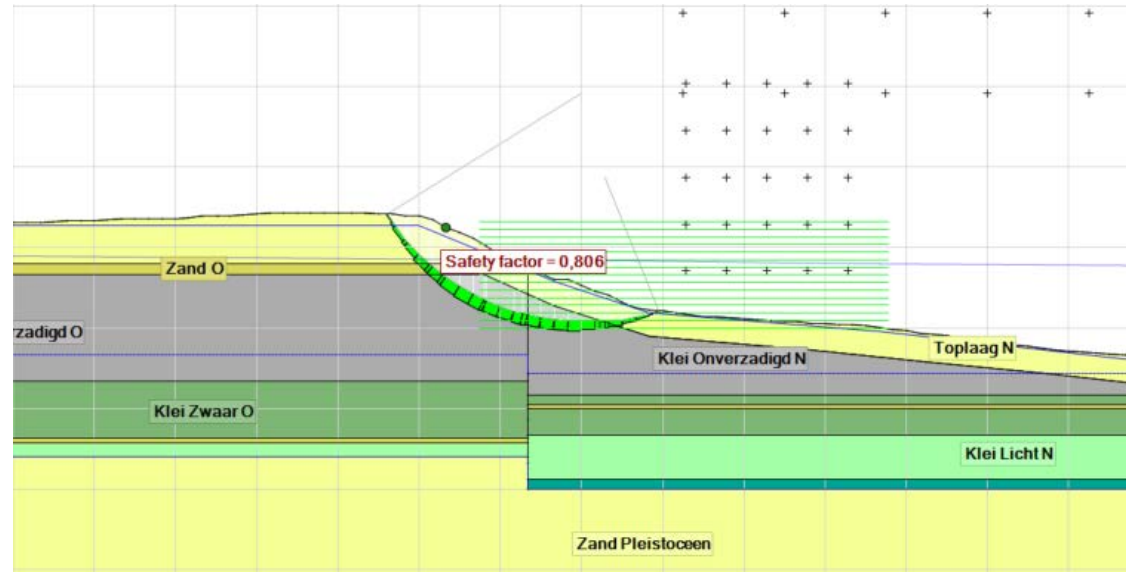


Glijvlak Diep

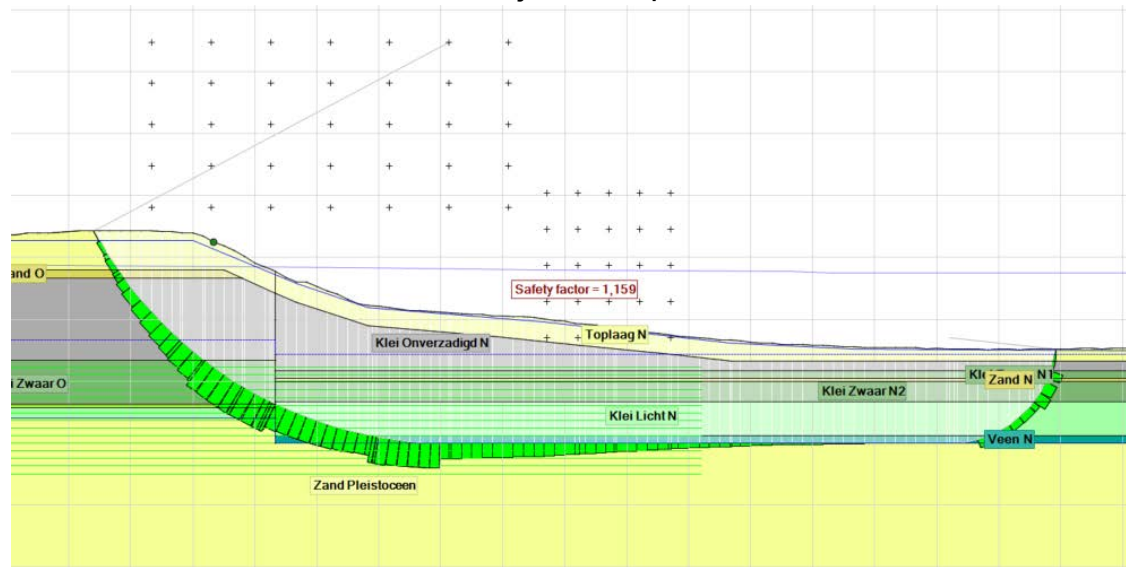


Nr. 13 10 l/s/m Optie 1
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,94
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
0,806
SF Diep
1,159

Glijvlak Ondiep

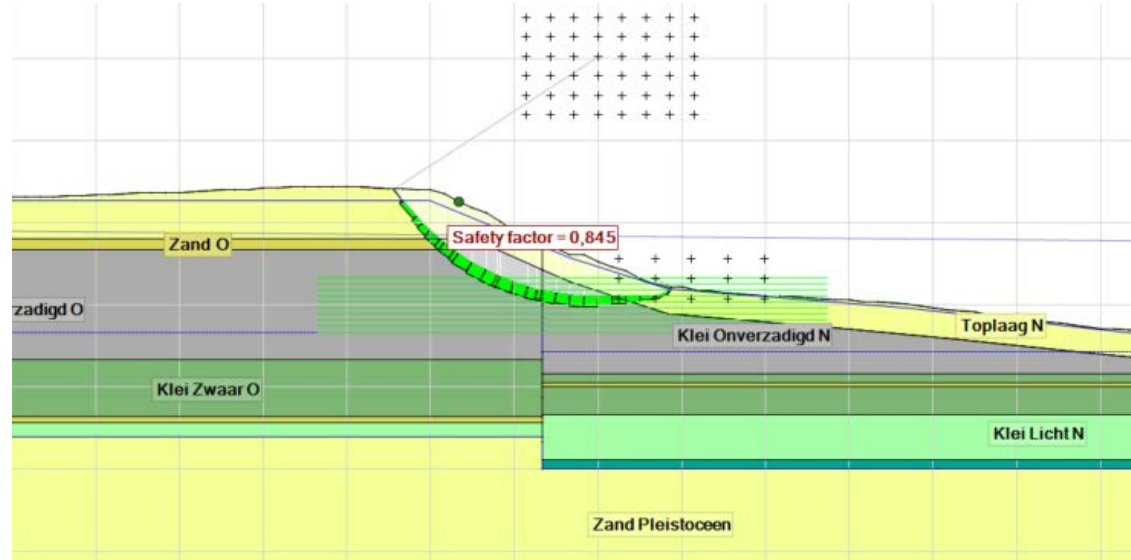


Glijvlak Diep

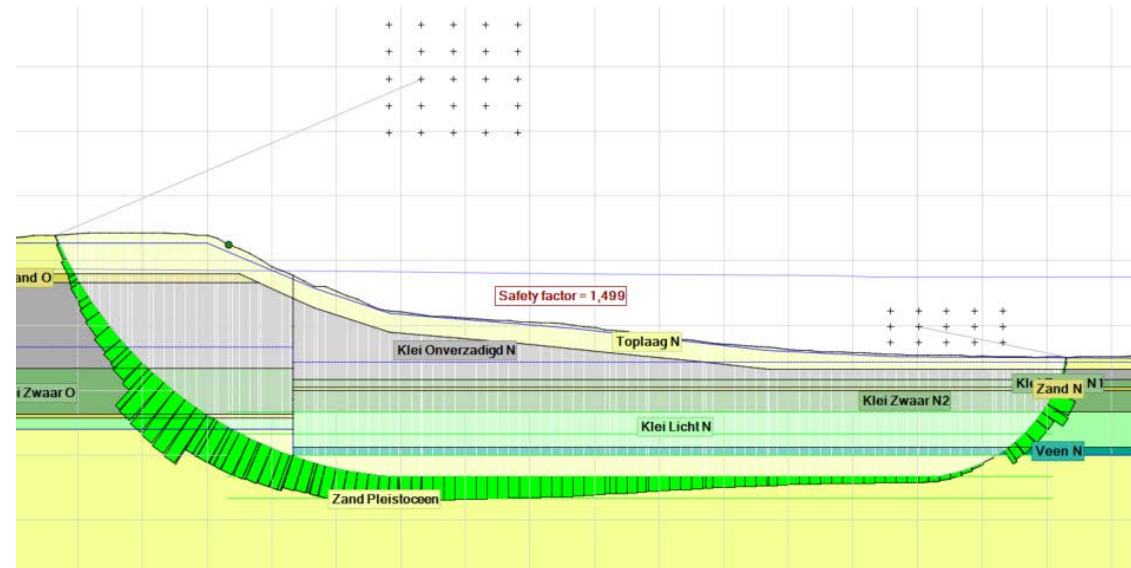


Nr. 14 10 l/s/m Optie 1
Gemiddeld Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,94
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
0,845
SF Diep
1,499

Glijvlak Ondiep

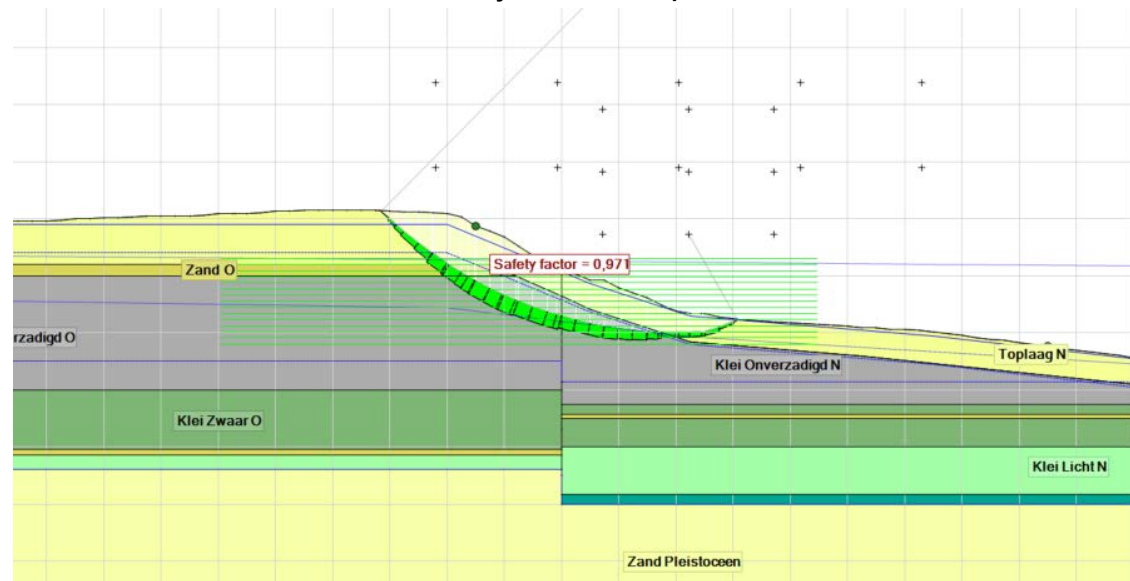


Glijvlak Diep

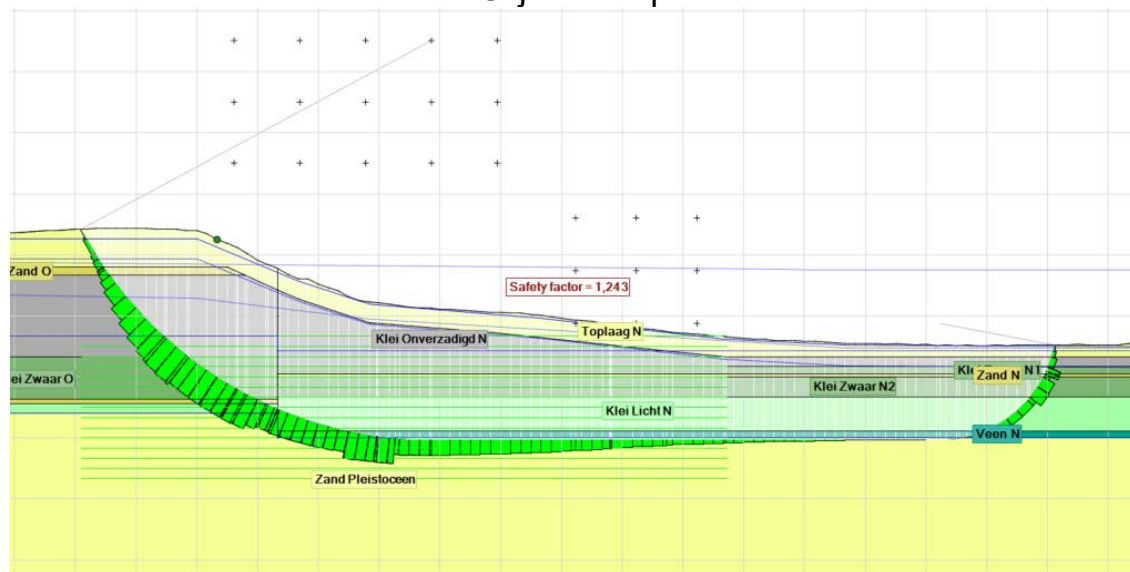


Nr. 15 10 l/s/m Optie 2
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,94
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
0,971
SF Diep
1,243

Glijvlak Ondiep

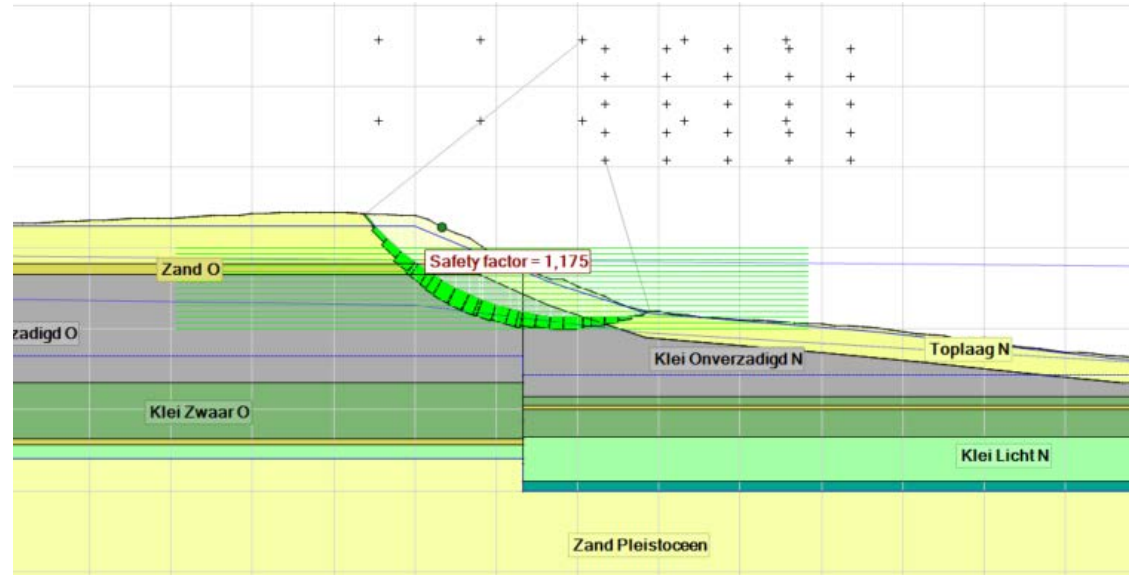


Glijvlak Diep

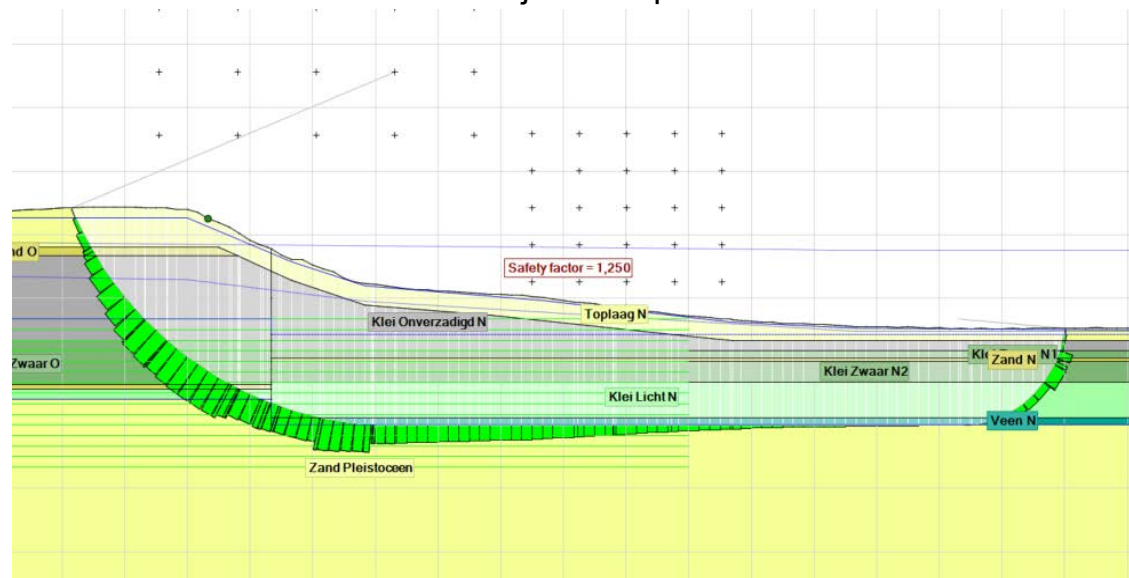


Nr. 16 10 l/s/m Optie 3
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,94
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,175
SF Diep
1,250

Glijvlak Ondiep

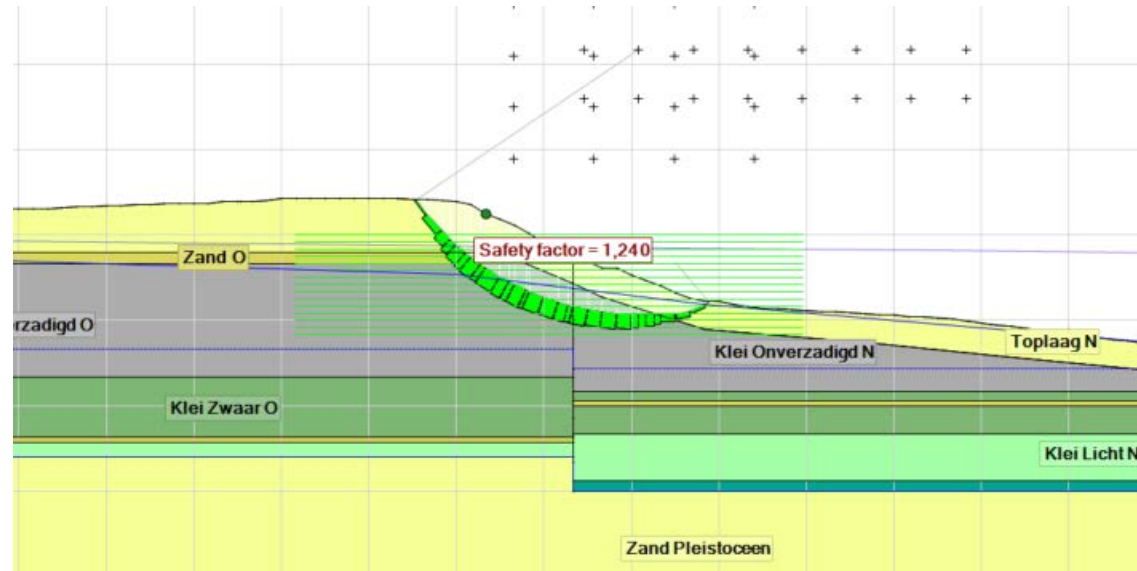


Glijvlak Diep

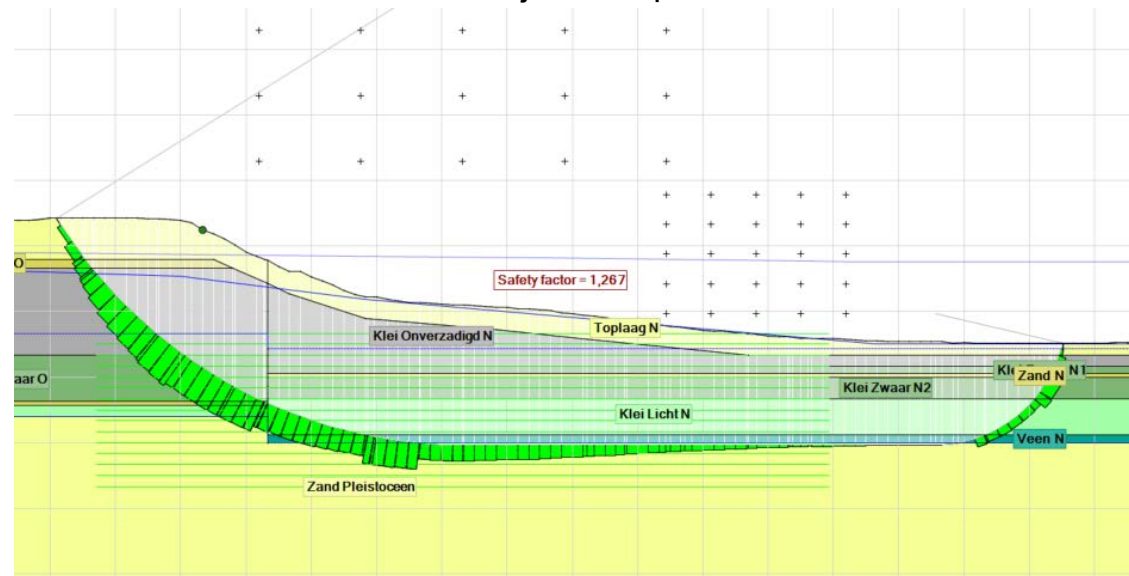


Nr. 17 WBN Ongedraineerd
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
9,11
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,240
SF Diep
1,267

Glijvlak Ondiep

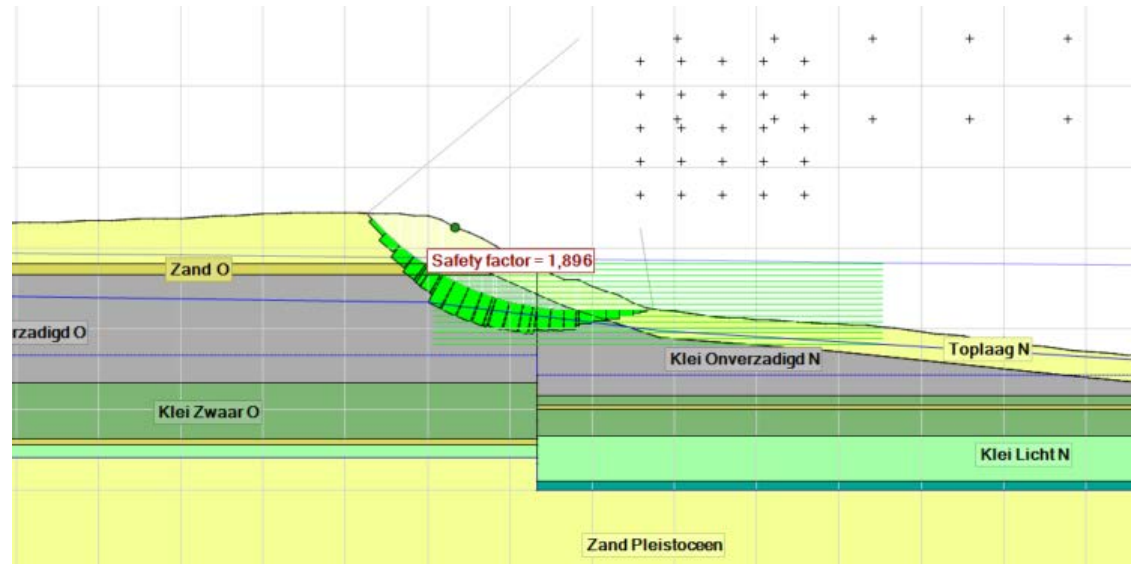


Glijvlak Diep

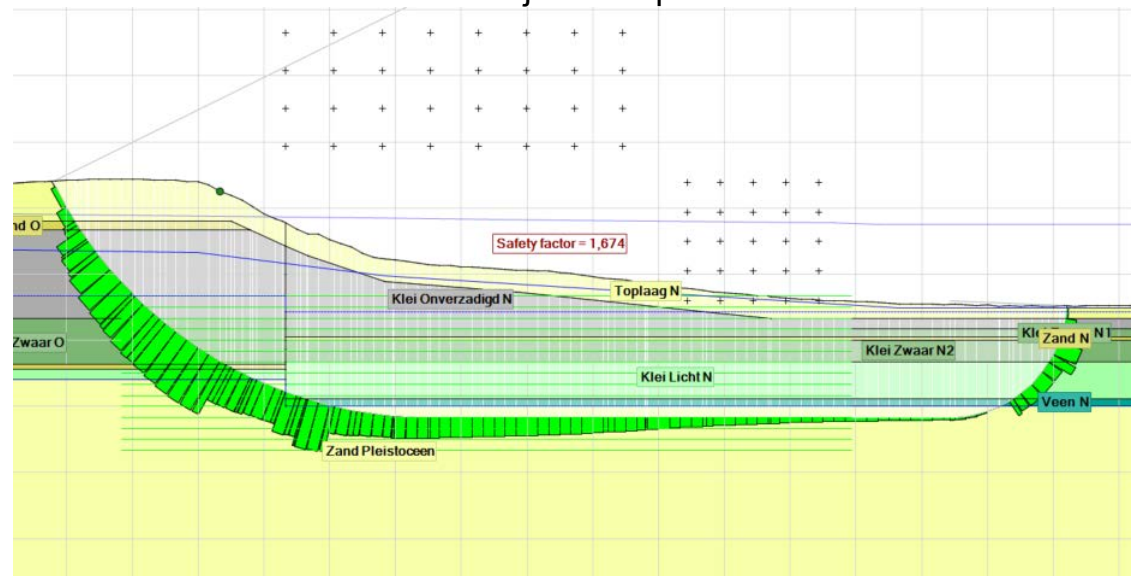


Nr. 18 WBN Ongedraineerd
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
9,11
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,896
SF Diep
1,674

Glijvlak Ondiep

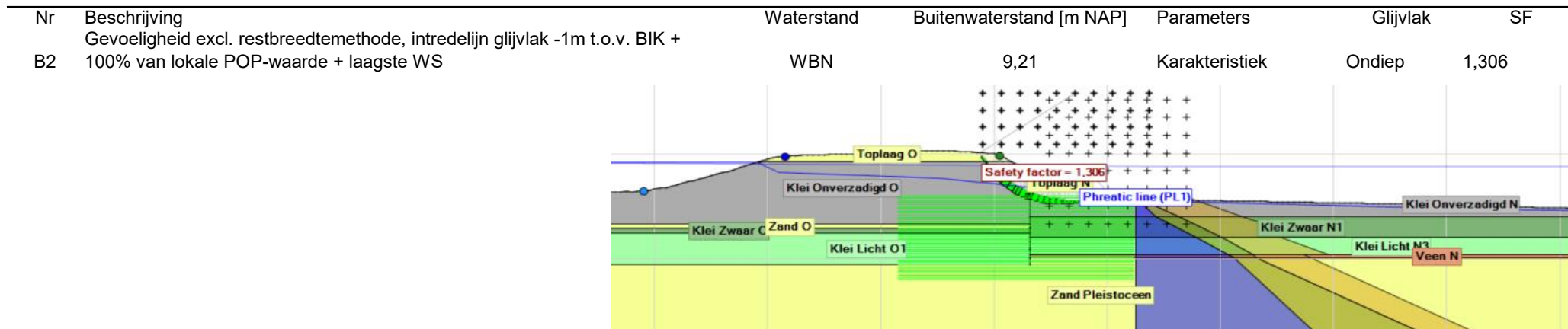
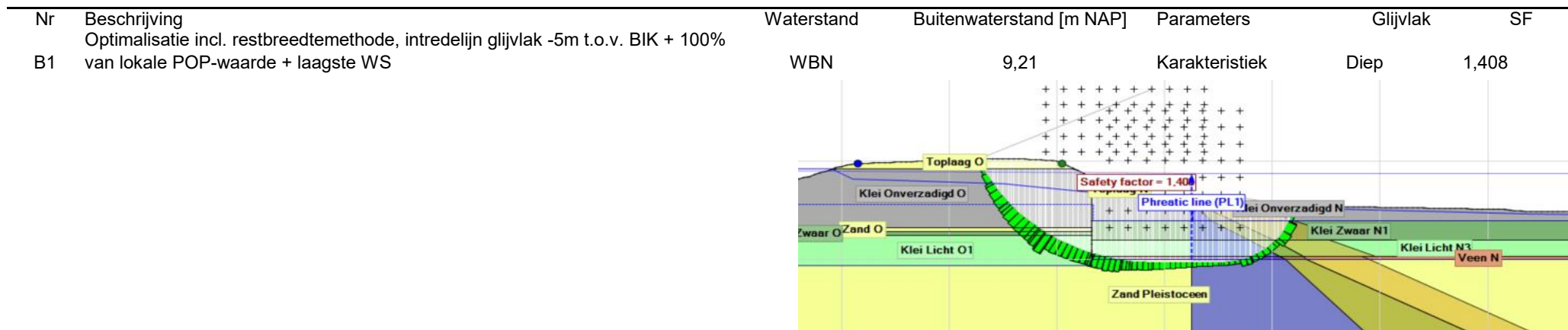
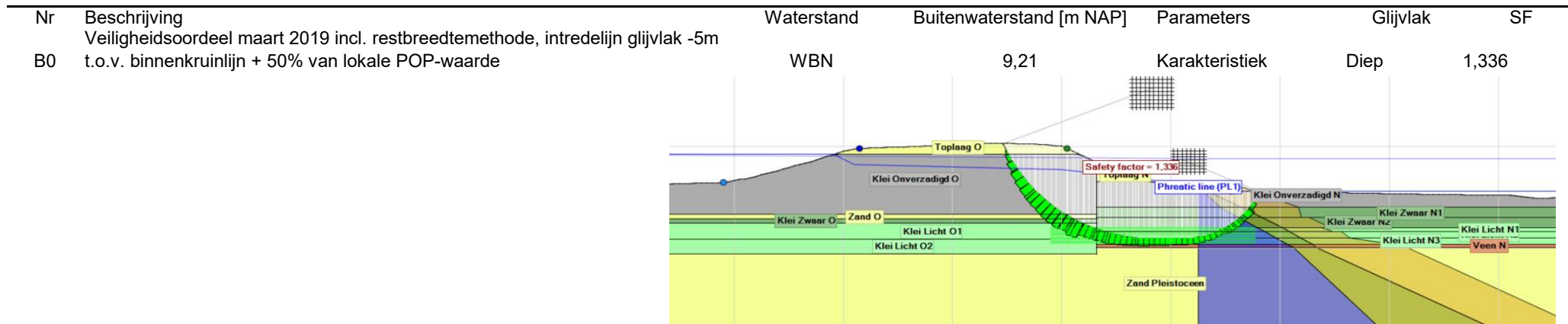


Glijvlak Diep

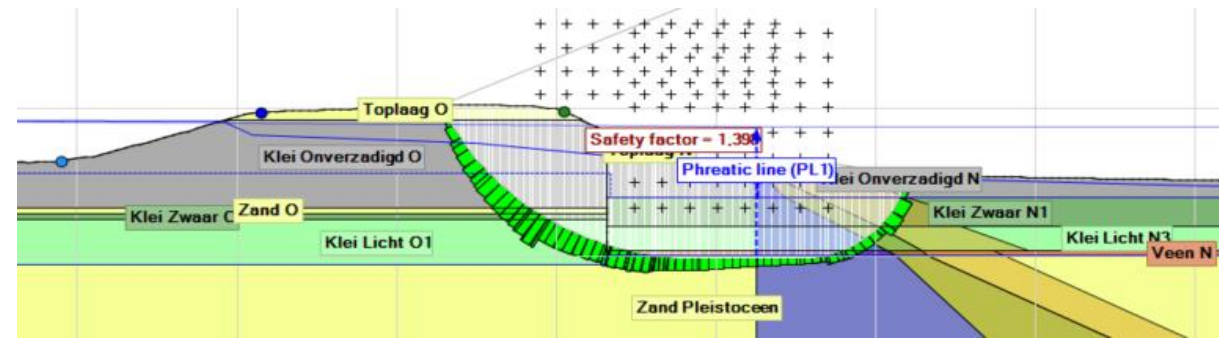


Bijlage C – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP44 fase 2

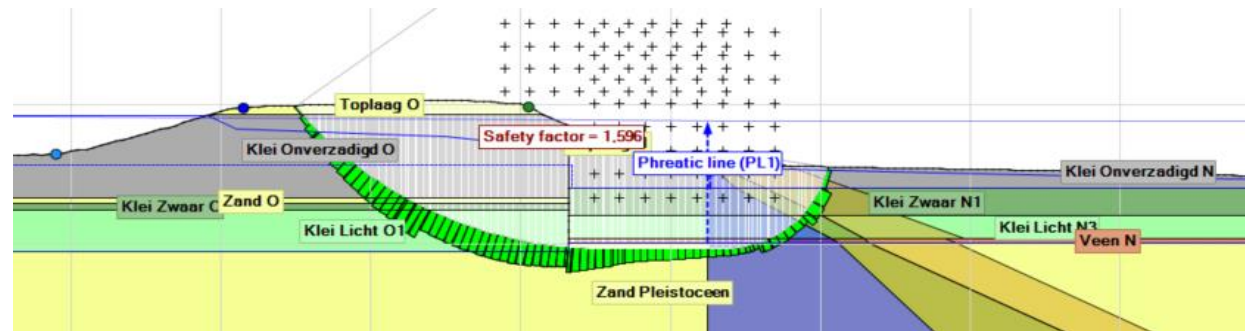
Nr	Beschrijving	Scenario WS	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF_UV
B0	Veiligheidsoordeel maart 2019 incl. restbreedtemethode, intredelijk glijvlak -5m t.o.v. binnenkruinlijn + 50% van lokale POP-waarde	WBN	9,210	Karakteristiek	Diep	1,336
B1	Optimalisatie incl. restbreedtemethode, intredelijk glijvlak -5m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + laagste WS	WBN	9,210	Karakteristiek	Diep	1,408
B2	Gevoeligheid excl. restbreedtemethode, intredelijk glijvlak -1m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + laagste WS	WBN	9,210	Karakteristiek	Ondiep	1,306
B3	Gevoeligheid incl. restbreedtemethode, intredelijk glijvlak -5m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + geen laagste WS	WBN	9,210	Karakteristiek	Diep	1,398
B4	Gevoeligheid incl. volledig benutten restbreedte, intredelijk glijvlak -15m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde	WBN	9,210	Karakteristiek	Diep	1,596
B5	Gevoeligheid incl. volledig benutten restbreedte, intredelijk glijvlak -15m t.o.v. BIK + default POP-waardes	WBN	9,210	Karakteristiek	Diep	1,539



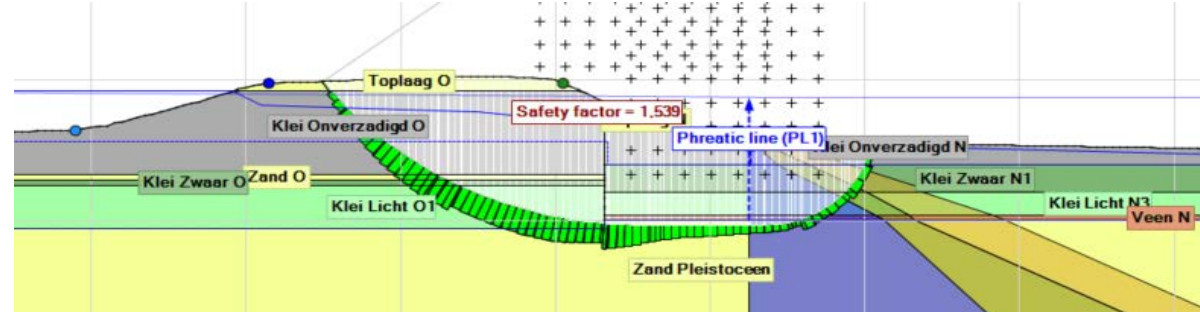
Nr	Beschrijving	Waterstand	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF
B3	Gevoeligheid incl. restbreedtemethode, intredelijg glijvlak -5m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde + geen laagste WS	WBN	9,21	Karakteristiek	Diep	1,398



Nr	Beschrijving	Waterstand	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF
B4	Gevoeligheid incl. volledig benutten restbreedte, intredelijg glijvlak -15m t.o.v. BIK + 100% van lokale POP-waarde	WBN	9,21	Karakteristiek	Diep	1,596

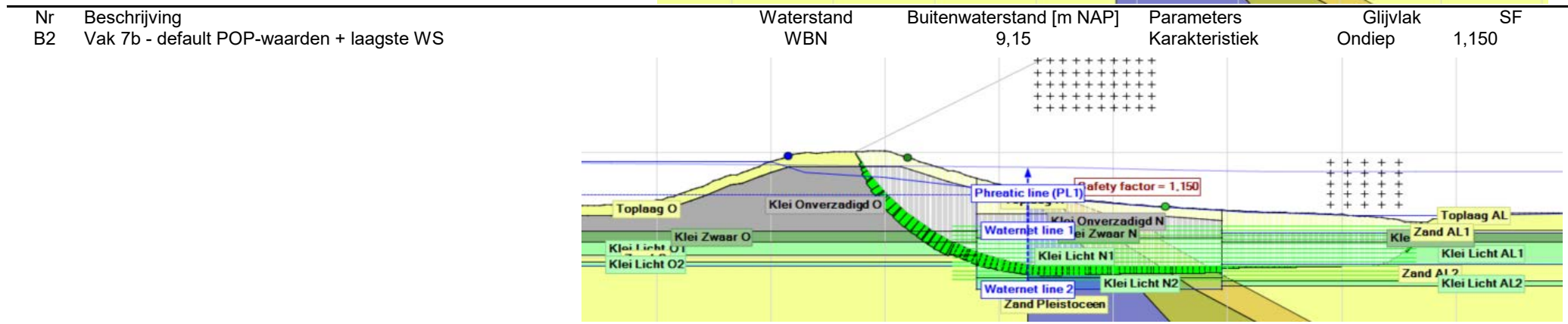
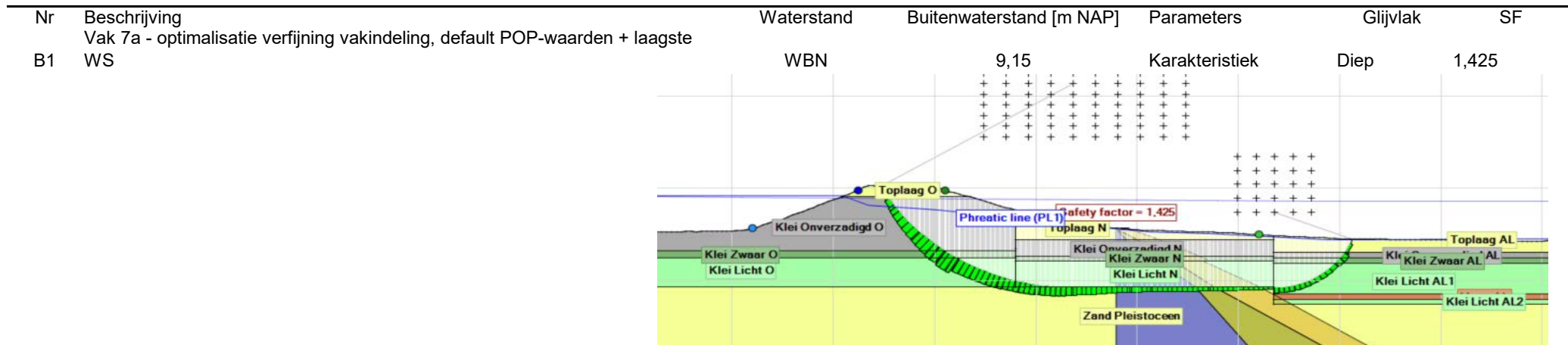
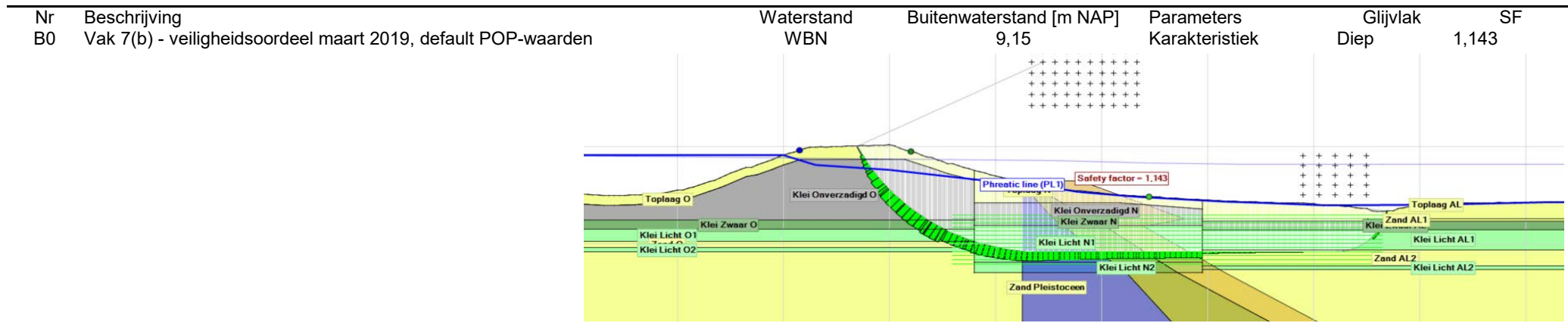


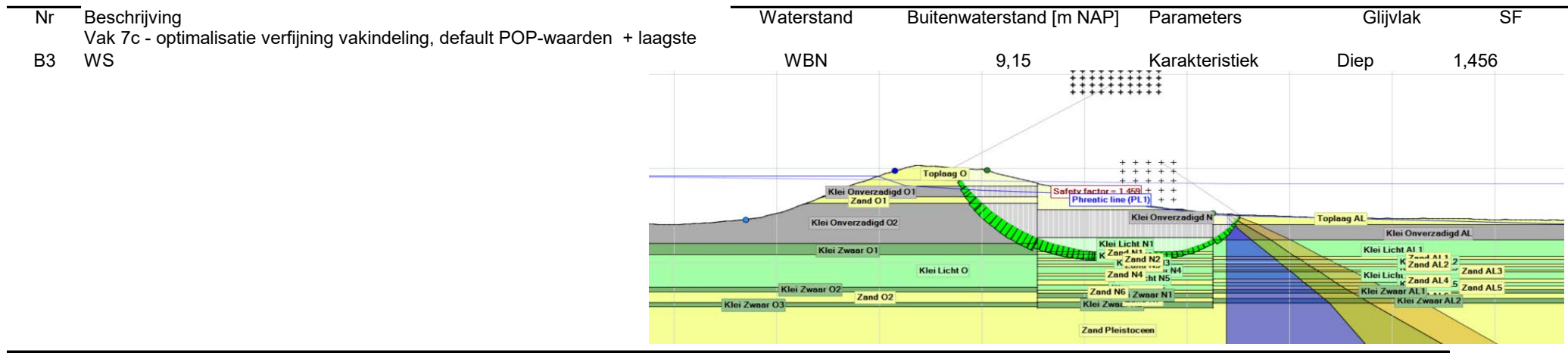
Nr	Beschrijving	Waterstand	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF
B5	Gevoeligheid incl. volledig benutten restbreedte, intredelijg glijvlak -15m t.o.v. BIK + default POP-waardes	WBN	9,21	Karakteristiek	Diep	1,539



Bijlage D – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP58 fase 2

Nr	Beschrijving	Scenario WS	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF_UV
B0	Vak 7(b) - veiligheidsoordeel maart 2019, default POP-waarden	WBN	9,150	Karakteristiek	Diep	1,143
B1	Vak 7a - optimalisatie verfijning vakindeling, default POP-waarden + laagste WS	WBN	9,150	Karakteristiek	Diep	1,425
B2	Vak 7b - default POP-waarden + laagste WS	WBN	9,150	Karakteristiek	Ondiep	1,150
B3	Vak 7c - optimalisatie verfijning vakindeling, default POP-waarden + laagste WS	WBN	9,150	Karakteristiek	Diep	1,456





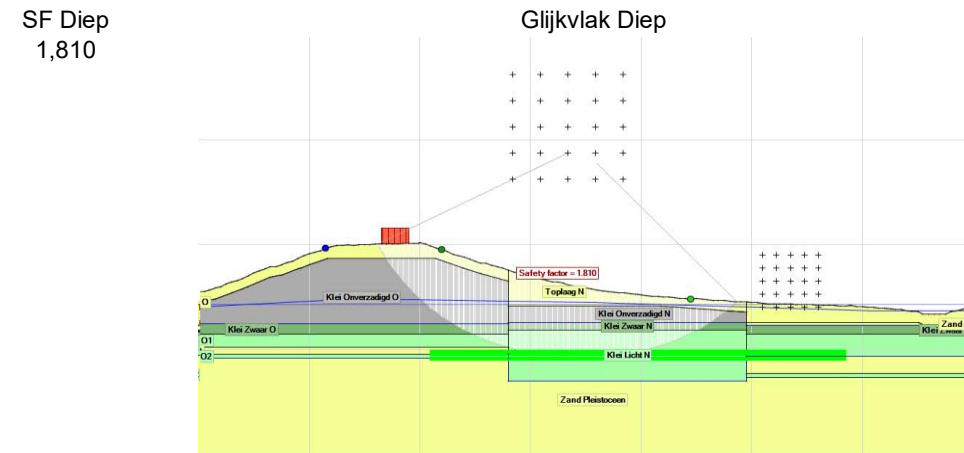
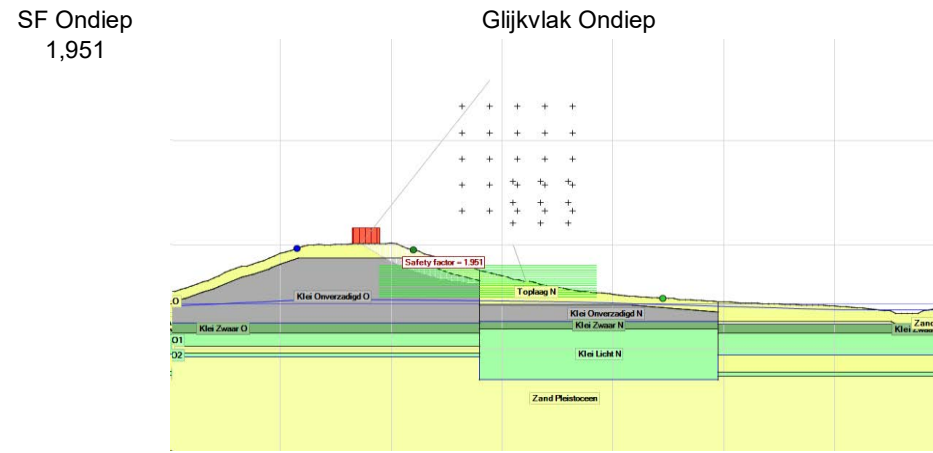
Nr	Beschrijving	Scenario WS	Buiten	Verkeers	Verzadiging	Parameters	SF_UV_Ondiep	SF_UV_Diep
			waterstand [m NAP]					
1	Basis-Kar	Dagelijks	4,000	15	Nee	Karakteristiek	1,855	1,496
2	Basis-Gem	Dagelijks	4,000	15	Nee	Gemiddeld	1,951	1,810
3	Basis-Kar	Uplift 1,2	8,250	15	Nee	Karakteristiek	1,682	1,279
4	Basis-Gem	Uplift 1,2	8,250	15	Nee	Gemiddeld	1,897	1,537
5	Basis-Kar	Uplift 1,0	9,030	0	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,174
6	Basis-Gem	Uplift 1,0	9,030	0	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,447
7	Basis-Kar	WBN	9,150	0	Nee	Karakteristiek	1,596	1,167
8	Basis-Gem	WBN	9,150	0	Nee	Gemiddeld	1,824	1,447
9	Basis-Kar	1 l/s/m	8,370	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,257
10	Basis-Gem	1 l/s/m	8,370	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,525
11	Basis-Kar	10 l/s/m	8,650	8	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,217
12	Basis-Gem	10 l/s/m	8,650	8	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,489
15	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	10 l/s/m	8,650	8	Ja	Karakteristiek	1,078	n.v.t.
16	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	Uplift 1,0	9,030	0	Ja	Karakteristiek	1,051	n.v.t.
17	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	WBN	9,150	0	Ja	Karakteristiek	1,043	n.v.t.
Extra	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	WBN	9,150	0	Ja	Gemiddeld	1,141	1,385
Extra	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	Uplift 1,0	9,030	0	Ja	Gemiddeld	1,147	1,379
Extra	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	10 l/s/m	8,650	8	Ja	Gemiddeld	1,155	1,419

Nr
2,00

Basis-Gem
Dagelijks

Buiten waterstand [m NAP]
4

Maatgevend glijvlak
Diep

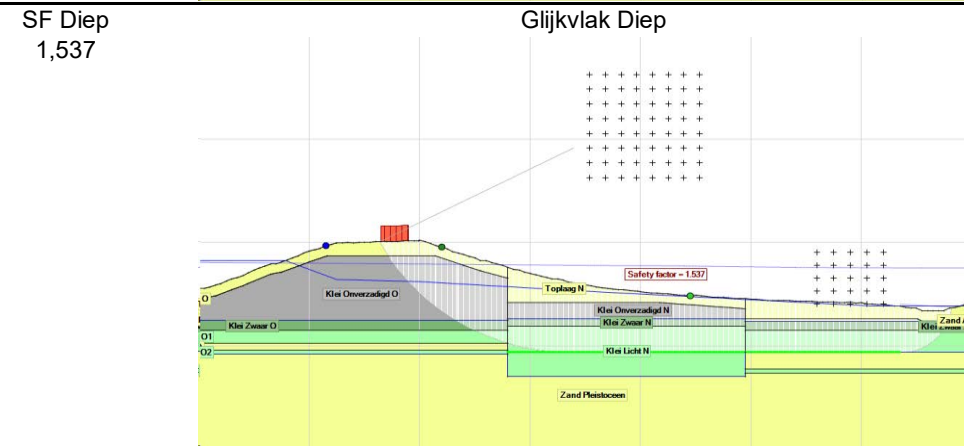
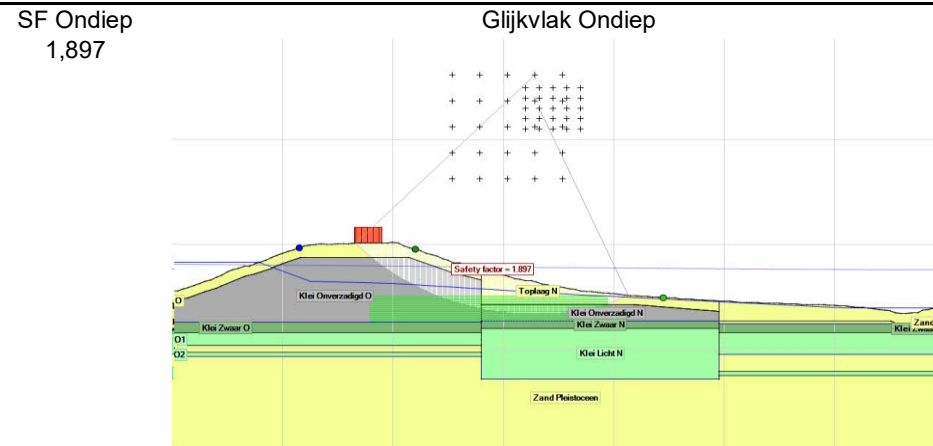


Nr
4,00

Basis-Gem
Uplift 1,2

Buitenwaterstand [m NAP]
8,25

Maatgevend glijvlak
Diep

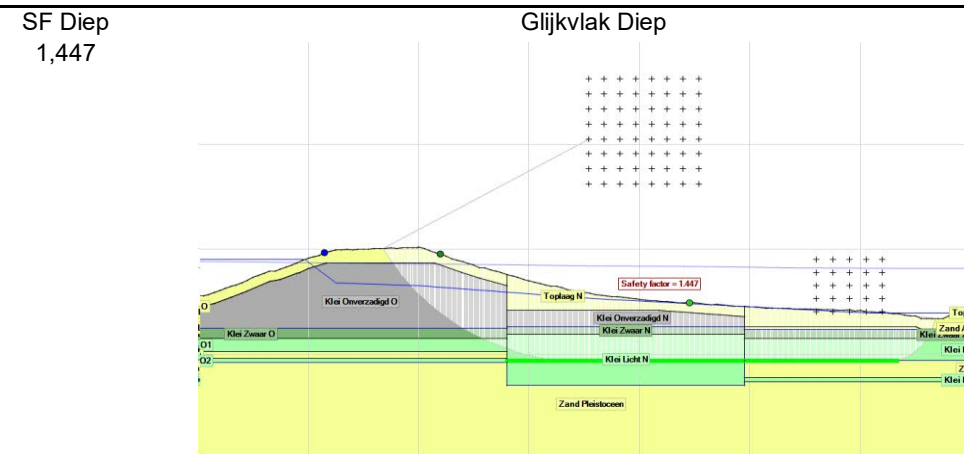


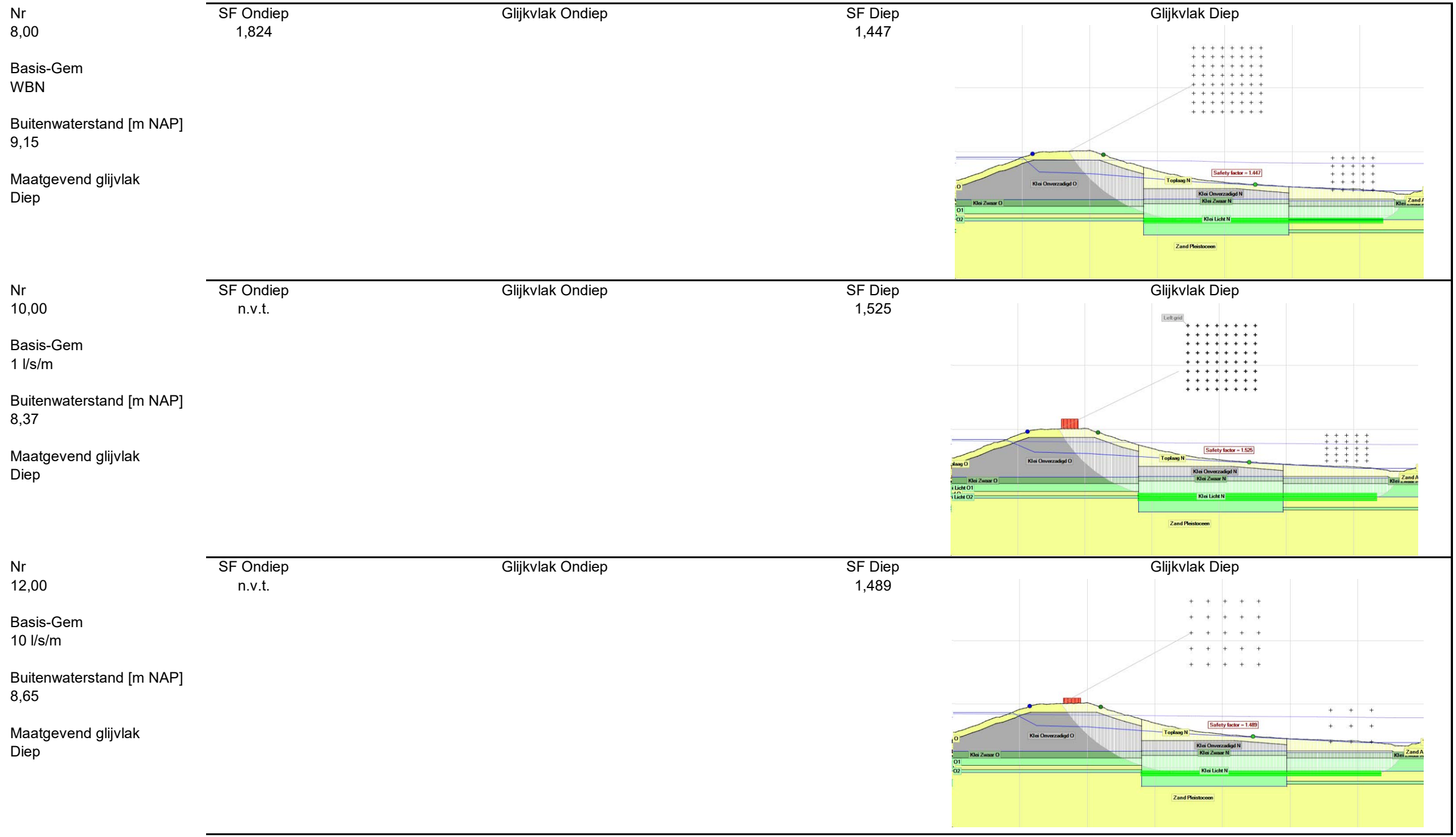
Nr
6,00

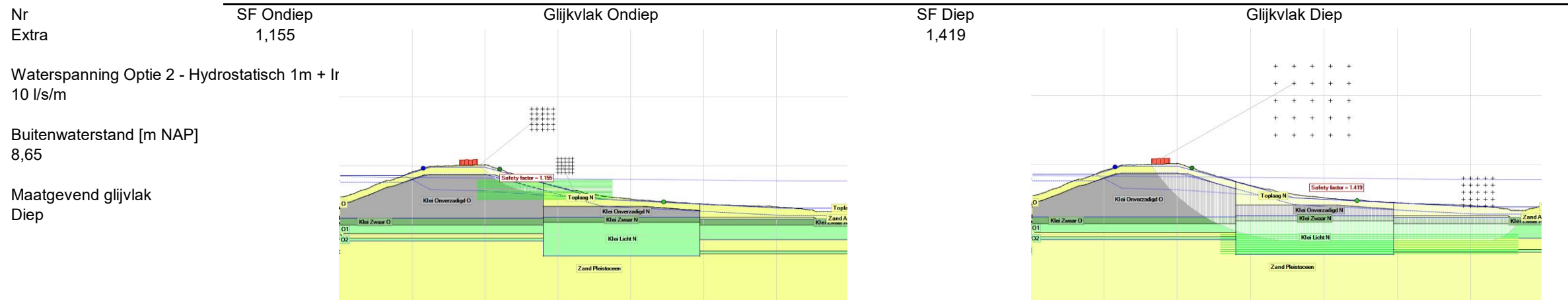
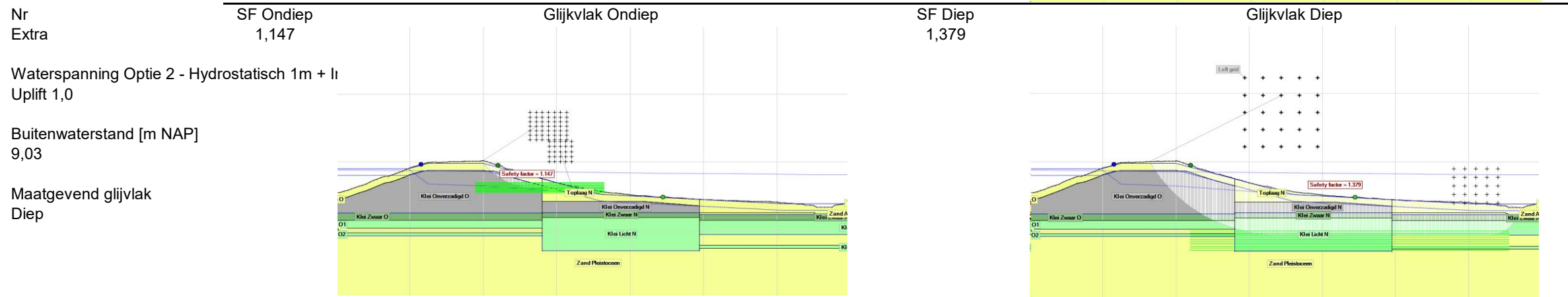
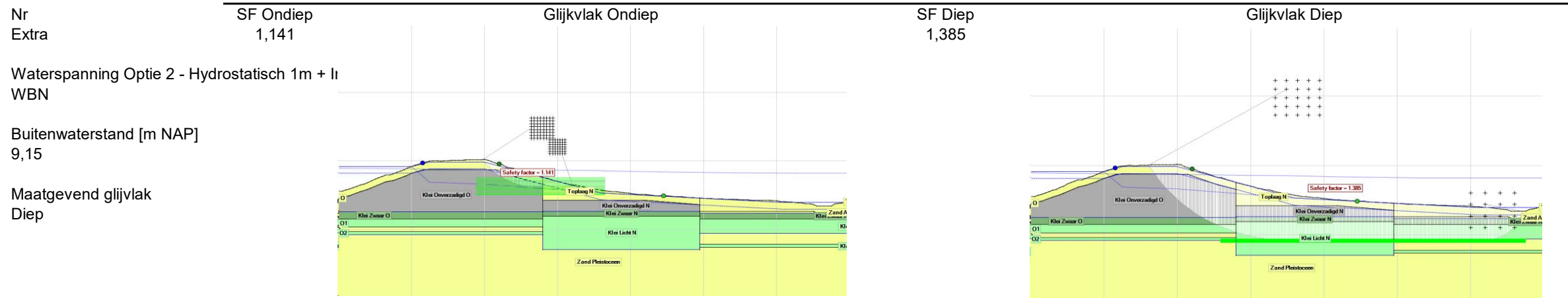
Basis-Gem
Uplift 1,0

Buitenwaterstand [m NAP]
9,03

Maatgevend glijvlak
Diep







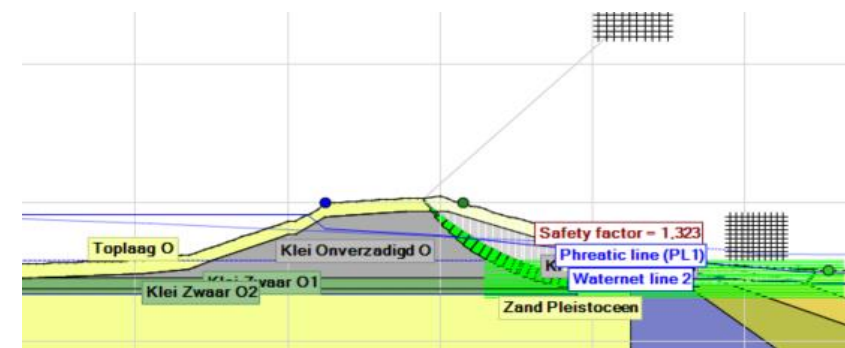
Bijlage E – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP74 fase 2

Nr	Beschrijving	Scenario WS	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF_UV
B0	Vak 9 - veiligheidsoordeel maart 2019, default POP-waarden	WBN	9,120	Karakteristiek	Diep	1,273
B1	Vak 9 - Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden + laagste WS + hogere sterkte zand	WBN	9,150	Karakteristiek	Diep	1,323
B2	Vak 9 - Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden + hogere sterkte zand	WBN	9,150	Karakteristiek	Diep	1,323

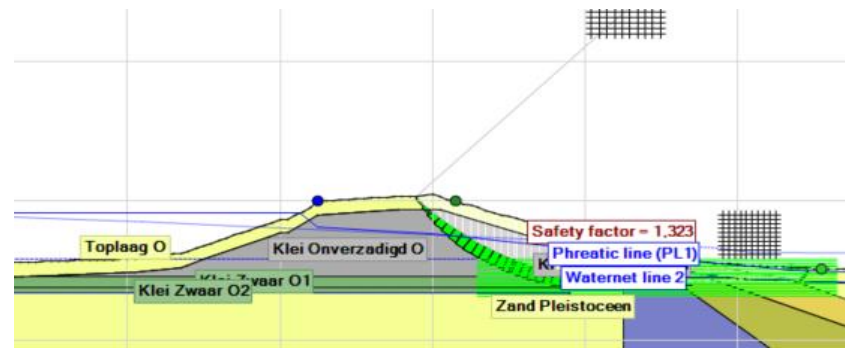
Nr	Beschrijving	Waterstand	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF
B0	Vak 9 - veiligheidsoordeel maart 2019, default POP-waarden	WBN	9,12	Karakteristiek	Diep	1,273



Nr	Beschrijving	Waterstand	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF
B1	Vak 9 - Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden + laagste WS + hogere sterkte zand	WBN	9,15	Karakteristiek	Diep	1,323



Nr	Beschrijving	Waterstand	Buitenwaterstand [m NAP]	Parameters	Glijvlak	SF
B2	Vak 9 - Veiligheidsoordeel maart 2019, met default POP-waarden + hogere sterkte zand	WBN	9,15	Karakteristiek	Diep	1,323



Nr	Beschrijving	Scenario WS	Buiten	Verkeers	Verzadiging	Parameters	SF_UV_Ondiep	SF_UV_Diep
			waterstand [m NAP]					
1	Basis-Kar	Dagelijks	4	15	Nee	Karakteristiek	1,882	n.v.t.
2	Basis-Gem	Dagelijks	4,00	15	Nee	Gemiddeld	1,988	n.v.t.
3	Basis-Kar	Uplift 1,2	6,33	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,665
4	Basis-Gem	Uplift 1,2	6,33	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,790
5	Basis-Kar	Uplift 1,0	6,53	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,577
6	Basis-Gem	Uplift 1,0	6,53	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,698
7	Basis-Kar	WBN	9,09	0	Nee	Karakteristiek	1,473	1,298
8	Basis-Gem	WBN	9,09	0	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,464
9	Basis-Kar	1 l/s/m	8,36	15	Nee	Karakteristiek	n.v.t.	1,397
10	Basis-Gem	1 l/s/m	8,36	15	Nee	Gemiddeld	n.v.t.	1,539
15	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	1 l/s/m	8,36	0	Ja	Karakteristiek	1,138	n.v.t.
15	Waterspanning Optie 2 - Hydrostatisch 1m + Interpolatie	1 l/s/m	8,36	0	Ja	Gemiddeld	1,205	1,272

Nr
2,00

Basis-Gem
Dagelijks

Buitenwaterstand [m NAP]
4

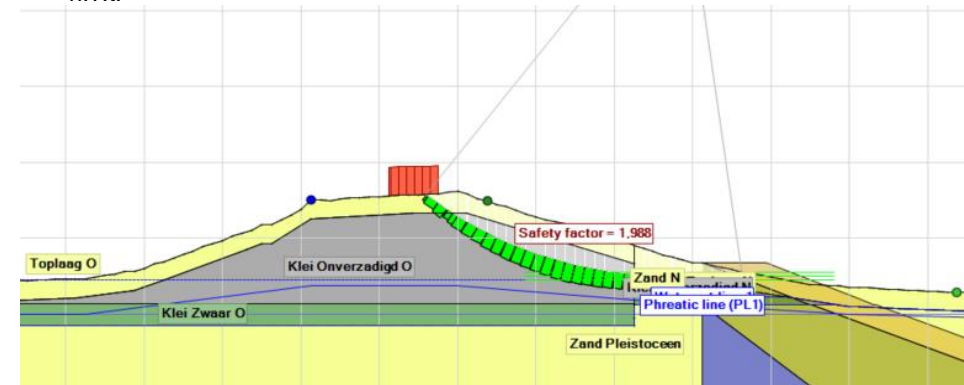
Maatgevend glijvlak
Diep

SF Ondiep
1,988

Glijkvlak Ondiep

SF Diep
n.v.t.

Glijkvlak Diep



Nr
4,00

Basis-Gem
Uplift 1,2

Buitenwaterstand [m NAP]
6,33

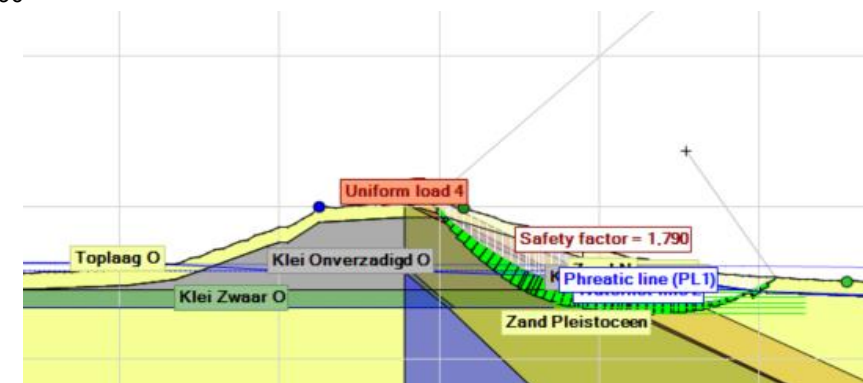
Maatgevend glijvlak
Diep

SF Ondiep
n.v.t.

Glijkvlak Ondiep

SF Diep
1,790

Glijkvlak Diep



Nr
6,00

Basis-Gem
Uplift 1,0

Buitenwaterstand [m NAP]
6,53

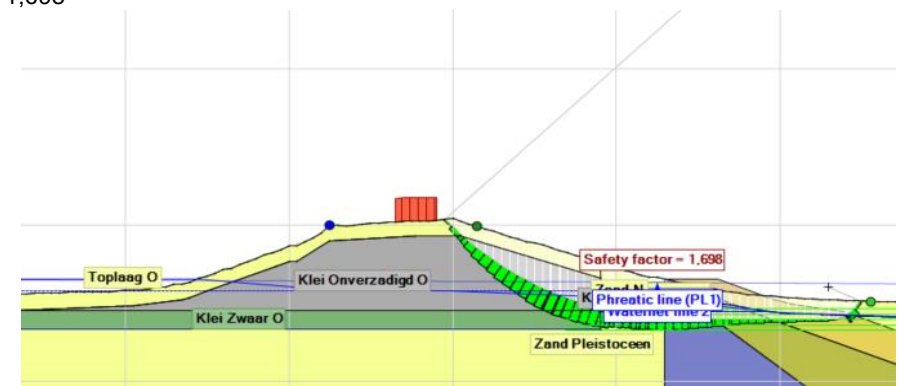
Maatgevend glijvlak
Diep

SF Ondiep
n.v.t.

Glijkvlak Ondiep

SF Diep
1,698

Glijkvlak Diep



Nr
8,00

SF Ondiep
n.v.t

Glijkvlak Ondiep

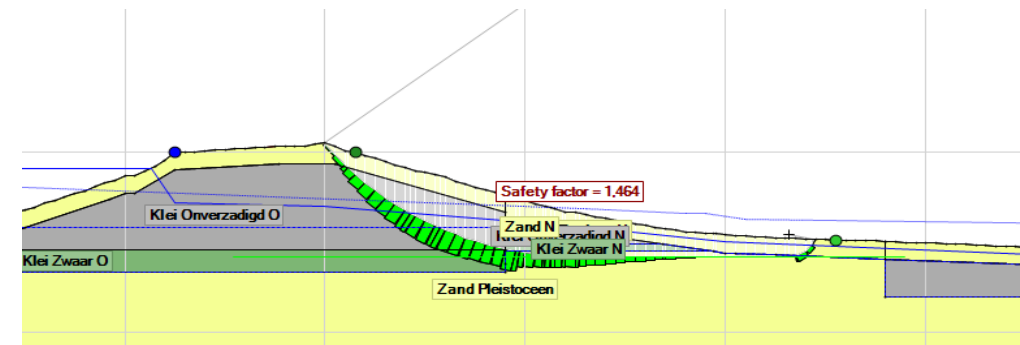
SF Diep
1,464

Glijkvlak Diep

Basis-Gem
WBN

Buitenwaterstand [m NAP]
9,09

Maatgevend glijvlak
Diep



Nr
10,00

SF Ondiep
n.v.t

Glijkvlak Ondiep

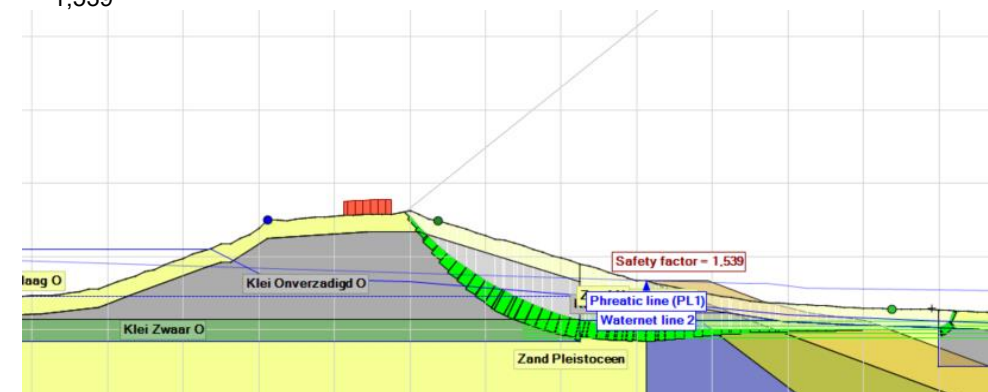
SF Diep
1,539

Glijkvlak Diep

Basis-Gem
1 l/s/m

Buitenwaterstand [m NAP]
8,36

Maatgevend glijvlak
Diep



Nr
16,00

SF Ondiep
1,205

Glijkvlak Ondiep

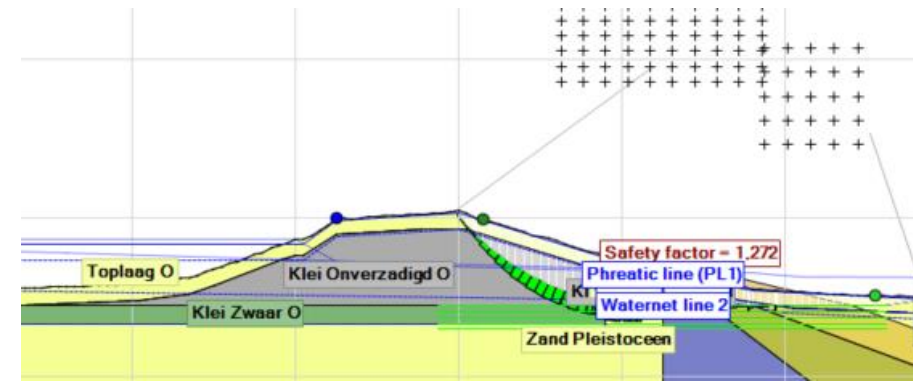
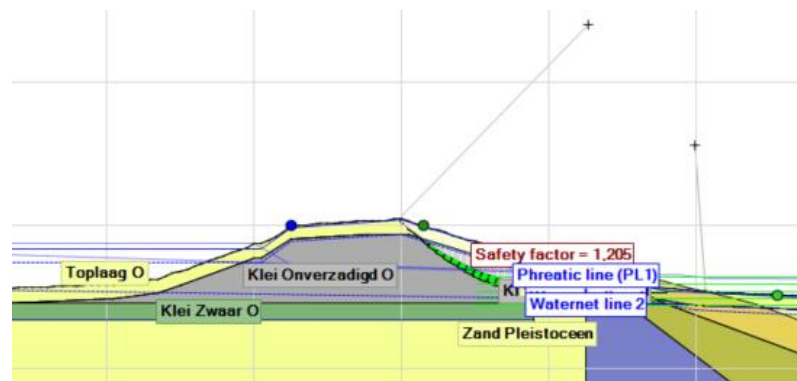
SF Diep
1,272

Glijkvlak Diep

Basis-Gem
verzadigd

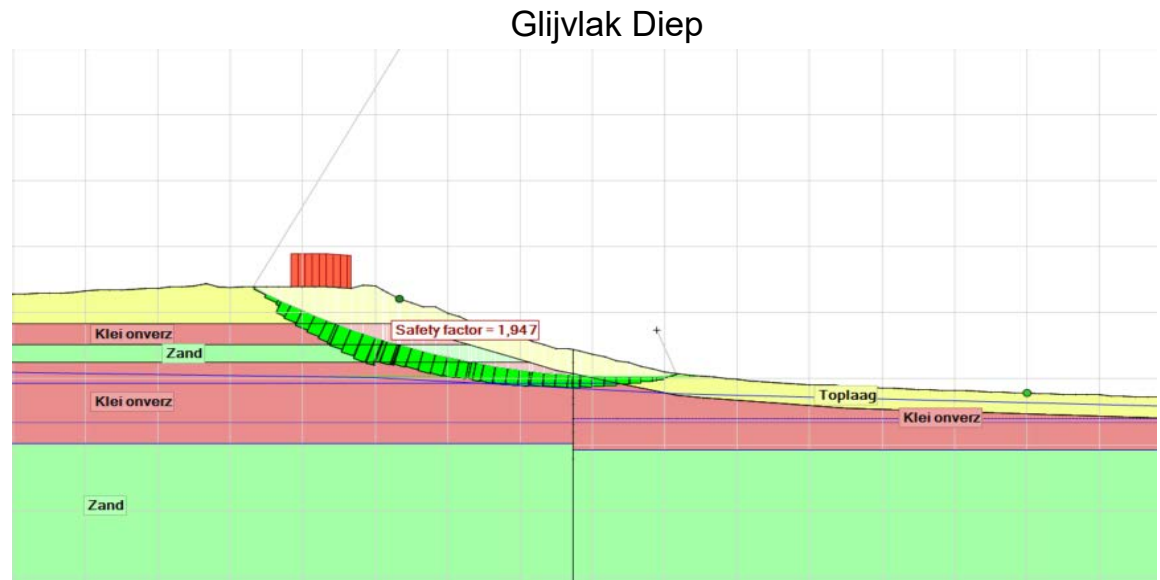
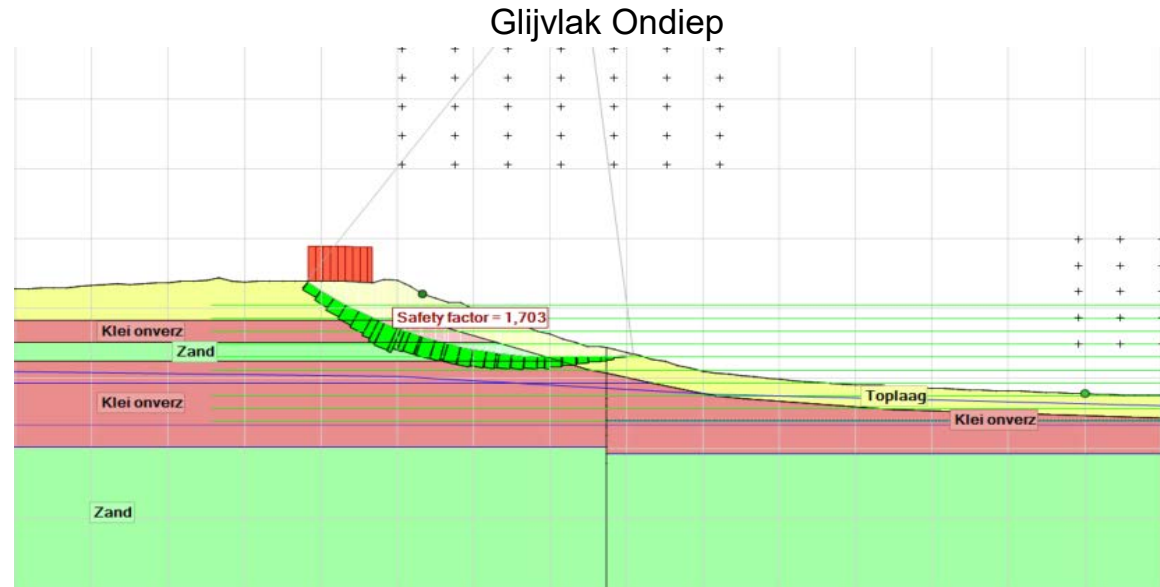
Buitenwaterstand [m NAP]
8,36

Maatgevend glijvlak
Diep



Bijlage F – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP80 fase 1

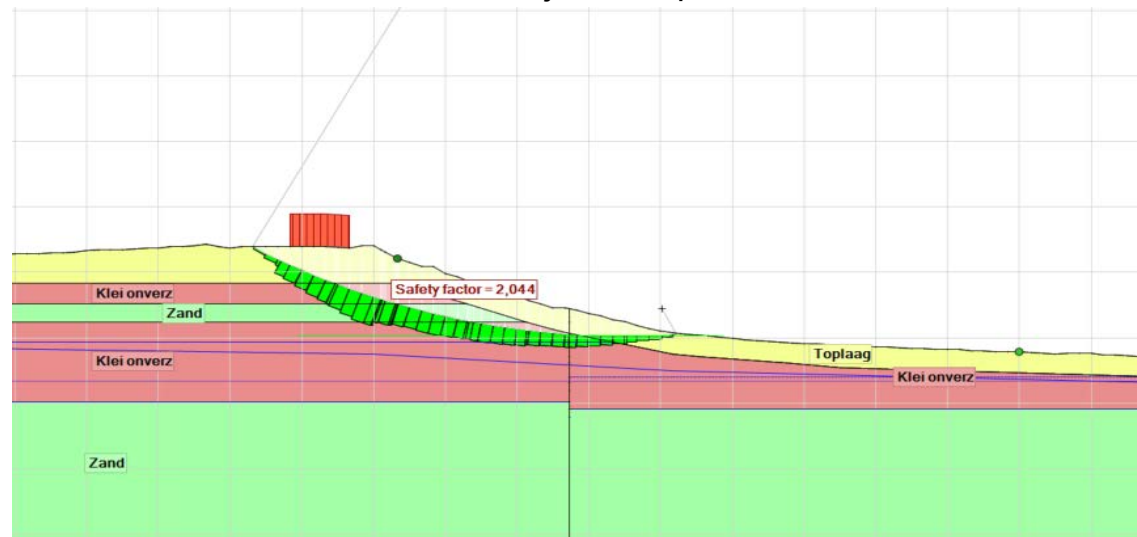
Nr. 1 Dagelijks
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
5,82
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,703
SF Diep
1,947



Nr. 2 Dagelijks
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
5,82
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
2,044

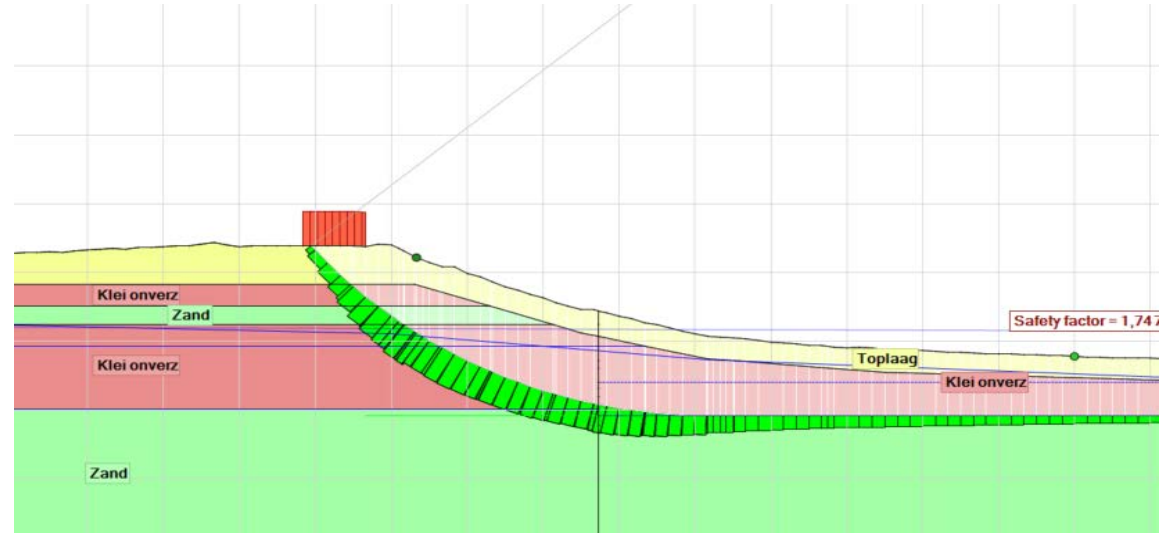
Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep

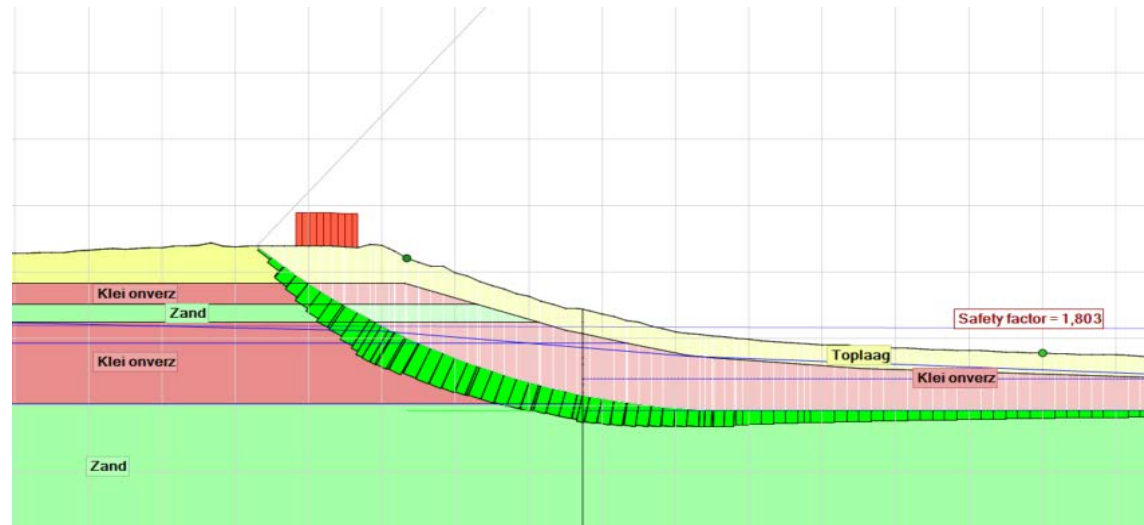


Nr. 3 Uplift 1,2
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
6,73
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,747
SF Diep
1,803

Glijvlak Ondiep



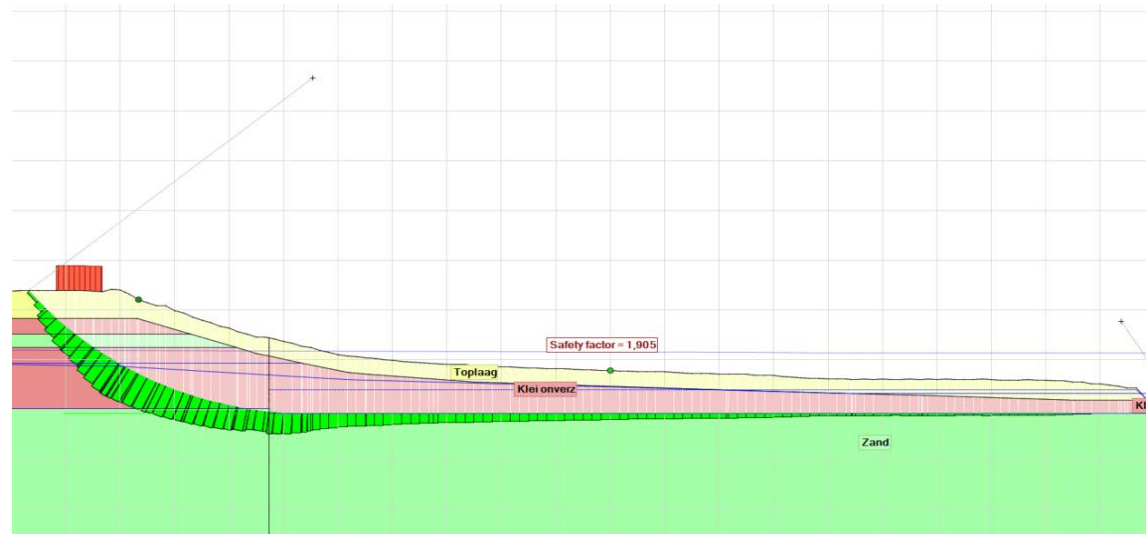
Glijvlak Diep



Nr. 4 Uplift 1,2
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
6,73
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,905

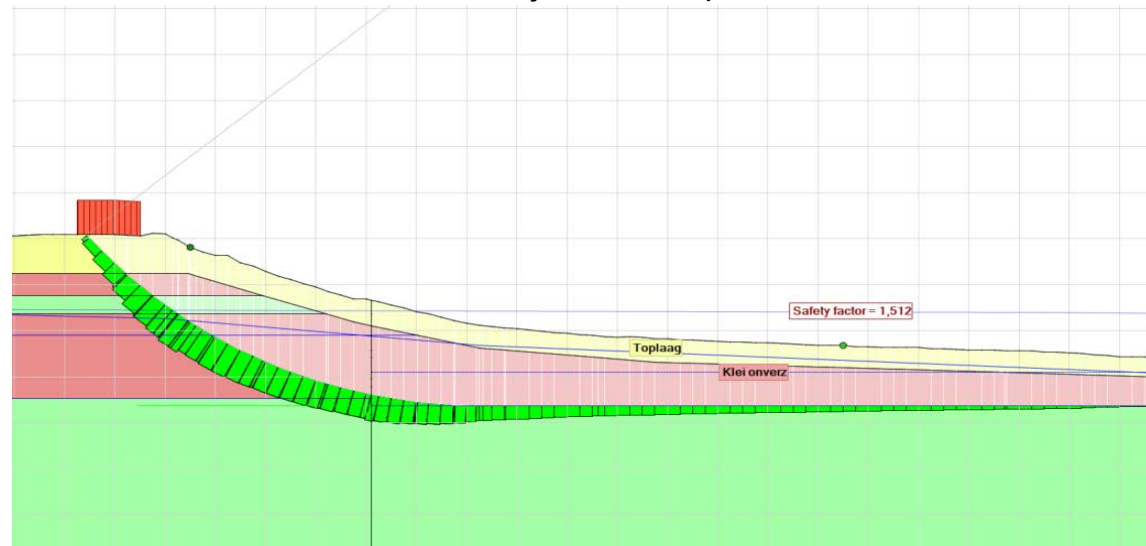
Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep

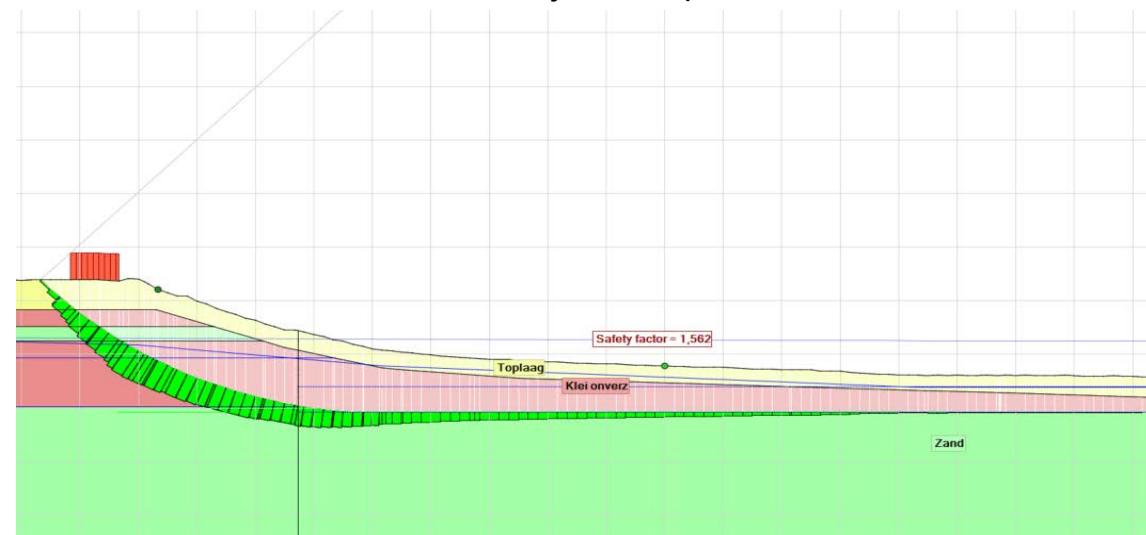


Nr. 5 Uplift 1,0
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
7,10
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,512
SF Diep
1,562

Glijvlak Ondiep



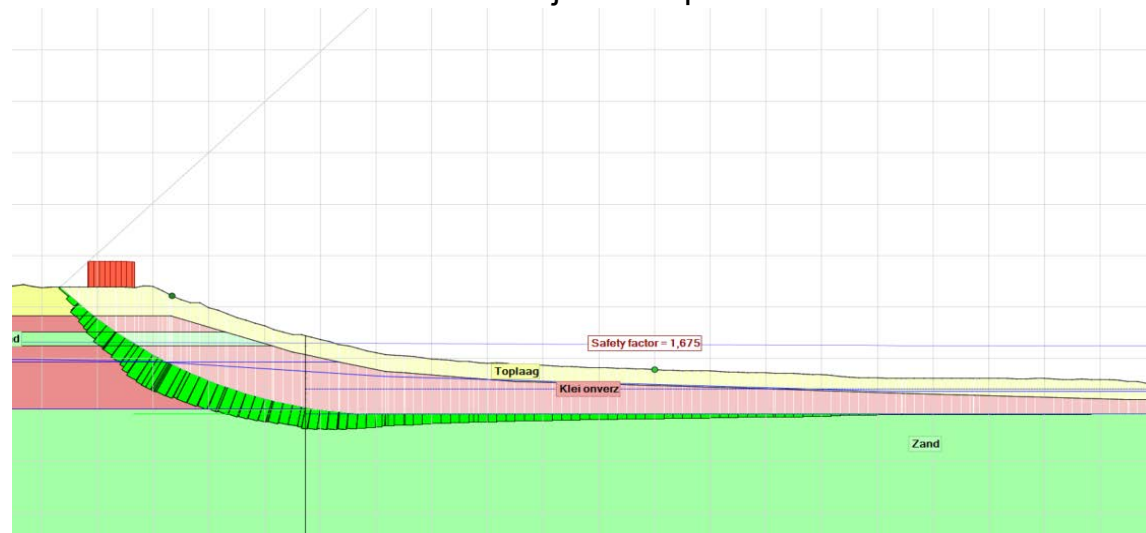
Glijvlak Diep



Nr. 6 Uplift 1,0
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
7,10
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,675

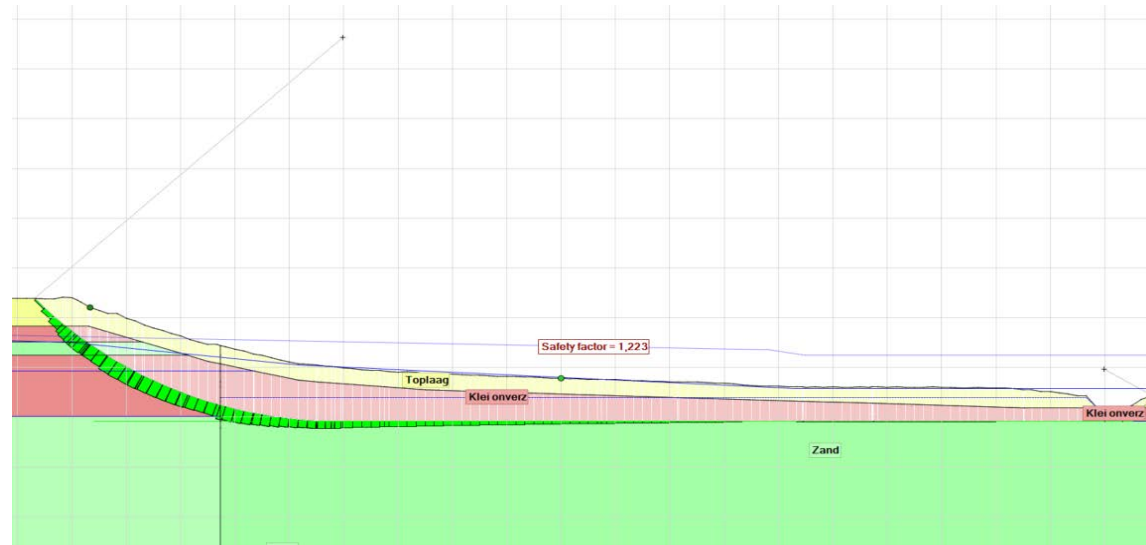
Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep



Nr. 7 WBN
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
9,01
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,223
SF Diep
nvt

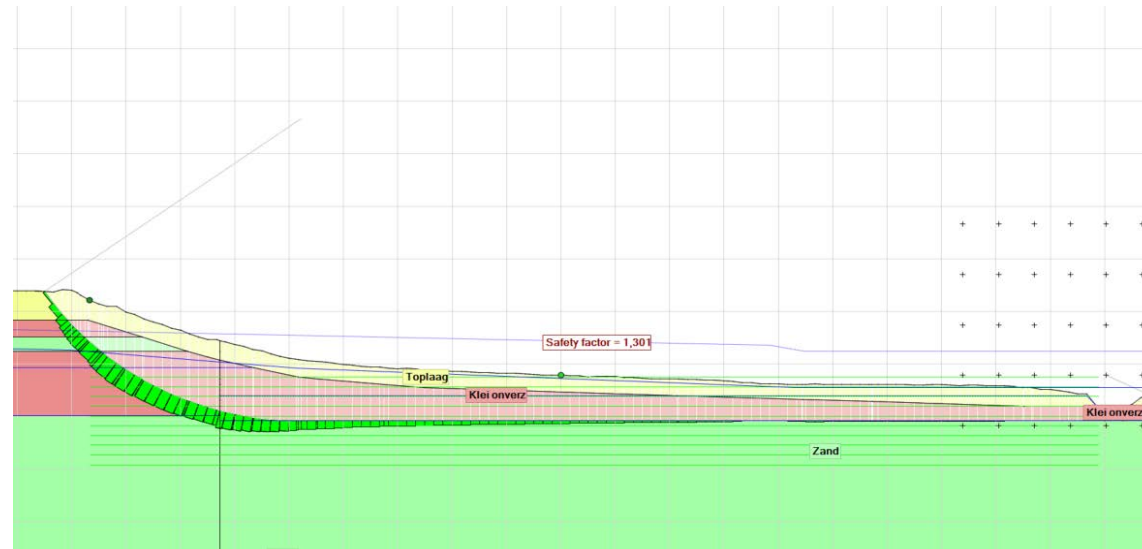
Glijvlak Ondiep



Glijvlak Diep

Nr. 8 WBN
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
9,01
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,301
SF Diep
nvt

Glijvlak Ondiep

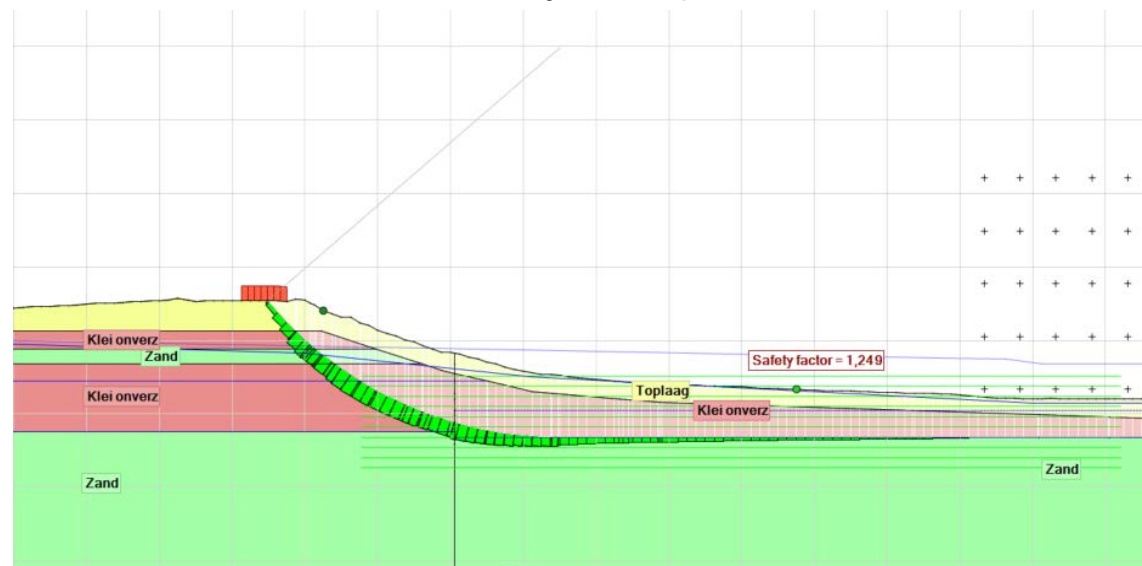


Glijvlak Diep

Nr. 9 1 l/s/m
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,66
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,249

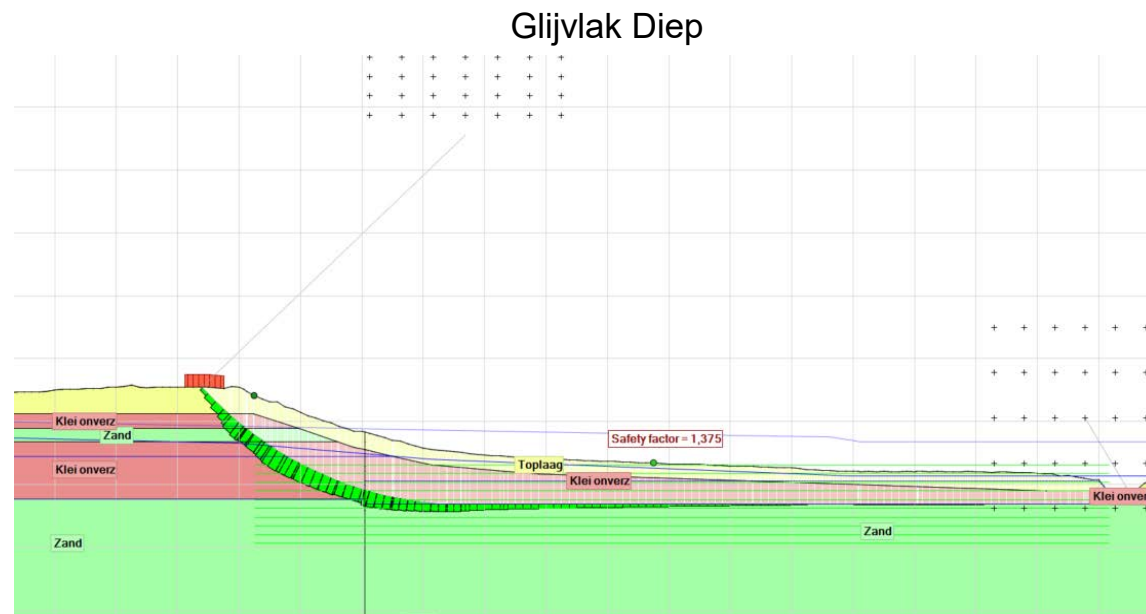
Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep



Nr. 10 1 l/s/m
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,66
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,375

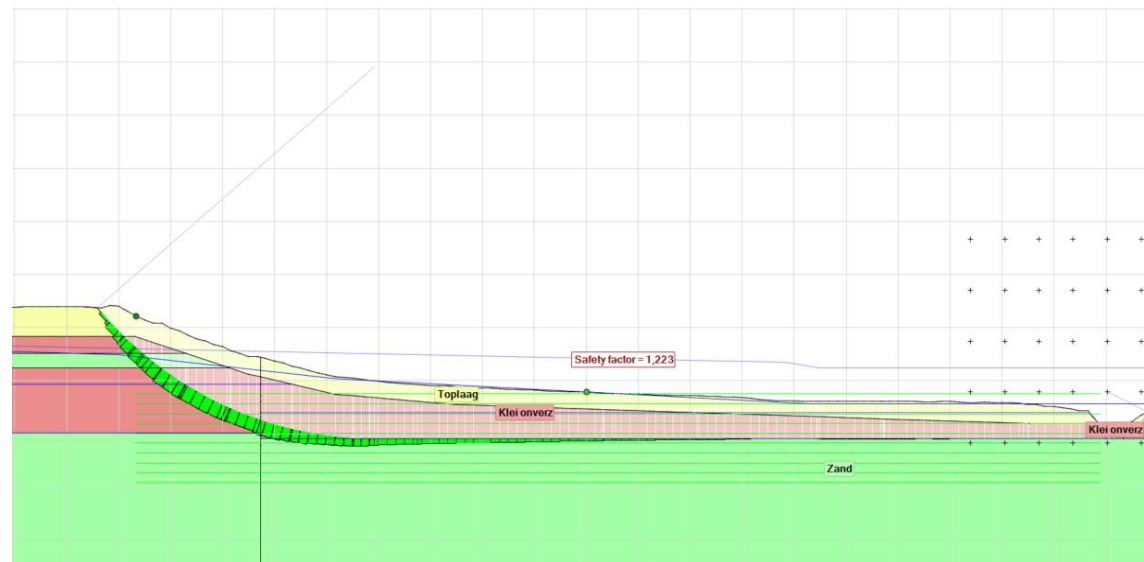
Glijvlak Ondiep



Nr. 11 10 l/s/m
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,91
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,223

Glijvlak Ondiep

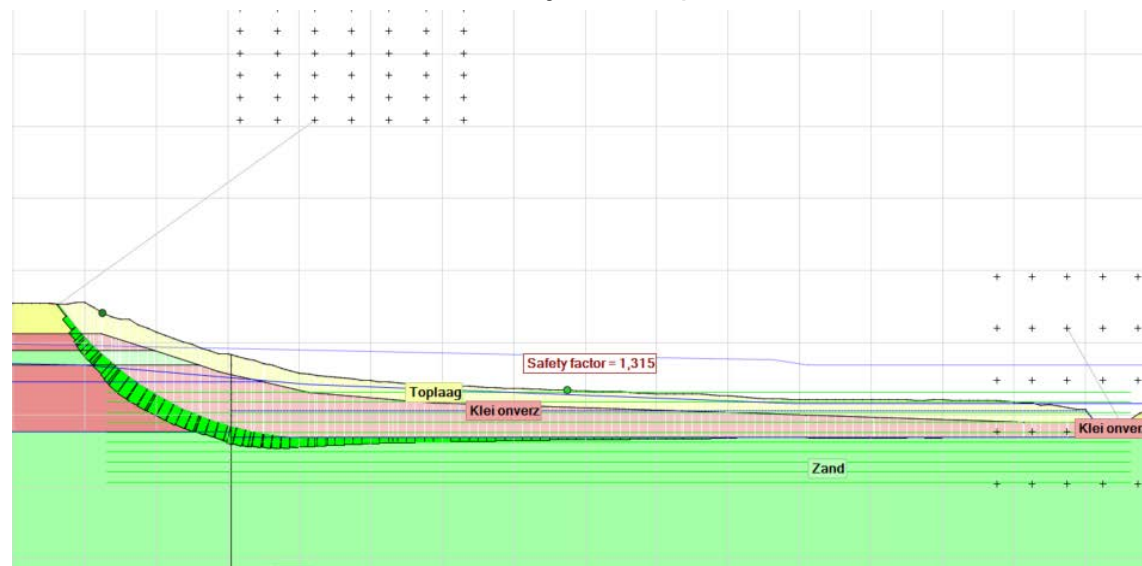
Glijvlak Diep



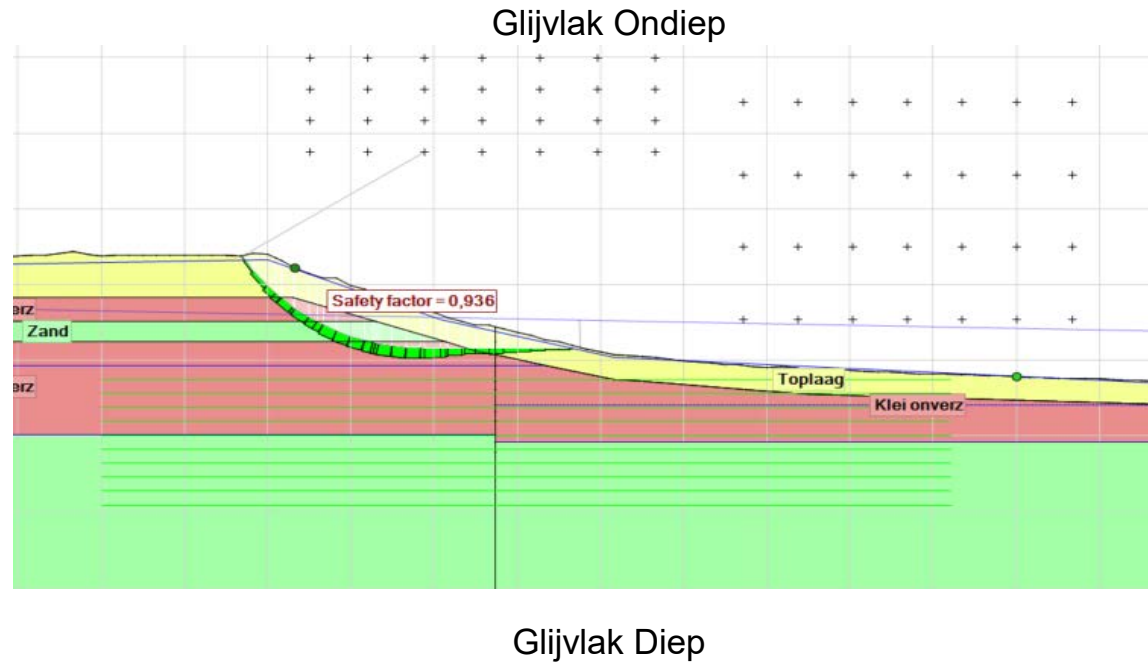
Nr. 12 10 l/s/m
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,91
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,315

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep



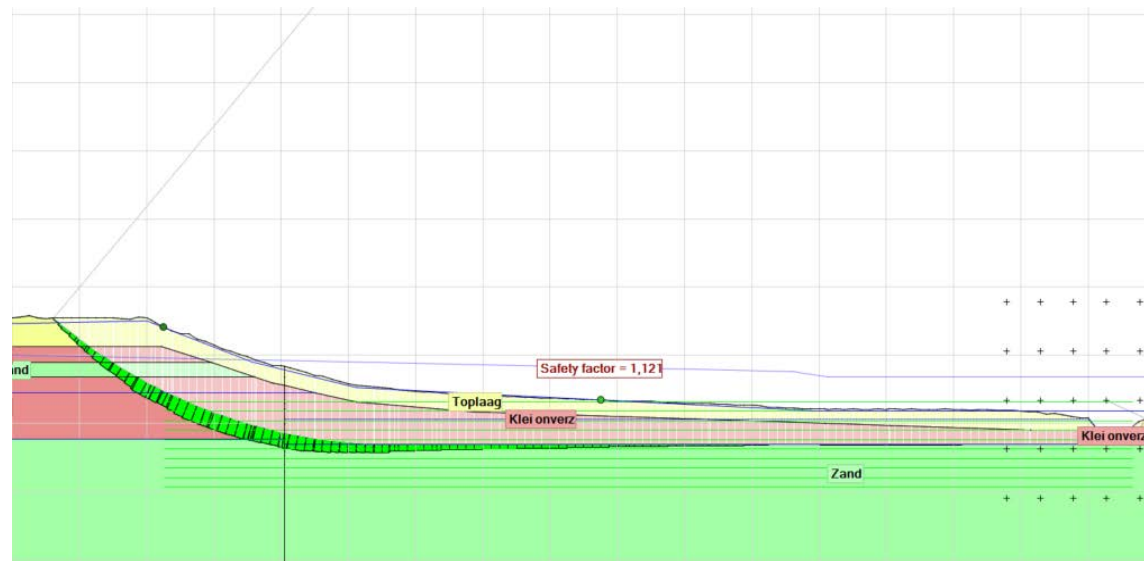
Nr. 13 10 l/s/m Optie 1
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,91
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
0,936
SF Diep
nvt



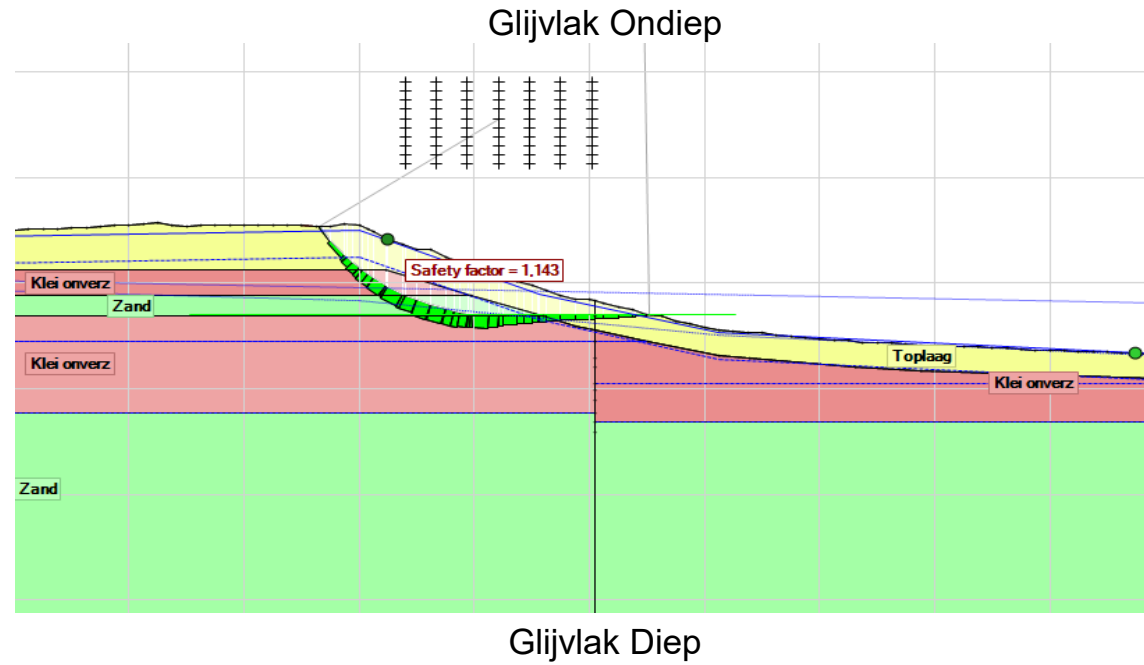
Nr. 14 10 l/s/m Optie 1
Gemiddeld Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,91
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,121

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep

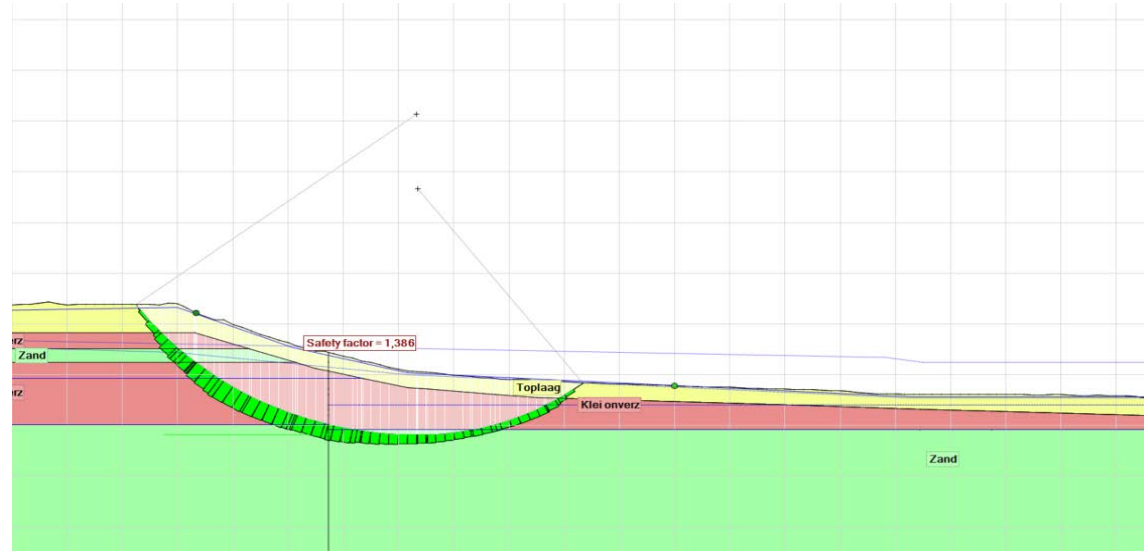


Nr. 15 10 l/s/m Optie 2
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,91
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,143
SF Diep
nvt

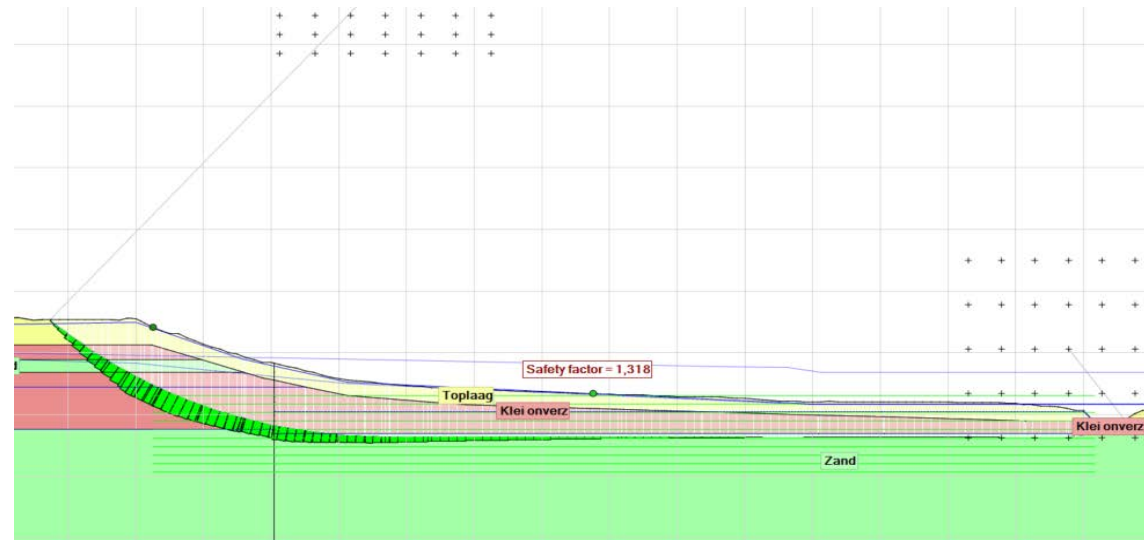


Nr. 16 10 l/s/m Optie 3
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,91
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
1,386
SF Diep
1,318

Glijvlak Ondiep



Glijvlak Diep

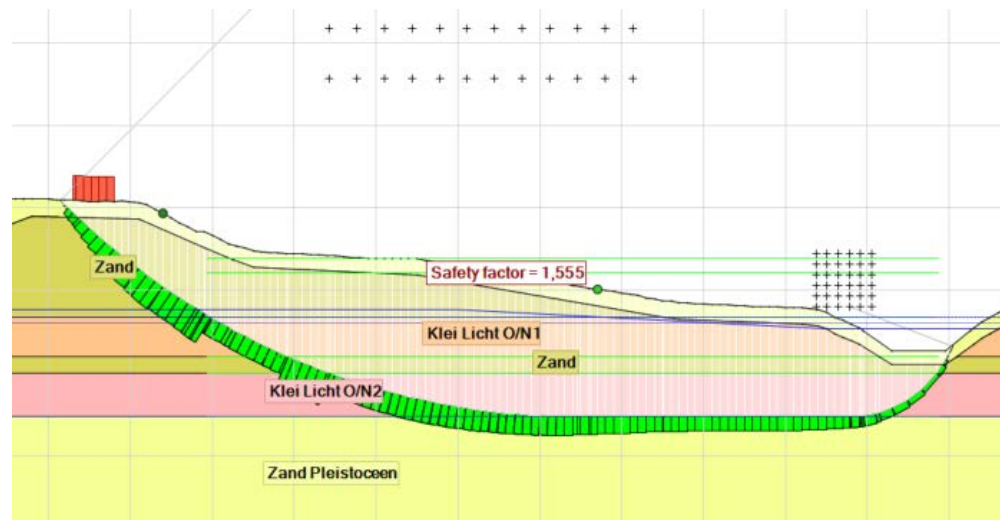


Bijlage G – Uitvoer gevoeligheidsberekeningen DP104 fase 1

Nr. 1 Dagelijks
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
3,00
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,555

Glijvlak Ondiep

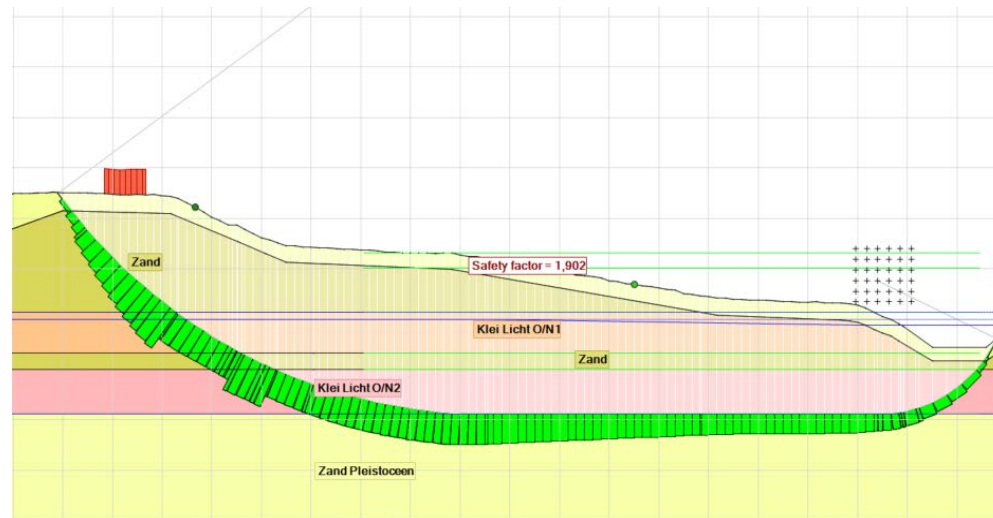
Glijvlak Diep



Nr. 2 Dagelijks
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
3,00
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,902

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep

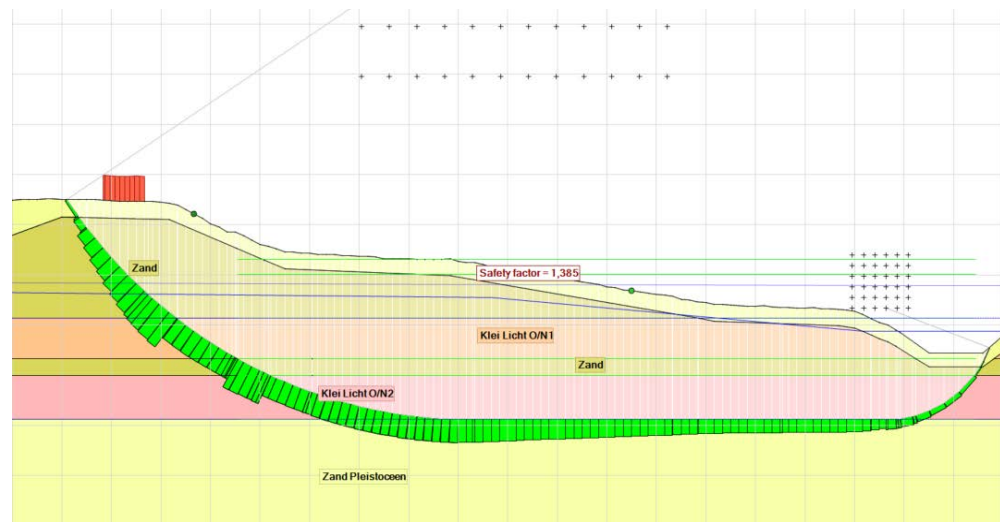


Nr. 3 Uplift 1,2
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
5,64
Maatgevend glijvlak

Glijvlak Ondiep

SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,385

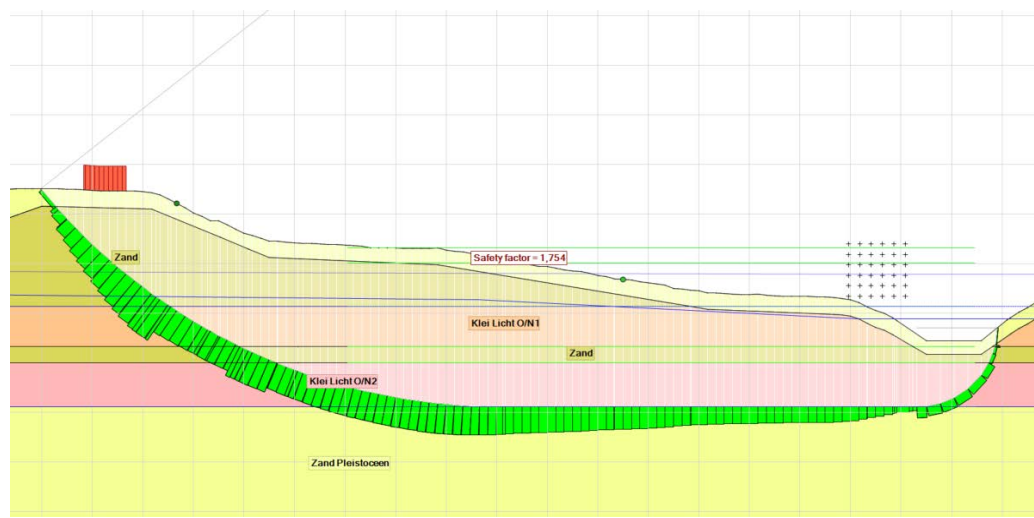
Glijvlak Diep



Nr. 4 Uplift 1,2
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
5,64
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,754

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep

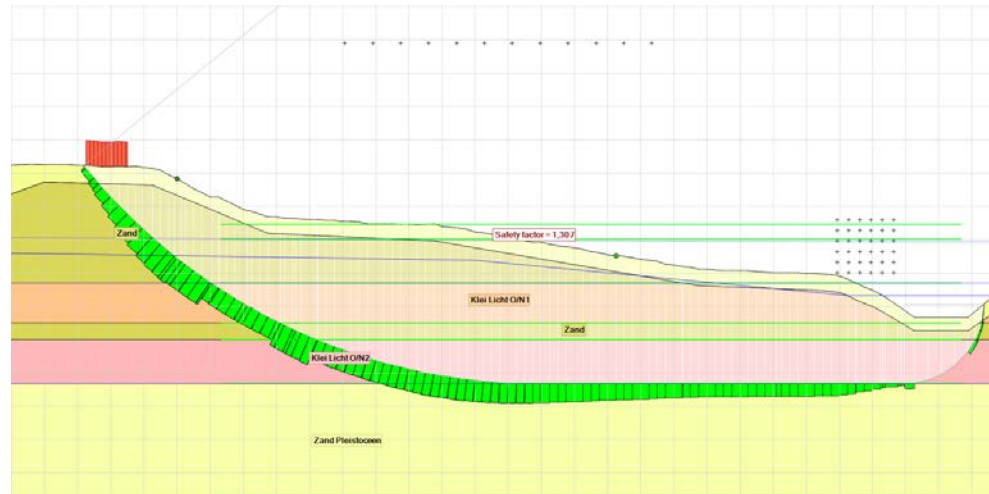


Nr. 5 Uplift 1,0
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
6,23
Maatgevend glijvlak

SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,307

Glijvlak Ondiep

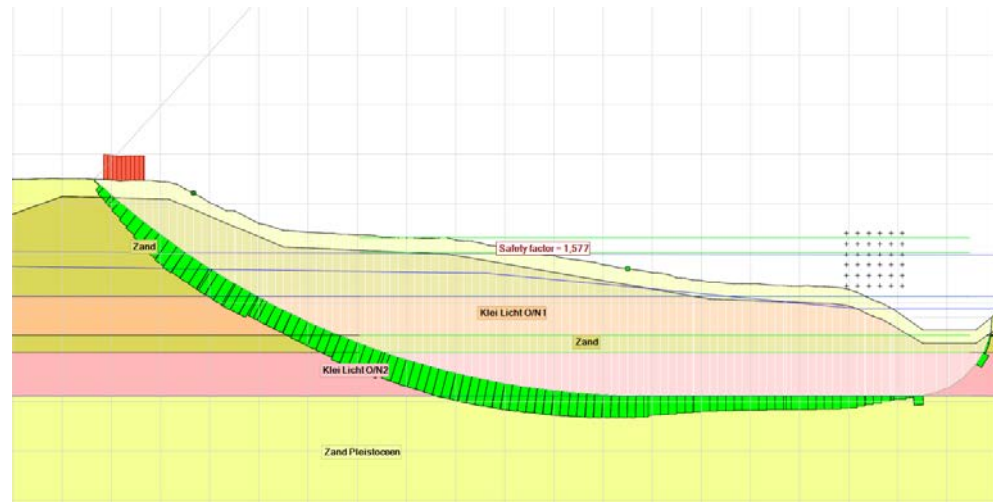
Glijvlak Diep



Nr. 6 Uplift 1,0
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
6,23
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,577

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep



Nr. 7 WBN

Karakteristiek Onverzadigd

Buitenwaterstand [m NAP]

8,76

Maatgevend glijvlak

SF Ondiep

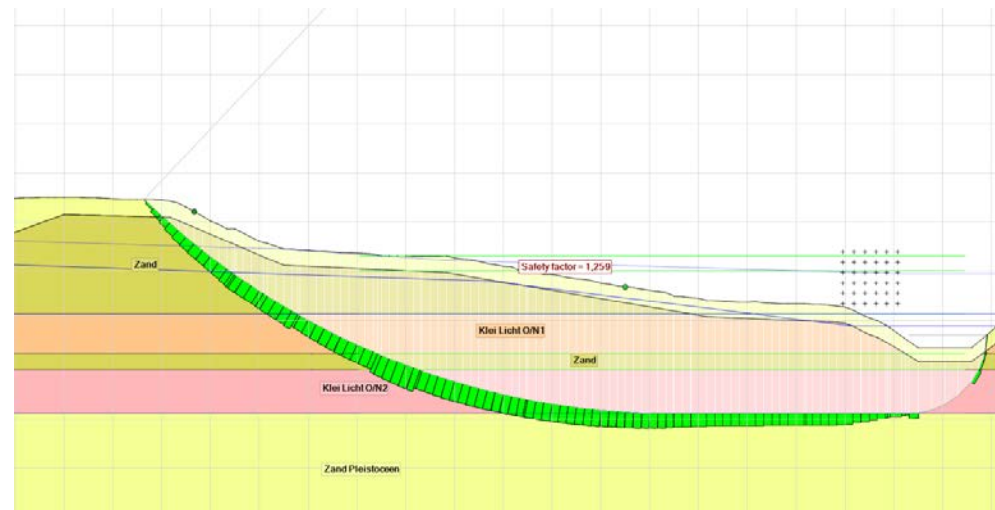
nvt

SF Diep

1,259

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep



Nr. 8 WBN

Gemiddeld Onverzadigd

Buitenwaterstand [m NAP]

8,76

Maatgevend glijvlak

Diep

SF Ondiep

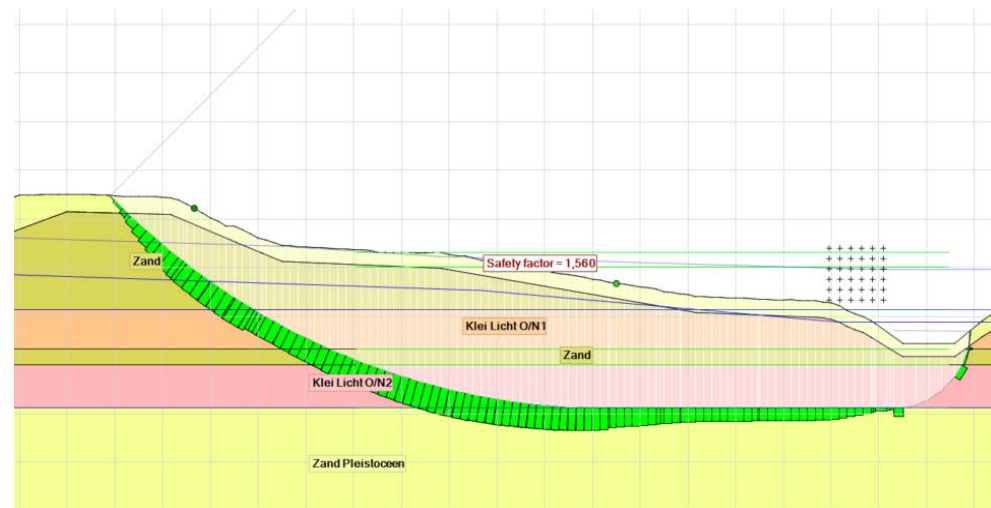
nvt

SF Diep

1,560

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep



Nr. 9 1 l/s/m

Karakteristiek Onverzadigd

Buitenwaterstand [m NAP]

8,38

Maatgevend glijvlak

SF Ondiep

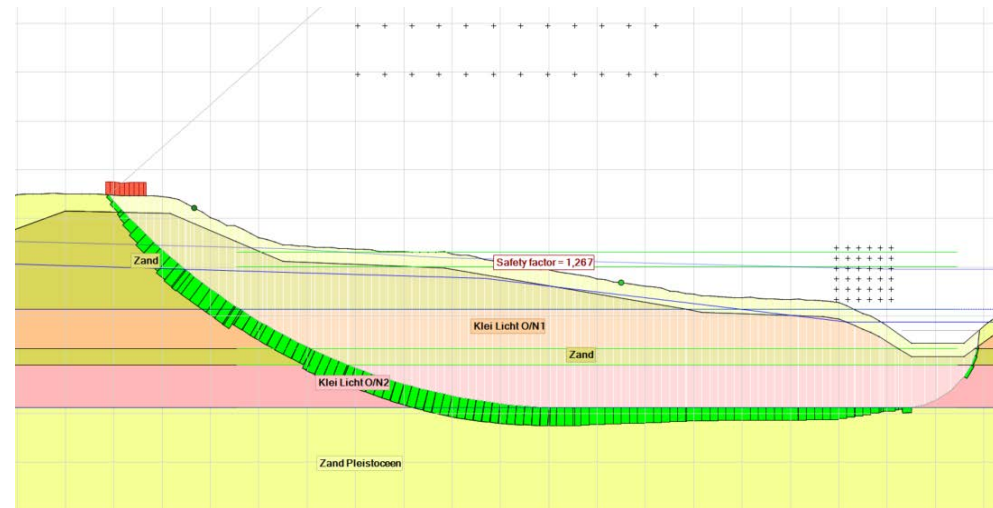
nvt

SF Diep

1,267

Glijvlak Ondiep

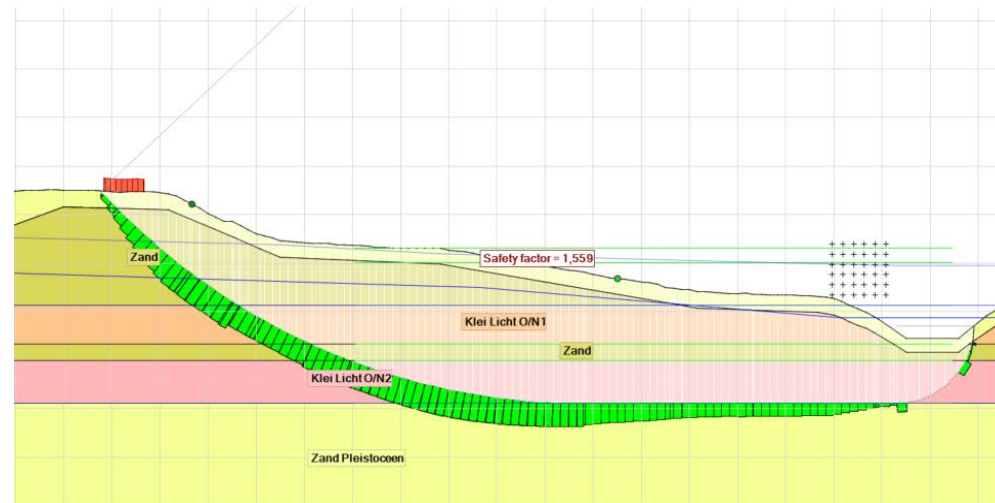
Glijvlak Diep



Nr. 10 1 l/s/m
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,38
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,559

Glijvlak Ondiep

Glijvlak Diep

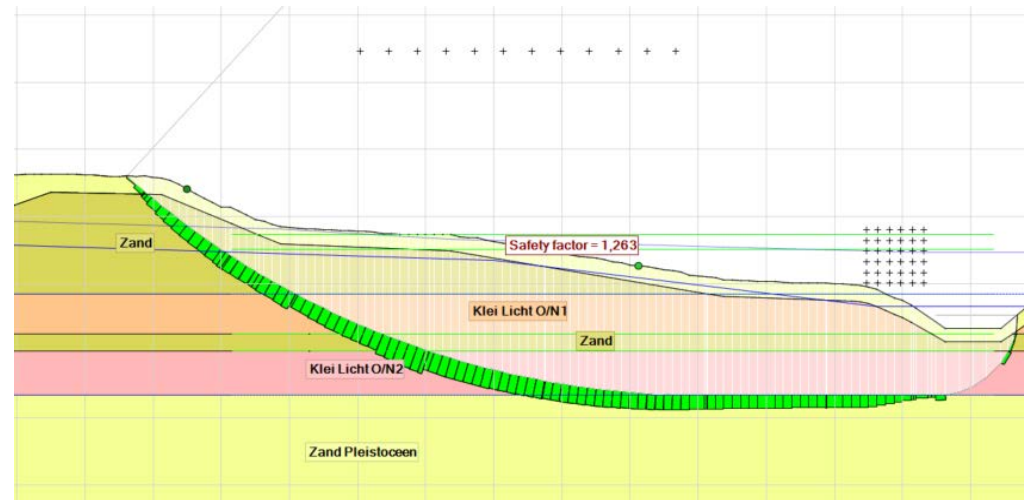


Nr. 11 10 l/s/m
Karakteristiek Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,60
Maatgevend glijvlak

Glijvlak Ondiep

SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,263

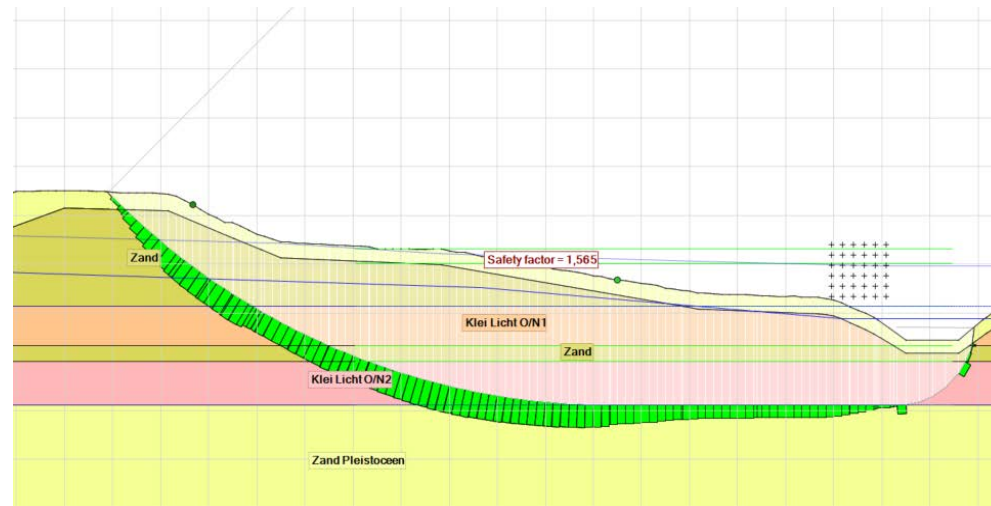
Glijvlak Diep



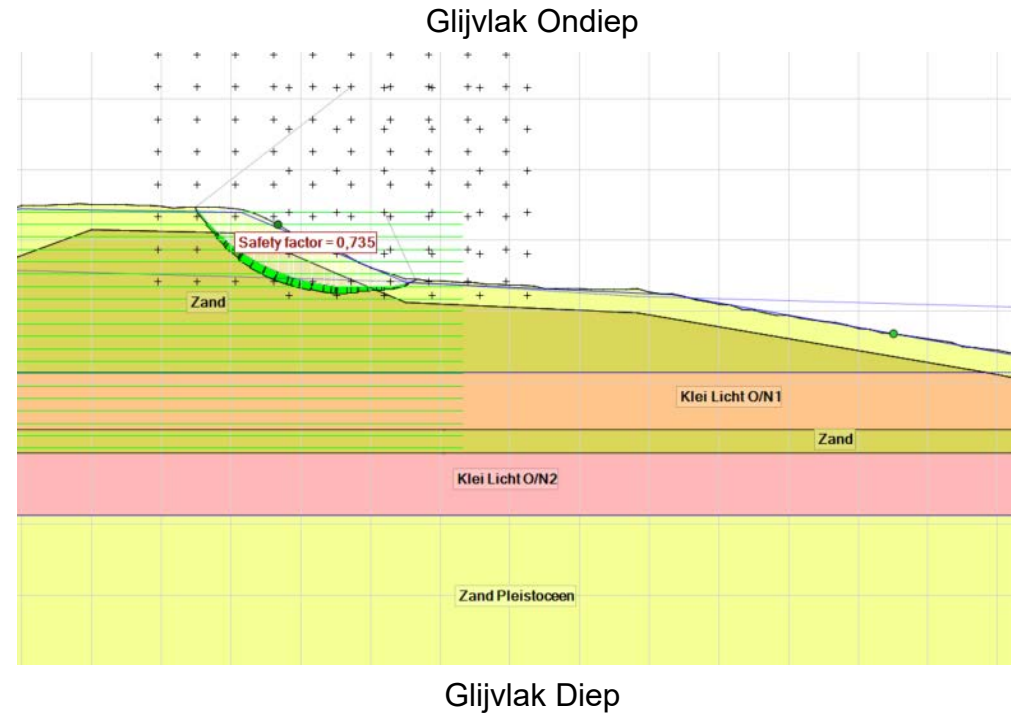
Nr. 12 10 l/s/m
Gemiddeld Onverzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,60
Maatgevend glijvlak
Diep
SF Ondiep
nvt
SF Diep
1,565

Glijvlak Ondiep

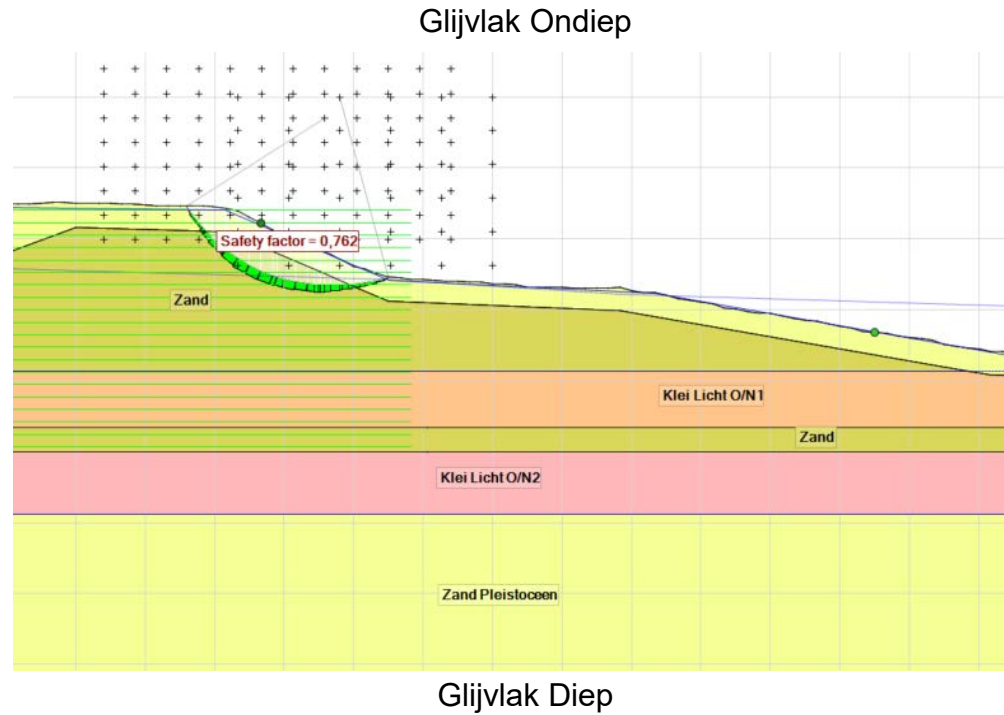
Glijvlak Diep



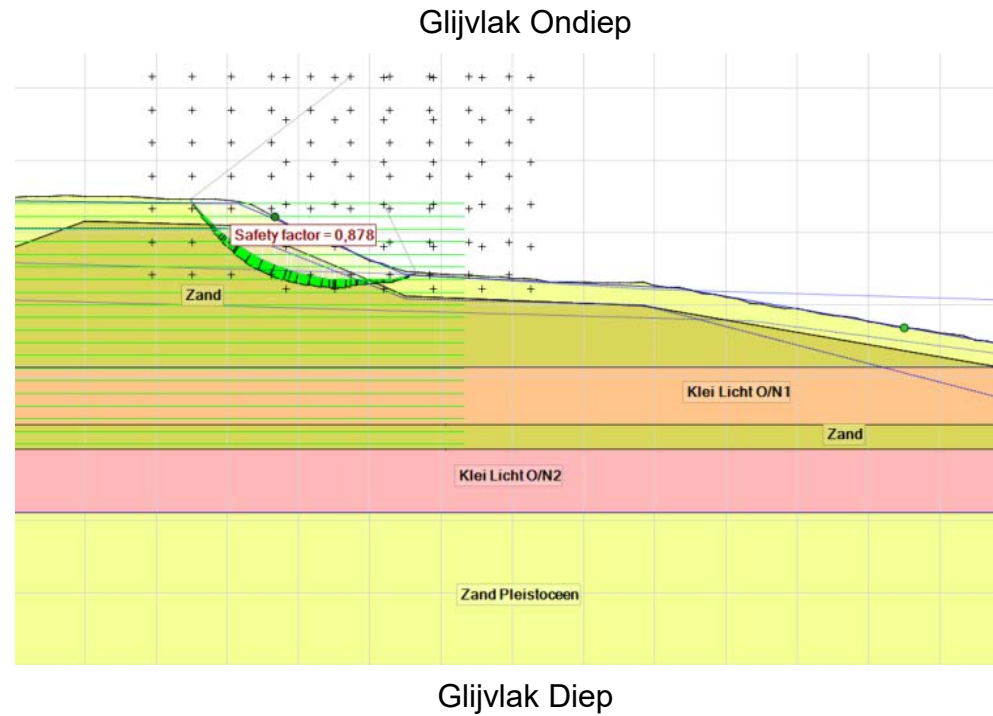
Nr. 13 10 l/s/m Optie 1
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,60
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
0,735
SF Diep
nvt



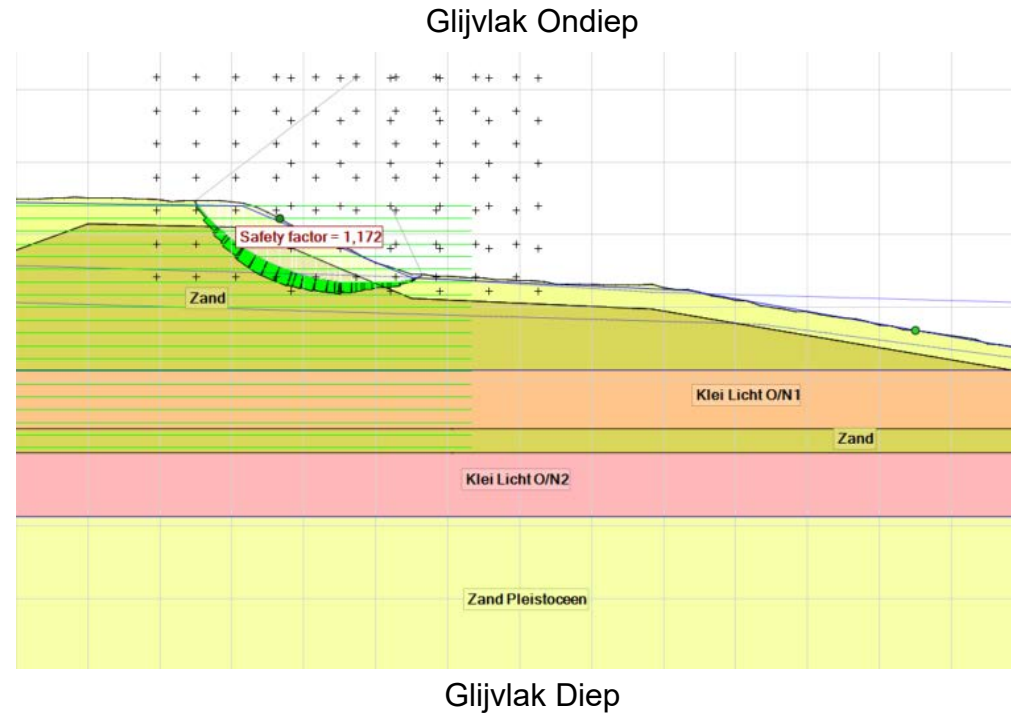
Nr. 14 10 l/s/m Optie 1
Gemiddeld Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,60
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
0,762
SF Diep
nvt



Nr. 15 10 l/s/m Optie 2
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,60
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
0,878
SF Diep
nvt



Nr. 16 10 l/s/m Optie 3
Karakteristiek Verzadigd
Buitenwaterstand [m NAP]
8,60
Maatgevend glijvlak
Ondiep
SF Ondiep
1,172
SF Diep
nvt



Bijlage H – Fragility curves kans op overslag gegeven de
waterstand

MEMO

Aan: de heer L. Kwakman (Arcadis)
Van: Robin Nicolai
Datum: 8 oktober 2019
Projectnummer: PR4129.10
Onderwerp: Fragility curves voor 2 dijkpalen normtraject 44-1

1 Introductie

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (HdSR) heeft voor normtraject 44-1 probabilistische analyses uitgevoerd voor het faalmechanisme macro-instabiliteit binnenwaarts. Uit deze analyses blijkt dat de verzadigde situatie van de dijk als gevolg van hoge overslagdebieten maatgevend is voor de bepaling van de sterkte van de dijk.

Het is daarom van belang om meer inzicht te krijgen in de waterstandstatistiek in combinatie met optredende overslagdebieten. Dit kan gebeuren door fragility curves af te leiden voor golfoverslag. Met deze fragility curves kan de conditionele overschrijdingskans van een bepaald kritiek overslagdebiet gegeven de waterstand worden uitgedrukt. HKV heeft voor 2 dijkpalen langs de Lek en Nederrijn fragility curves afgeleid voor de kritieke overslagdebieten 1 en 10 l/s/m. Deze notitie beschrijft de aanpak en de resultaten.

2 Aanpak

De gehanteerde werkwijze is als volgt:

- Selectie dijkpalen
In overleg met het waterschap zijn 2 dijkpalen van het normtraject 44-1 langs de Nederrijn en Lek geselecteerd (zie Figuren 1 en 2 en zie Tabel 1).
- Gegevensverzameling
Voor de 2 dijkpalen zijn de actuele dijkhoogte, de dijknormaal en het dwarsprofiel van de dijk toegeleverd door het consortium Arcadis en Sweco (zie Tabel 1).
De actuele dijkhoogtes zijn ruim hoger dan het HBN met een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m bij de norm (24% van $1/10.000^e$ ofwel $1/41.667^e$ per jaar) in het zichtjaar 2075.
- Koppeling gegevens aan Hydra-NL.
Ten behoeve van de golfoverslagberekeningen zijn de dijkpalen en bijbehorende dwarsprofielen (inclusief dijknormaal) aan Hydra-NL locaties gekoppeld (zie Tabel 1).
- Opstellen fragility curves
De conditionele faalkans op golfoverslag gegeven de lokale waterstand is bepaald voor twee

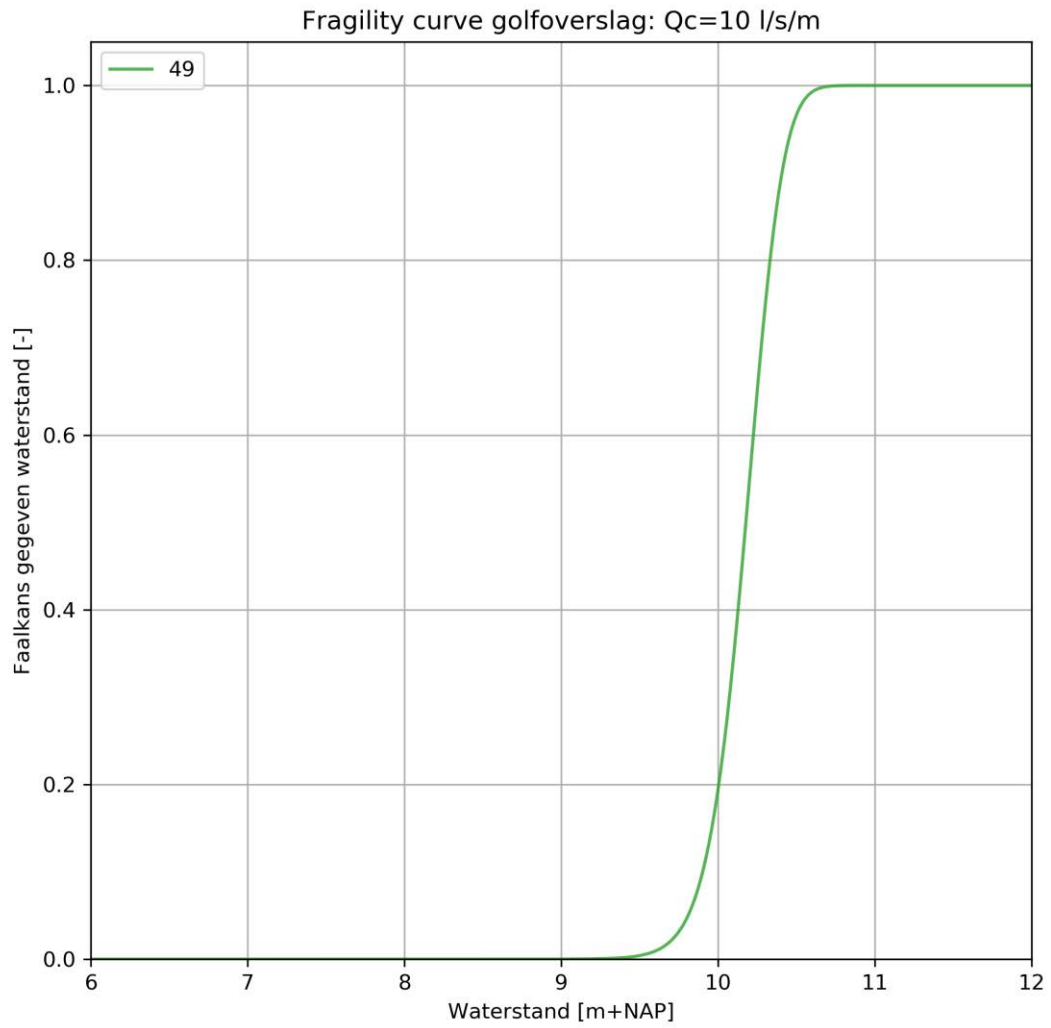
kritieke overslagdebieten: 1 en 10 l/s/m. Hiertoe zijn nabewerkingen op resultaten van golfoverslagberekeningen met Hydra-NL uitgevoerd.

Nr	Dijkpaal	Hydra-locatie DPa database	Actuele kruinhoogte	Dijknormaal
1	49	Dkr 44 Nederrijn km 922-923 Loc 7_156026_443084	10.26	178
2	100	Dkr 44 Lek km 929-930 Loc 3_150979_441975	10.40	200

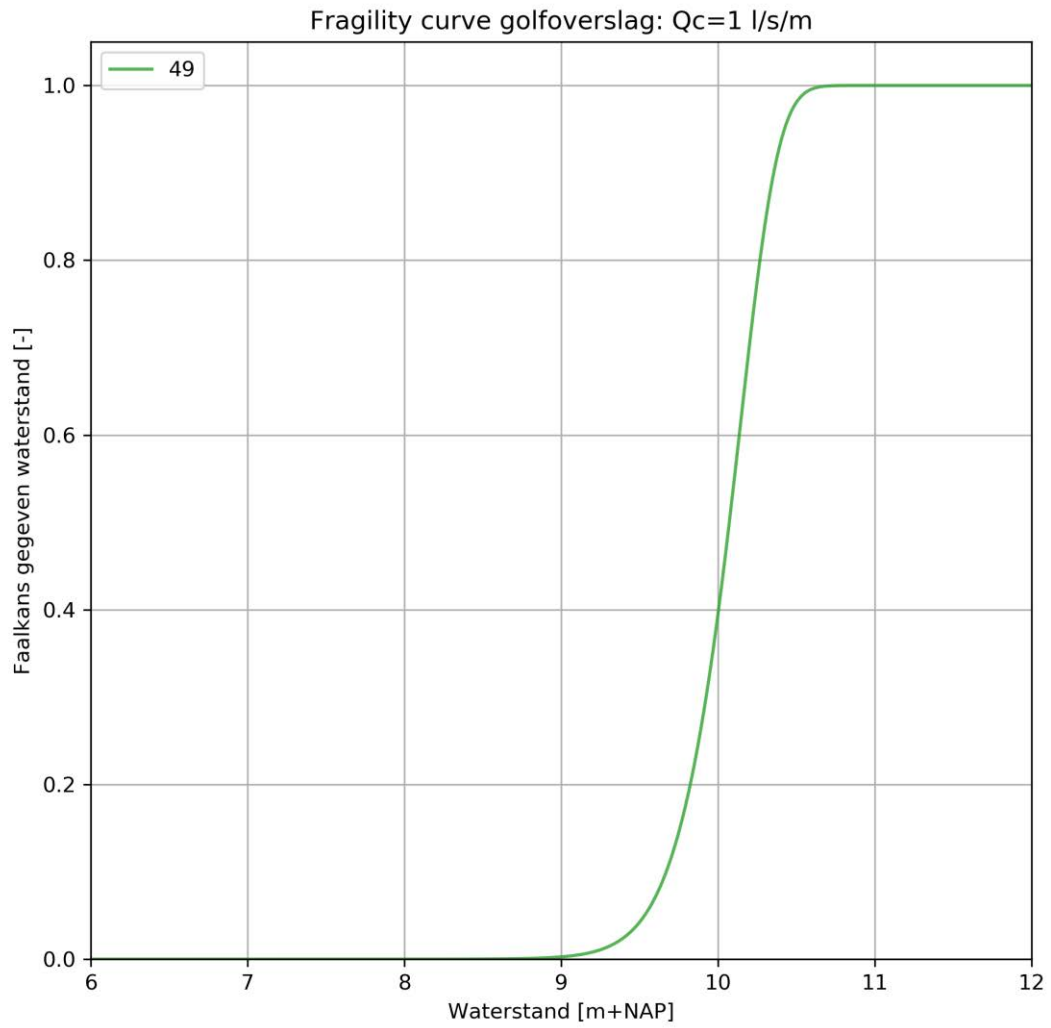
Tabel 1 Ontwerphoogte en dijknormaal van de geselecteerde dijken en koppeling met Hydra-NL locaties

3 Resultaten

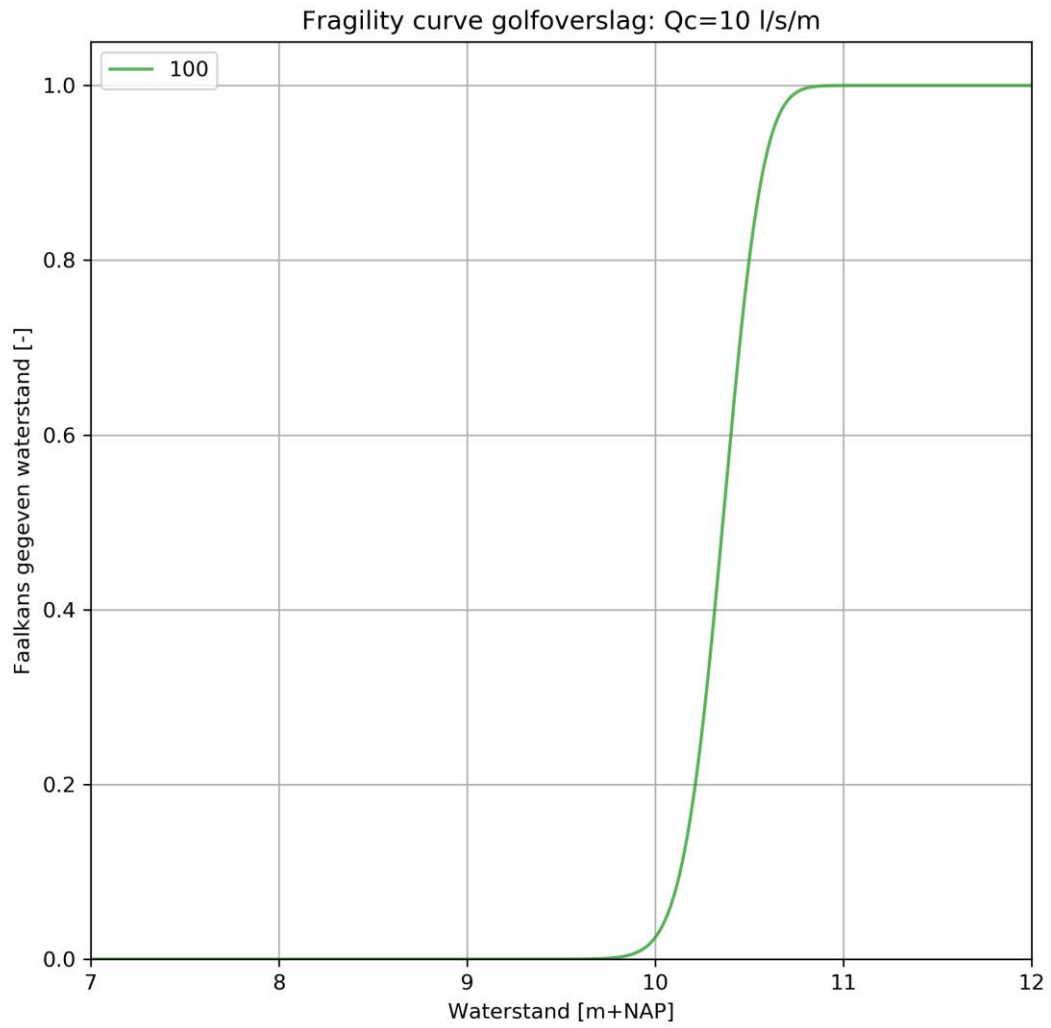
In Figuur 1 t/m Figuur 4 staan voor iedere dijkpaal de grafieken van de fragility curves voor de kritieke overslagdebieten 1 en 10 l/s/m. Twee grafieken per dijkpaal dus. Op de horizontale as staat de waterstand [m+NAP], op de verticale as staat de faalkans ofwel de kans op overschrijding van het kritieke overslagdebiet (gegeven de lokale waterstand). Excelbestanden met de fragility curves zijn als bijlage toegevoegd aan deze notitie.



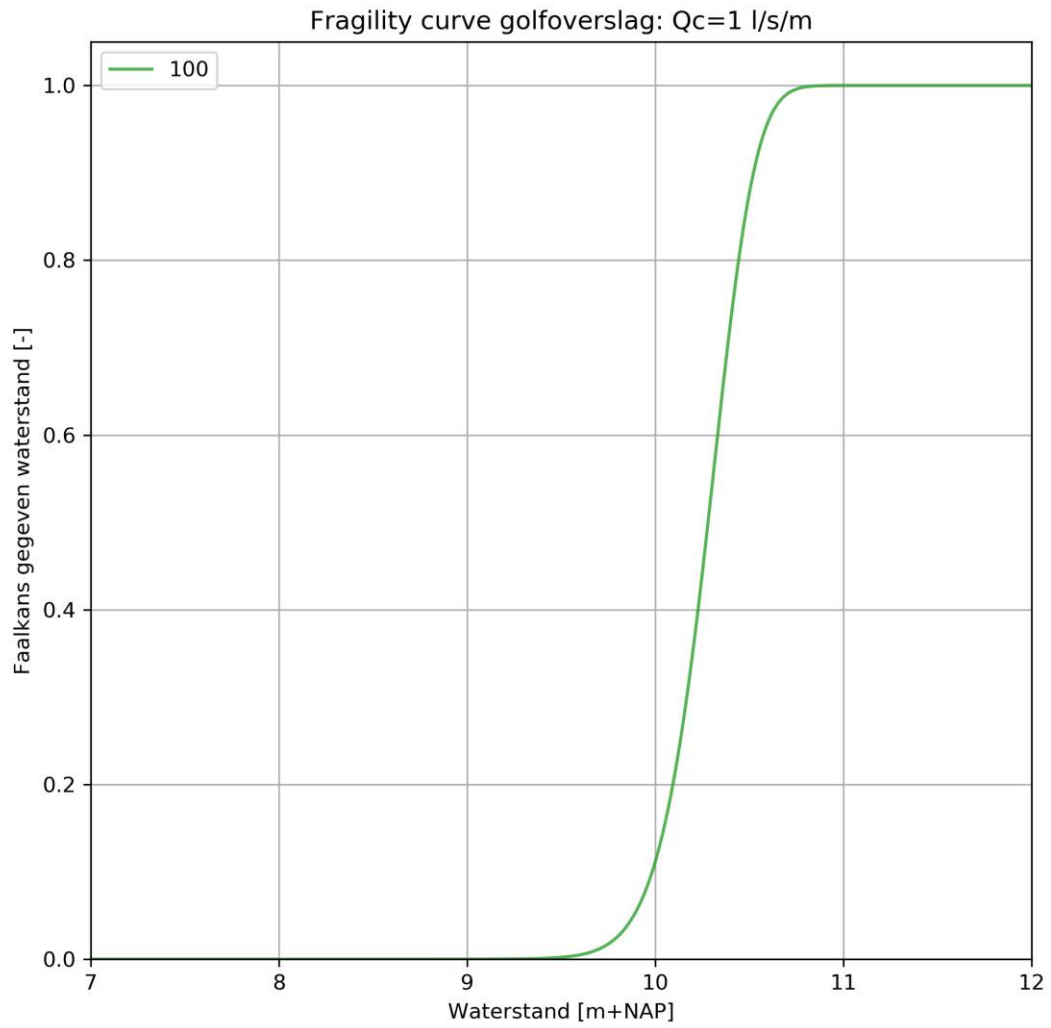
Figuur 1 Fragility curve golfoverslag dijkpaal 49 voor een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m



Figuur 2 Fragility curve golfoverslag dijkpaal 49 voor een kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m



Figuur 3 Fragility curve golfoverslag dijkpaal 100 voor een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m



Figuur 4 Fragility curve golfoverslag dijkpaal 100 voor een kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m