

Veiligheidsanalyse

STERKE LEKDIJK

Irenesluis - Culemborgseveer



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Veiligheidsanalyse Dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

030 634 57 00 T
sterkelekdijk@hdsr.nl E
hdsr.nl/sterkelekdijk W




STERKE LEKDIJK


Titel: Veiligheidsanalyse Dijkversterking Irenesluis - Culemborgse Veer (t.b.v. Voorkeursalternatief (VKA))
Kenmerk: DM1951192
Versie: V10.0
Datum: 14 augustus 2023
Projectnaam: Dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer (Sterke Lekdijk)
Projectnummer: 120612
Opgesteld door: M. Vollerling, M. Roosendaal, E. Ünal, A. van Linde en E. Fiktorie
Gecontroleerd door: Fugro, RHDHV en HDSR

Colofon


Vrijgave NVU:

Functie	Naam	Paraaf
Projectmanager RHDHV/Fugro	M. Eversdijk	14-02-2022 

Vrijgave NKO:

Functie	Naam	Paraaf
Projectmanager RHDHV/Fugro	M. Eversdijk	20-09-2022 

Vrijgave VKA:

Functie	Naam	Paraaf
Projectmanager RHDHV/Fugro	M. Eversdijk	14-08-2023 

Omschrijving	Code	Datum	Toelichting
v1.0		4-2-2022	Eindconcept
v2.0		14-02-2022	100% eindversie NvU
v3.0			Tussentijdse resultaten optimalisaties
v4.0		09-05-2022	Eindconcept intern review RHDHV
v5.0		20-05-2022	Tussen oplevering t.b.v. NKO
v5.1		08-07-2022	Oplevering concept VA t.b.v. NKO
v5.2		20-07-2022	Verwerken review HDSR
v6.0		05-08-2022	Oplevering eindconcept t.b.v. NKO
v7.0		20-09-2022	Oplevering definitief t.b.v. NKO
V8.0		01-05-2023	Oplevering Conceptversie tbv VKA
V9.0		30-05-2023	Definitief concept tbv externe review
V10.0		14-08-2023	Definitieve versie tbv VKA

Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Deelproject Dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer	9
1.3	Doel	10
1.4	Leeswijzer	10
2	Hoogte	12
2.1	Uitgangspunten	12
2.1.1	Huidige hoogte	12
2.1.2	Hydraulische Randvoorwaarden (HR)	12
2.1.3	Autonome bodemdaling	13
2.1.4	Detailniveau beoordeling Hoogte	14
2.2	Uitvoering beoordeling Hoogte	14
2.2.1	Resultaat HBN 5 l/s/m	14
2.2.2	Resultaat HBN 1 l/s/m	15
2.2.3	Resultaat HBN 0,1 l/s/m	16
2.3	Conclusie beoordeling hoogte	17
2.4	Reflectie & Aanbevelingen	18
3	Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	20
3.1	Uitgangspunten	20
3.1.1	Partiële veiligheidsfactoren	20
3.1.2	Geotechnische uitgangspunten	20
3.1.3	Hydraulische uitgangspunten	21
3.1.4	Opbarsten	23
3.1.5	Definitie glijvlakken	23
3.2	Selectie STBI locaties	23
3.3	Resultaten	24
3.4	Conclusie	26
3.5	Aanbevelingen	27
3.6	Reflectie	27
4	Piping (STPH)	28
4.1	Uitgangspunten	28
4.2	Veiligheidsfactor	28
4.3	Beoordeling opbarsten	28

4.3.1	Analyse	28
4.3.2	Resultaten	29
4.4	Beoordeling heave	29
4.4.1	Analyse	29
4.4.2	Resultaat	30
4.5	Beoordeling piping	30
4.5.1	Analyse	30
4.5.2	Resultaat	31
4.6	Voorlopig resultaat STPH	32
4.7	Beslisboom piping	33
4.7.1	Hypothese 1	34
4.7.2	Hypothese 2	35
4.8	Uitwerking aanvullend onderzoek voorland	37
4.8.1	Maatwerklocatie 1, Steenwaard	37
4.8.2	Maatwerklocatie 2, Schalkwijker Buitenwaard	38
4.8.3	Maatwerklocatie 3, Den Oord	39
4.8.4	Maatwerklocatie 4, Beusichemse veer - Den Oord	40
4.8.5	Maatwerklocatie 5, Bosscherwaarden	41
4.8.6	Maatwerklocatie 6, Bosscherwaarden - Het Wiel	41
4.9	D-Geo Flow	42
4.9.1	Resultaten	42
4.9.2	Gevoeligheidsanalyse	43
4.10	Reflectie en aanbevelingen	43
4.10.1	Reflectie	43
4.10.2	Aanbevelingen	43
4.11	Conclusie	44
5	Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	46
5.1	Aanvullende uitgangspunten	46
5.1.1	Vereiste Stabiliteitsfactor	46
5.1.2	Berekende belastingsituaties	46
5.2	Resultaten val na hoogwater	46
5.2.1	Methode Faalpadanalyse (val na hoogwater)	47
5.3	Resultaten Extreme neerslag en Extreem laagwater	50
5.3.1	Methode Faalpadanalyse (extreem laagwater en/of extreme neerslag)	51
5.4	Reflectie en aanbevelingen	53
6	Bekledingen	55
6.1	Micro instabiliteit (STMI)	55
6.2	Asfalt	55
6.3	Resultaten Grasbekleding	55
6.3.1	Grasbekleding Afschuiven Buitentalud (GABU)	55
6.3.2	Grasbekleding Erosie Buitentalud (GEBU)	56
6.3.3	Grasbekleding Afschuiven Binnentalud (GABI)	65

6.3.4	Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB)	70
6.3.5	Reflectie en aanbevelingen	72
6.4	Steen	72
6.4.1	Stortsteen	72
6.4.2	Betonzuilen	72
6.4.3	Berekeningsresultaten Steenbekleding	72
7	Voorland (VL)	73
7.1	Golfafslag (VLGA)	74
7.2	Afschuiving (VLAF)	75
7.3	Zettingsvloeiing (VLZV)	76
7.4	Resultaten beoordeling voorland	77
8	Conclusie	78
8.1	Algemeen	78
8.2	Hoogte	83
8.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	83
8.4	Piping	84
8.5	Macrostabieliteit buitenwaarts	85
8.6	Microstabieliteit	85
8.7	Bekledingen	85
8.8	Voorland	86
8.9	Niet-waterkerende objecten (NWO's)	86
8.10	Reflectie	87
9	Literatuur	89
Bijlage A	Eindoordeel	91
Bijlage B	Stabiliteitsberekeningen STBI	93
B.1	Dijkvak 1	93
B.2	Dijkvak 2a	94
B.3	Dijkvak 2b (Maatwerklocatie: het Wiel)	95
B.4	Dijkvak 2c	96
B.5	Dijkvak 3	97
B.6	Dijkvak 4	98
B.7	Dijkvak 5a	99
B.8	Dijkvak 5b	100
B.9	Dijkvak 6a	101
B.10	Dijkvak 6b	102
B.11	Dijkvak 6c	103
B.12	Dijkvak 6d	104
B.13	Dijkvak 7	106

B.14	Dijkvak 8a	107
B.15	Dijkvak 8a	108
Bijlage C	Berekeningsresultaten STPH	109
Bijlage D	Stabiliteitsberekeningen STBU	110
D.1	Dijkvak 1	110
D.2	Dijkvak 2a	112
D.3	Dijkvak 2b	112
D.4	Dijkvak 2c	113
D.5	Dijkvak 3	113
D.6	Dijkvak 4	114
D.7	Dijkvak 5a	114
D.8	Dijkvak 5b	115
D.9	Dijkvak 6a	115
D.1	Dijkvak 6b	116
D.2	Dijkvak 6c	116
D.3	Dijkvak 6d	117
D.4	Dijkvak 7	117
D.5	Dijkvak 8a	118
D.6	Dijkvak 8b	118
Bijlage E	Faalpadanalyse STBU	119
E.1	Dijkpaal 106 – Gevoeligheidsanalyse faalkansenboom	124
Bijlage F	Beoordelingen voorland	125
F.1	Dijkpaal 114	126
F.2	Dijkpaal 124	126
F.3	Dijkpaal 133	127
F.4	Dijkpaal 143	128
F.5	Dijkpaal 146	129
F.6	Dijkpaal 148	130
F.7	Dijkpaal 161	130
F.8	Dijkpaal 177	131
F.9	Dijkpaal 194	131
F.10	Dijkpaal 203	132
Bijlage G	Gevoeligheidsanalyse POP	132
Bijlage H	Resultaten reststerkte analyse GEBU	140
Bijlage I	Ontwikkeling veiligheidsscope in de tijd	144

Bijlage J Ontwikkeling pipingscope in de tijd

146

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

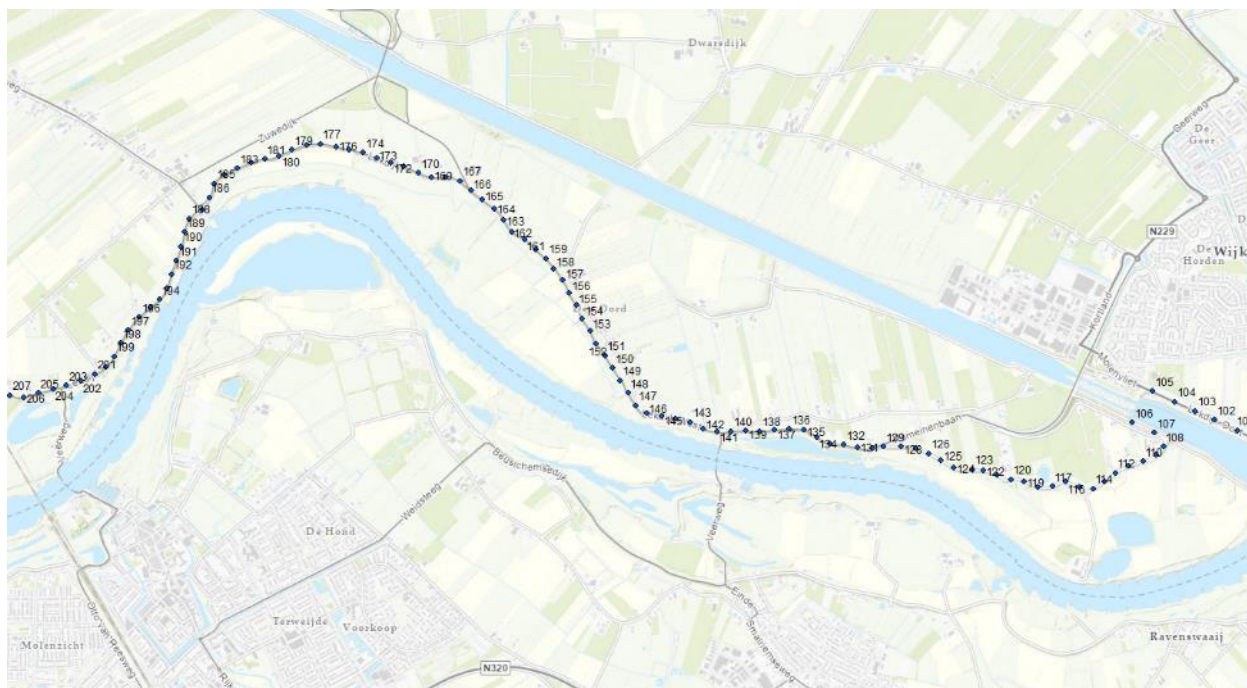
Voor het dijkversterkingsproject ICU (een deel van dijktraject 44-1), dat ligt tussen de Prinses Irenesluis en Culemborgse veer, is HDSR na de zomer van 2021 gestart met de verkenningsfase. Onderdeel hiervan is het opstellen van een Veiligheidsanalyse om de scope vast te stellen. Om in een vroeg stadium een indruk te hebben van de scope van de waterveiligheidsopgave is eerst een pré-Veiligheidsanalyse uitgevoerd voor de volgende hoofdsporen:

- Hoogte (HT)
- Stabiliteit binnenwaarts (SBTI)
- Piping (STPH)

Dit rapport is de vastlegging van de Veiligheidsanalyse waarbij de overige sporen zijn toegevoegd voor het kunnen bepalen van de scope. Voor de overige sporen is waar mogelijk enkel de Eenvoudige Toets toegepast. Waar nodig zijn ook vervolgstappen, de Gedetailleerde toets, Toet op Maat en Faalkansanalyse, doorlopen. De Veiligheidsanalyse is opgesteld op basis de Strategische Nota van Uitgangspunten [1] van het programma Sterke Lekdijk en de specifiek voor het traject ICU opgestelde Technische Uitgangspunten Nota [2].

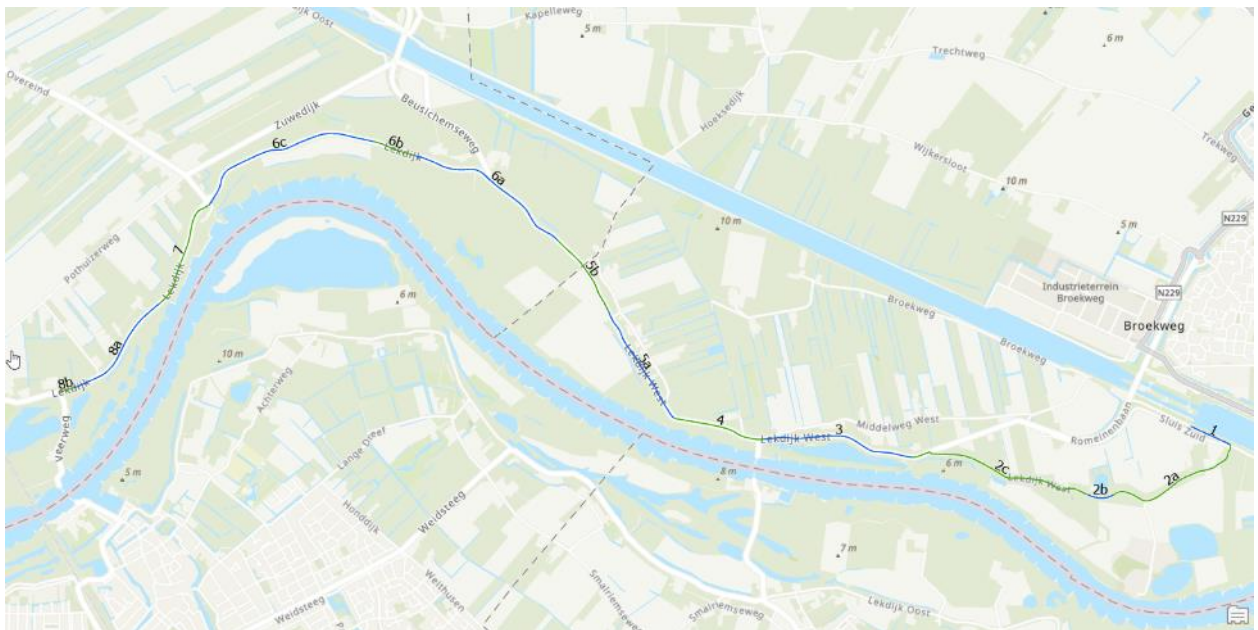
1.2 Deelproject Dijkversterking Irenesluis – Culemborgse Veer

Het dijktraject van het project Irenesluis – Culemborgse Veer (afgekort als ICU) is circa 9,9 km lang. Van oost naar west loopt het traject langs de noordkant van de Lek van de Prinses Irenesluis (dijkpaal 106) tot en met de veerweg van het Culemborgse veer (dijkpaal 203). Het traject doorkruist de gemeenten Houten en Wijk bij Duurstede, ligt in de provincie Utrecht in het zuiden van het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.



Figuur 1-1 Ligging deelproject ICU met locaties van dijkpalen (dijkpaal 203 in het westen tot 106 in het oosten)

Voor het beoordelen van de faalmechanismen is voor deeltraject ICU de dijk onderverdeeld in 14 dijkvakken. Bij het vaststellen van een dijkvakindeling is gekeken naar de geometrie, de bodemopbouw en de geohydrologische kenmerken. Voor het bepalen van de maatgevende dwarsprofielen voor de berekeningen is op dijkvakniveau onderscheid gemaakt op basis van de bodemopbouw en geometrie. Bij de keuze van het maatgevende profiel per dijkvak is in eerste instantie gekeken naar de meest ongunstige geometrie (steile taludhellingen), aangezien de bodemopbouw langs het deeltraject ICU redelijk uniform is. Wanneer binnen een dijkvak nog aanzienlijke verschillen zijn in de bodemopbouw die van invloed kunnen zijn op een faalmechanisme als STBI, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een dikke veenlaag, is hier gekozen voor een profiel met de maatgevende bodemopbouw en een representatieve geometrie.



Figuur 1-2 Dijkvakindeling voor o.a. STBI

1.3 Doel

Het doel van dit document is om de beoordelingsresultaten van de Veiligheidsanalyse vast te leggen. De Veiligheidsanalyse is onderdeel van de verkenningsfase waarin drie fasen te onderscheiden zijn.

- 1) In de fase NvU zijn de hoofdmechanismen Hoogte (GEKB), Macrostabiliteit Binnen- en Buitenwaarts (STBI & STBU) en Piping (STPH) beoordeeld.
- 2) In het NKO zijn deze mechanismen waar nodig en waar mogelijk geoptimaliseerd en de faalmechanismen gerelateerd aan de grasbekleding (GABI, GEBU, GEKB en GEBU) beoordeeld.
- 3) In het VKA zijn enige optimalisaties doorgevoerd op het faalmechanisme Piping en een start gemaakt in de beoordeling van Niet Waterkerende Objecten (NWO's). Tevens zijn door een wijziging in de sterkteparameters op programmaniveau herberekeningen uitgevoerd voor macrostabiliteit.

In deze versie van het document zijn de beoordelingsresultaten uit alle drie de genoemde fasen vastgelegd. Deze dient als input voor het Technisch Ontwerprapport VKA [3] waarin op hoofdlijnen het eerste ontwerp voor de dijkverbeteringsmaatregelen zijn beschreven.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het spoor Hoogte (HT) uitgewerkt. Vervolgens is in hoofdstuk 3 het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts (STBI) uitgewerkt. Daaropvolgend zijn in de hoofdstukken 4, 5 en 6 respectievelijk de

faalmechanismen piping en heave (STPH), macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) en bekledingen uitgewerkt. In hoofdstuk 7 is de beoordeling van het voorland met beschreven. Tot slot leest u in de hoofdstukken 8 en 9 de conclusie en de verantwoording van de bronnen en referenties.

2 Hoogte

In dit hoofdstuk is de beoordeling van de minimaal benodigde kruinhoogte bepaald op basis van een Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) met een overslagdebiet van 5 l/s/m conform de werkwijze van het OI2014v4/WBI2017. De beoordeling van de kruinhoogte is per dijkpaal (DP106 tot en met DP203) uitgevoerd. Aan de hand van de huidige kruinhoogte, hydraulische randvoorwaarden en de autonome bodemdaling is bepaald of de kering tot en met 2073 voldoende hoog is. Ook geeft deze beoordeling inzicht in welke mate er sprake is van “hoogtetekort” of “overhoogte”.

2.1 Uitgangspunten

2.1.1 Huidige hoogte

De huidige hoogte is bepaald op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3) met als inwintjaar 2015. De hoogte van de kruin loopt niet exact horizontaal. In overleg met HDSR is gekozen om per dijkpaal de hoogte ter plaatse van de hart-kruinlijn te gebruiken. Deze hartlijn in de kruin van de primaire kering is afkomstig van het Open Data Portaal, Waterkeringenlijn – Waterkeringen Lijn BR.

Deze keuze sluit aan op de schematiseringshandleiding van Hoogte/GEKB [4] waarin wordt aangedrongen om geen buitenkruinlijn te hanteren, omdat de bestaande kerende hoogte van de kering daarmee onderschat wordt. De referentielijn “Waterkeringen Lijn BR” is een realistische benadering om de bestaande hoogte te beoordelen.

2.1.2 Hydraulische Randvoorwaarden (HR)

HDSR heeft voor de hele Sterke Lekdijk vooraf een grote hoeveelheid hydraulische randvoorwaarden bepaald. Dit is vastgelegd met de WBI_database en de DPa_database en vervolgens samengevoegd en beschikbaar gesteld voor onder andere het project ICU.

Voor ICU zijn de hydraulische randvoorwaarden bij de dijkpalen 106-203 (uitvoerpunten LE_1_44-1_dk_00017 t/m LE_1_44-1_dk_00117) overgenomen uit de door HDSR opgeleverde Excelsheet [5] om de beoordeling van Hoogte.

2.1.2.1 Hydraulisch Belastingniveau (HBN)

De waterkering is beoordeeld en wordt ontworpen met een hydraulisch belastingniveau (HBN) bij een overslagdebiet van 5 l/s/m conform de Strategische Nota van Uitgangspunten [1].

Alle verschillende HBN's zijn bepaald met een kans van voorkomen van 1/41.667 voor de zichtjaren 2023, 2050 en 2100. Dit is conform de faalkansbegroting voor normtraject 44-1 zie hiervoor [6].

2.1.2.2 Zichtjaar en WBN

Het zichtjaar voor de beoordeling van de waterkering is door HDSR voor ICU vastgesteld op 2073. Dit sluit aan op de naastgelegen deeltrajecten Wijk bij Duurstede – Amerongen (WAM) en Culemborgse veer – Beatrixsluis (CUB) [7]. De minimaal benodigde kruinhoogte voor het zichtjaar 2073 is bepaald op basis van een lineaire interpolatie voor de hydraulisch belastingniveaus uit 2050 en 2100. In deze benodigde kruinhoogte is geen autonome bodemdaling verdisconteerd.

Onderstaande tabel geeft het overzicht van de Waterstand Bij Norm (WBN) zoals van toepassing voor het deeltraject IUC.

Tabel 2-1 Waterstand Bij Norm per dijkvak

Dijkvak	Dijkpaal	WBN 2073 (t.o.v. NAP [m])
1	106	8,77
2a	113	8,64
2b	117	8,46
2c	126	8,43
3	136	8,35
4	144	8,17
5a	153	8,05
5b	156	8,03
6a+b	164	7,98
6c	172	7,95
6d	183	7,93
7	190	7,89
8a	196	7,72
8b	203	7,55

2.1.3 Autonome bodemdaling

HDSR heeft voor verschillende gebieden de autonome bodemdaling in kaart gebracht en opgenomen in de Strategische Nota van Uitgangspunten [1]. Voor ICU geldt alleen een autonome bodemdaling van 2 mm per jaar of 4 mm per jaar. Dit is vastgelegd in de Shapefile "SLD_Bodemdaling" met daarin verschillende gradaties bodemdaling.

De totale bodemdaling die in rekening is gebracht voor de minimale benodigde kruinhoogte strekt zich uit over een periode van 58 jaar, namelijk van 2015 (inwinjaar AHN3) tot en met 2073 (zichtjaar). Voor elke dijkpaal is deze locatie specifieke autonome bodemdaling ingevoerd en verwerkt in de Hoogtebeoordeling.

Tabel 2-2 Autonome bodemdaling per dijkpaal

Van dijkpaal	Tot en met dijkpaal	Autonome bodemdaling	Bodemdaling (2015-2073)
106	119	2 mm per jaar	0,12 meter
120	155	4 mm per jaar	0,23 meter
156	159	2 mm per jaar	0,12 meter
160	168	4 mm per jaar	0,23 meter
169	203	2 mm per jaar	0,12 meter

2.1.4 Detailniveau beoordeling Hoogte

De beoordeling van Hoogte is per dijkpaal (ongeveer elke 100 meter) uitgevoerd. Uit de beoordeling blijkt of het Hoogte spoor “Voldoet” of “Onvoldoende” is. Bij locaties met een eventuele hoogteopgave kan in de gedetailleerder beoordeeld worden, bijvoorbeeld elke 50 meter.

Als de locatie (dijkpaal) voldoet aan de hoogte-eis kan er sprake zijn van ‘overhoogte’. In het geval van ‘overhoogte’ zal er minder dan 5 l/s/m overslag plaatsvinden onder maatgevende omstandigheden.

2.2 Uitvoering beoordeling Hoogte

De beoordeling is in eerste instantie uitgevoerd voor een HBN bij een overslagdebiet van 5 l/s/m conform SNvU [1]. In tweede instantie is de huidige kruinhoogte beoordeeld aan een HBN van 1 l/s/m en 0,1 l/s/m omdat dit bepaalt of er een vervolfbeoordeling nodig is of niet.

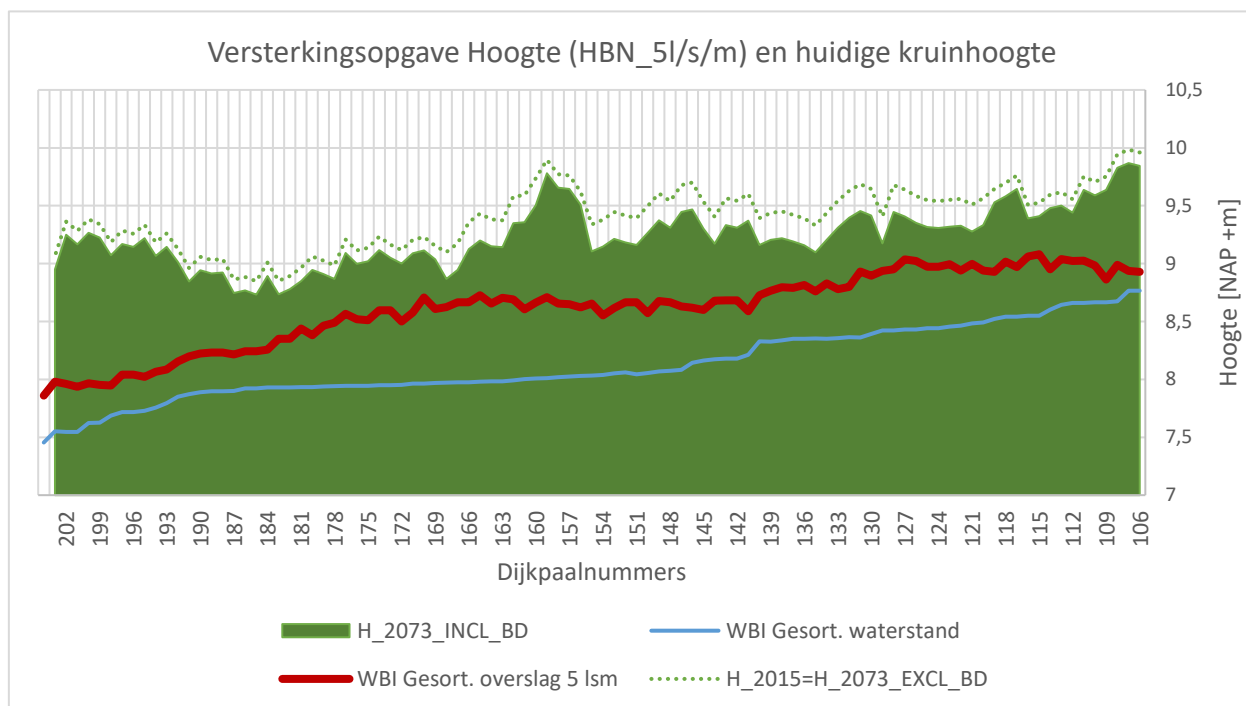
- STBI bij een verzadigde dijk. Wanneer het overslagdebiet niet voldoet aan de HBN eis van 1 l/s/m dient ook een binnenwaartse stabiliteitsberekening uitgevoerd te worden met een andere schematisering van de waterspanningen. Het resultaat is uitgewerkt in § 2.2.2.
- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB). Wanneer het overslagdebiet voldoet aan een HBN eis van 0,1 l/s/m, kan worden volstaan met een eenvoudige toets van GABI. Dit resultaat is uitgewerkt in § 2.2.3.
- Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI). Wanneer het overslagdebiet voldoet aan een HBN van 0,1 l/s/m kan worden volstaan met een eenvoudige toets. Dit resultaat is uitgewerkt in §6.3.3.

2.2.1 Resultaat HBN 5 l/s/m

De hoogte van de waterkering in 2073 voldoet als deze gelijk of groter is dan het hydraulisch belasting niveau met een overslagdebiet van 5 l/s/m conform SNvU [1].

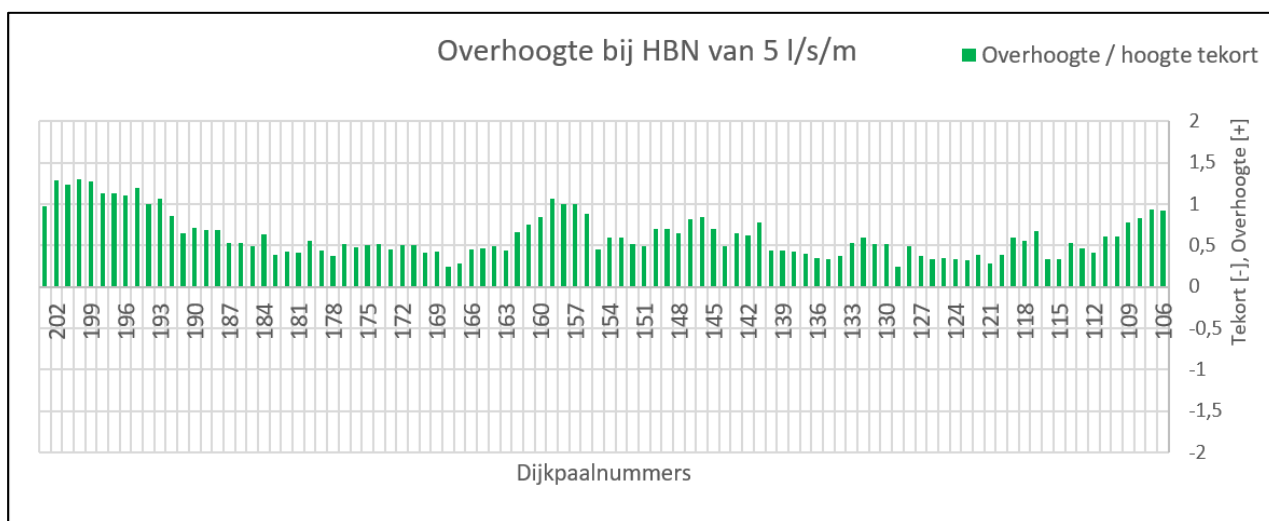
Kruinhoogte 2073 incl. bodemdaling \geq HBN van 5 l/s/m

Voor het hele projectgebied van ICU geldt dat wordt voldaan aan Hoogte (HBN 5 l/s/m). In Figuur 2-1 is de beoordeling voor dijkpaal 106 tot en met 203 weergegeven. De groene stippelij is de huidige kruinhoogte gemeten in 2015. De top van het groene vlak is de kruinhoogte inclusief bodemdaling tot en met het zichtjaar 2073 en ligt overal hoger dan de rode lijn (hydraulisch belasting niveau met overslagdebiet van 5 l/s/m) bij zichtjaar 2073.



Figuur 2-1 Beoordeling Hoogte HBN 5 l/s/m

In Figuur 2-2 is de 'overhoogte' per dijkpaal weergegeven. De 'overhoogte' is uiteenlopend tussen enkele decimeters tot soms meer dan 1,0 meter. Aangezien per dijkpaal (per ca. 100 m) ruim wordt voldaan aan de hoogte eis van 5 l/s/m is er geen reden om gedetailleerder naar de hoogteopgave te kijken (bijvoorbeeld per 50 m).

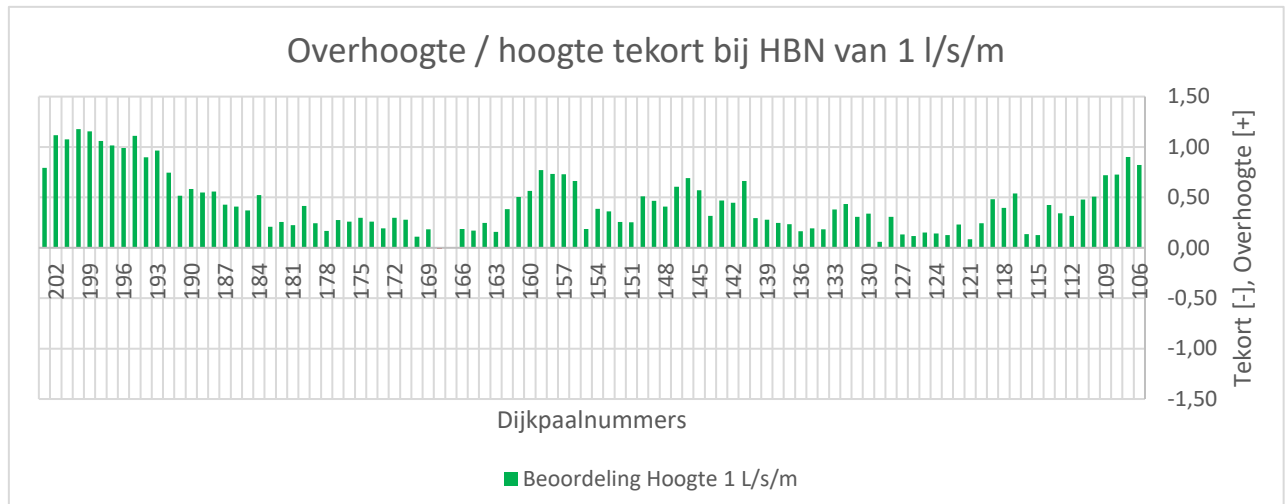


Figuur 2-2 Overhoogte HBN 5 l/s/m

2.2.2 Resultaat HBN 1 l/s/m

Het mechanisme STBI met de verzadigde dijk (STBI_{overslag}) wordt beoordeeld aan de hand van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit [8] en een KPR Factsheet [9]. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende situaties:

1. De faalkans van het spoor STBI_{overslag} is verwaarloosbaar klein indien het overslagdebiet 1 l/s/m of kleiner is onder maatgevende omstandigheden bij norm.
2. Bij een overslagdebiet groter dan 1 l/s/m is de faalkans niet verwaarloosbaar en dient een aanvullende stabiliteitsberekening te worden gemaakt van een verzadigde dijk.



Figuur 2-3 Beoordeling kruinhoogte HBN 1 l/s/m: Overhoogte [+], hoogte tekort [-]

Toelichting verzadigde dijk

De schematiseringhandleiding macrostabiliteit [8] gaat uit van een overslagdebiet van maximaal 1 l/s/m. Bij grotere overslagdebieten zal dit effect hebben op de waterspanningen in het dijklichaam. Dit heeft grote invloed op het bepalen van het maatgevende glijvlak en het eventuele restprofiel.

Indien niet wordt voldaan aan het HBN van 1 l/s/m dienen aanvullende stabiliteitsberekening te worden gemaakt van een verzadigde dijk aan de hand van de KPR factsheet Werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag [9]. Indien wél wordt voldaan hoeft de locatie niet meer beoordeeld te worden op verzadiging van de dijk.

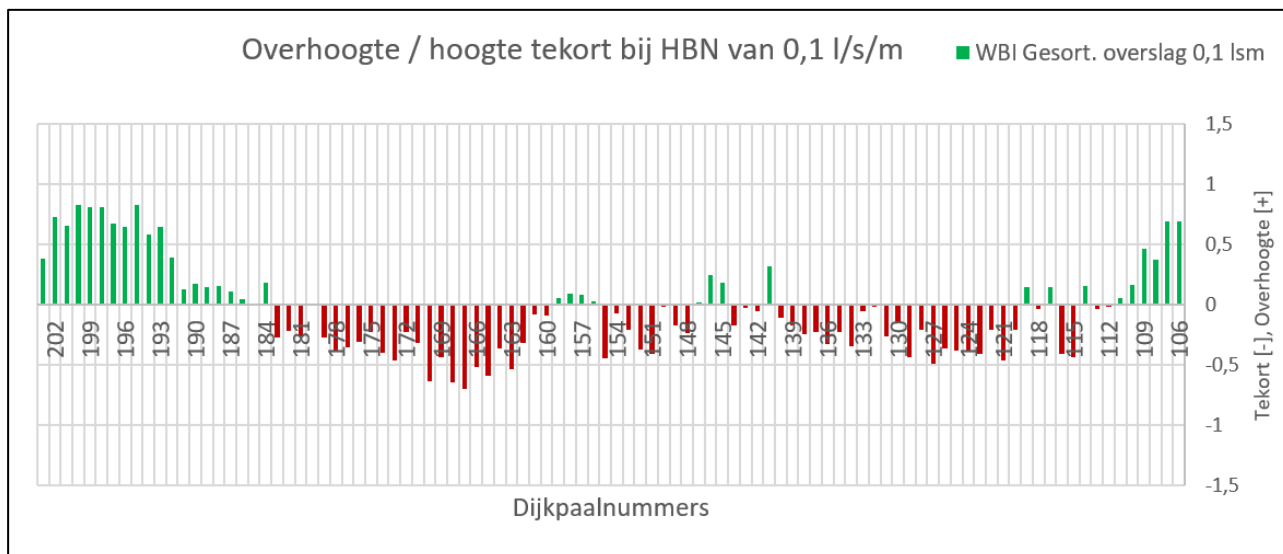
Bij dijkpaal 168 wordt net niet voldaan aan de hoogte eis met een HBN van 1 l/s/m. Er is sprake van een hoogtetekort van 6 millimeter. Gegeven de robuuste aannames in de zettingsverwachting, is dit tekort acceptabel en daarom is de “verzadigde dijk” belastingsituatie niet berekend.

2.2.3 Resultaat HBN 0,1 l/s/m

Het mechanisme GABI wordt beoordeeld aan de hand van de eenvoudige toets Stap E.1 [10]. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende situaties:

3. De faalkans van het spoor GEKB is verwaarloosbaar indien het overslagdebiet gelijk of kleiner is dan 0,1 l/s/m onder maatgevende omstandigheden.
4. Bij een overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m is de faalkans niet verwaarloosbaar en zal de bekleiding nader beschouwd worden met de verschillende beoordelingen.

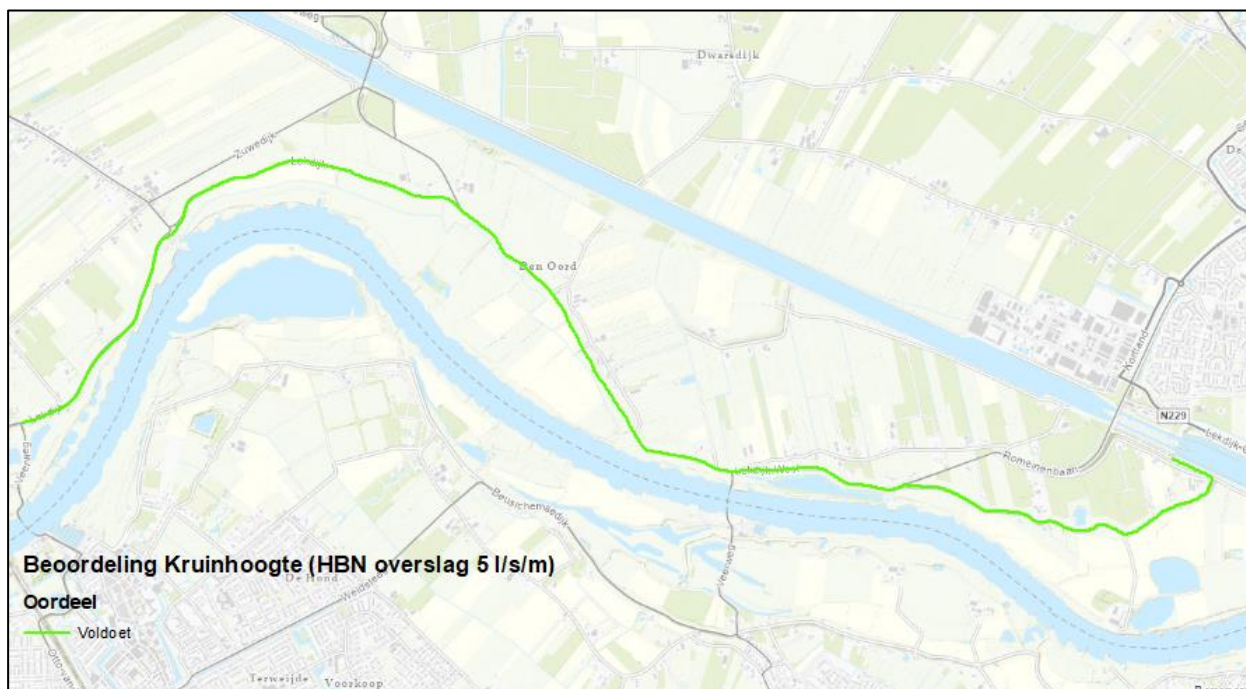
Figuur 2-4 Beoordeling kruinhoogte HBN 0,1 l/s/m: Overhoogte [+], hoogte tekort [-]



Bij een Hoogte eis met een HBN van 0,1 l/s/m resulteert dit in 60 dijkpalen met een hoogtetekort (dus een overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m) en 38 dijkpalen die voldoen en overhoogte hebben.

2.3 Conclusie beoordeling hoogte

De minimaal benodigde kruinhoogte is voldoende bij een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m bij een faalkans van 1/41.167 per jaar. Voor de beoordeling van de kruinhoogte geldt dus dat het gehele deeltraject ICU voldoet aan de faalkans op doorsnedeniveau conform SNvU [1].



Figuur 2-5 Beoordeling kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m (DP106-DP203)

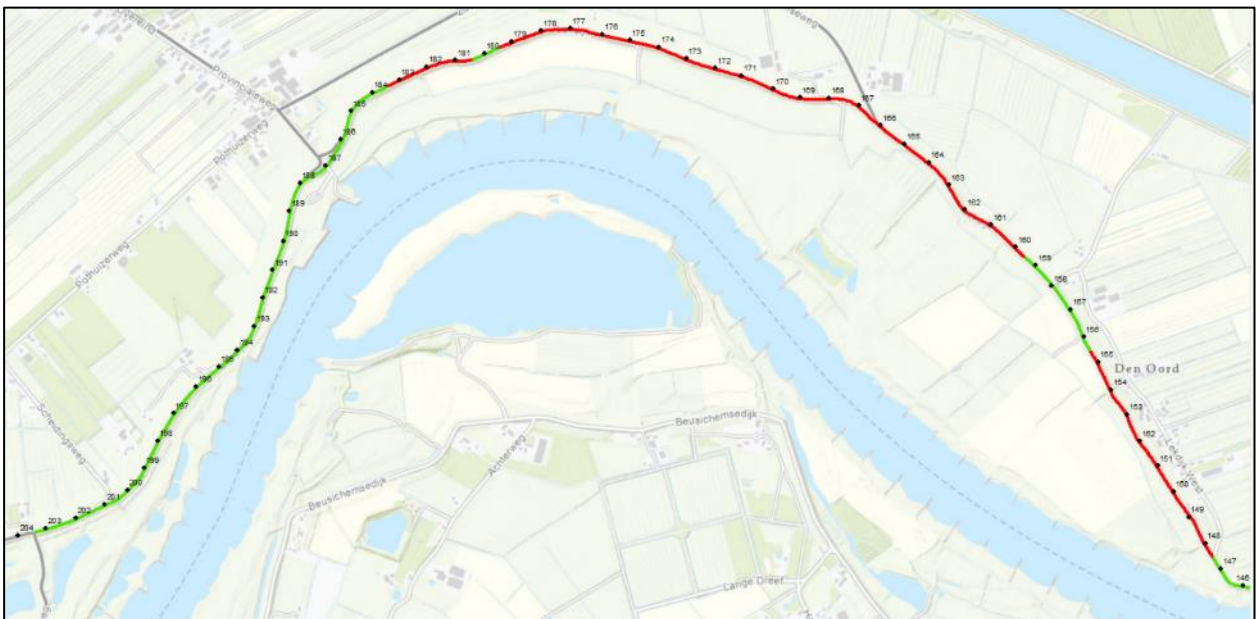
2.4 Reflectie & Aanbevelingen

De beoordeling met een overslagdebiet van 1 l/s/m (bij een faalkanseis van 1/41.167 per jaar) resulteert ook in een bijna volledig groene overzichtskaart. Alleen DP168 voldoet niet aan de minimaal benodigde kruinhoogte bij een kritieke overslagdebiet van 1 l/s/m. Het hoogtetekort is echter verwaarsloorbaar klein. Voor de minimale kruinhoogte bij een overslagdebiet van 1 l/s/m geldt dat, conform de [1] en in afstemming met HDSR, de gehele waterkering voldoet aan de eis. Dit houdt in dat voor STBI geen aanvullende beschouwing hoeft te worden uitgevoerd waarbij rekening wordt gehouden met significante golfoverslag.

De beoordeling met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m (bij een overstromingskans van 1/41.167 per jaar) is weergegeven in twee overzichtskaarten (figuur 2-6 en figuur 2-7). Hieruit concluderen we dat de oriëntatie van de dijk normaal een doorslaggevende rol speelt. Voornamelijk locaties die zuid en zuidwestelijk georiënteerd zijn voldoen niet aan een HBN met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m. In totaal voldoen 60 dijkpalen niet aan de minimaal benodigde kruinhoogte bij dit overslagdebiet. Dit betekent voor beoordelingsspoor “Grasbekleding afschuiving binnentalud (GABI)” een aanvullende beschouwing uitgevoerd is. Zie hiervoor §6.3.3.



Figuur 2-6 Beoordeling kruinhoogte met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m (DP106-DP146)



Figuur 2-7 Beoordeling kruinhoogte met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m (DP147-DP203)

3 Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)

In dit hoofdstuk is de beoordeling van het faalmechanisme macrostabieliteit binnenwaarts (STBI) op basis van de laatste stand van zaken opgenomen met betrekking tot kennis van dit onderwerp. Hierbij wordt specifiek ingegaan op de onderbouwing voor de keuze van de maatgevende profielen per dijkvak. Verder zijn de belangrijkste input parameters nader beschreven zoals de grondeigenschappen en de geohydrologische schematiseringen.

De in dit hoofdstuk beschreven resultaten zijn het gevolg van meerdere optimalisaties die lopende het beoordelingsproces zijn bereikt. Ten opzichte van de fase NK0 zijn de volgende aanpassingen tijdens de fase ten behoeve van het VKA, doorgevoerd:

- Toepassen van een su-tabel voor een ongedraineerde zone in het achterland onder de dagelijkse grondwaterstand.
- Toepassen van andere waarden voor de ongedraineerde parameters; deze zijn voor zware klei geüniformeerd over het gehele programma Sterke Lekdijk.
- Grondlaag 'klei zwaar' is nu breder toegepast vanwege herbeoordeling van volumieke gewichten in de proefresultaten. Afhankelijk van de ligging is deze laag als gedraineerd of ongedraineerd ingevoerd.

3.1 Uitgangspunten

De randvoorwaarden en uitgangspunten voor de beoordeling op STBI zijn benoemd in de TUN voor het VKA [6]. In onderstaande paragrafen is een nadere toelichting gegeven op deze uitgangspunten. Wanneer een andere invulling is gegeven aan deze uitgangspunten of een nadere toelichting op de gehanteerde uitgangspunten nodig is, dan is dit expliciet vermeld.

3.1.1 Partiële veiligheidsfactoren

STBI is beoordeeld met een semi-probabilistische werkwijze uit het WBI 2017 [11]. Verschillende onzekerheden beïnvloeden de stabiliteit van een dijk en daarom is gebruik gemaakt van een aantal partiële veiligheidsfactoren. Gezamenlijk leiden deze factoren tot een vereiste stabiliteitsfactor (SF) voor STBI van 1,43. Deze is opgebouwd uit het product van onderstaande factoren conform TUN [6] §6.3.2:

- Schadefactor $\gamma_n = 1,17$
- Modelfactor $\gamma_d = 1,06$ bij gebruik van UpliftVan rekenmethode
- Schematiseringsfactor $\gamma_b = 1,15$ gebaseerd op de resultaten uit het verificatierapport Schematiseringsfactor [12]. Deze waarde ligt hoger dan de eerder aangenomen waarde van 1,10 (o.b.v. CUB) [7], waardoor de berekende waarde van 1,15 als maatgevend is beschouwd. De rapportage [12] is als bijlage toegevoegd aan de TUN [6].

Hoge glijvlakken

Voor enkele locaties waar hoge glijcirkels maatgevend werden voor het mechanisme STBI is een specifieke schematiseringsfactor bepaald. Door de kleinere variatie voor het specifieke geval van een hoge glijcirkel ligt de waarde van die schematiseringsfactor ook lager. Dit is eveneens gerapporteerd in het verificatierapport [12].

3.1.2 Geotechnische uitgangspunten

Bij de berekening van de binnenwaartse stabiliteit zijn de geotechnische parameters gehanteerd zoals beschreven in de TUN [2]. Hierbij zijn niet cohesieve grondlagen en cohesieve lagen boven de grondwaterstand tijdens dagelijkse omstandigheden volgens het Mohr-Coulomb model beschreven. Voor

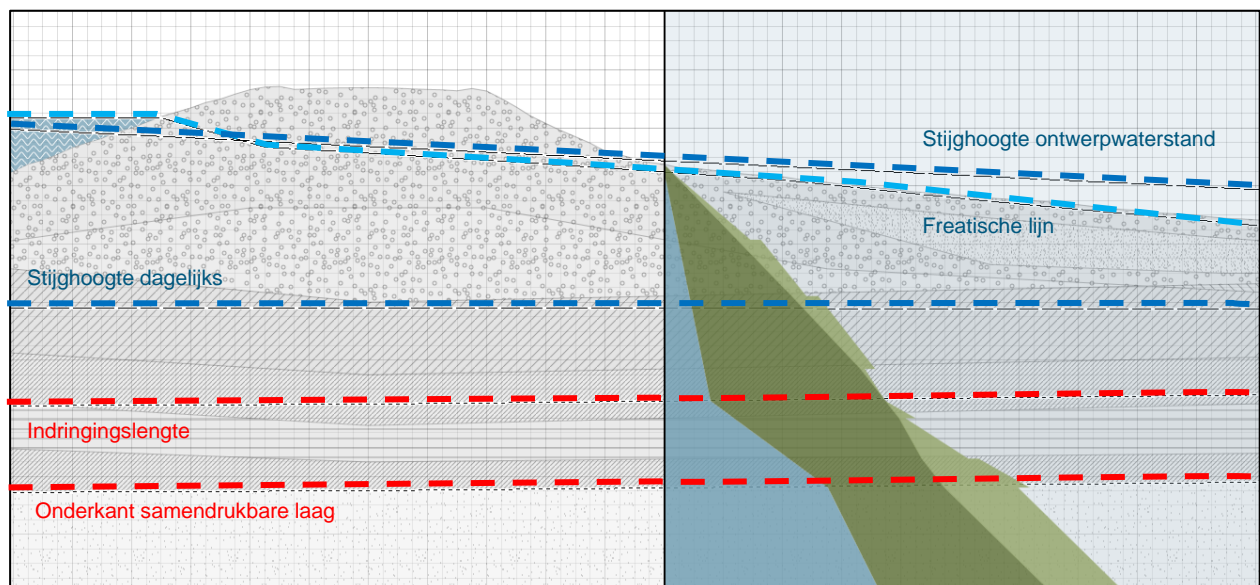
kleilagen onder de dagelijkse grondwaterstand, welk zijn beschreven als “Klei, zwaar” is de SU tabel van het deelproject Wijk bij Duurstede – Amerongen (WAM) gemodelleerd. Dit is gedaan omdat van het project ICU niet voldoende meetgegevens voor handen zijn om een SU-tabel af te leiden. De bodemopbouw van WAM vertoont gelijkenissen met die ICU. Dit is op basis van het materiaalgedrag en het daarbij best passende materiaalmodel in lijn met de schematiseringshandleiding [8]. Alle overige cohesieve lagen onder de dagelijkse grondwaterstand zijn volgens het SHANSEP model gemodelleerd.

3.1.3 Hydraulische uitgangspunten

Er is een kwalitatieve doorvertaling gedaan van het beschikbare voorland naar de gehanteerde stijghoogtes. Dit resulteert in het volgende voor de dijkvakken:

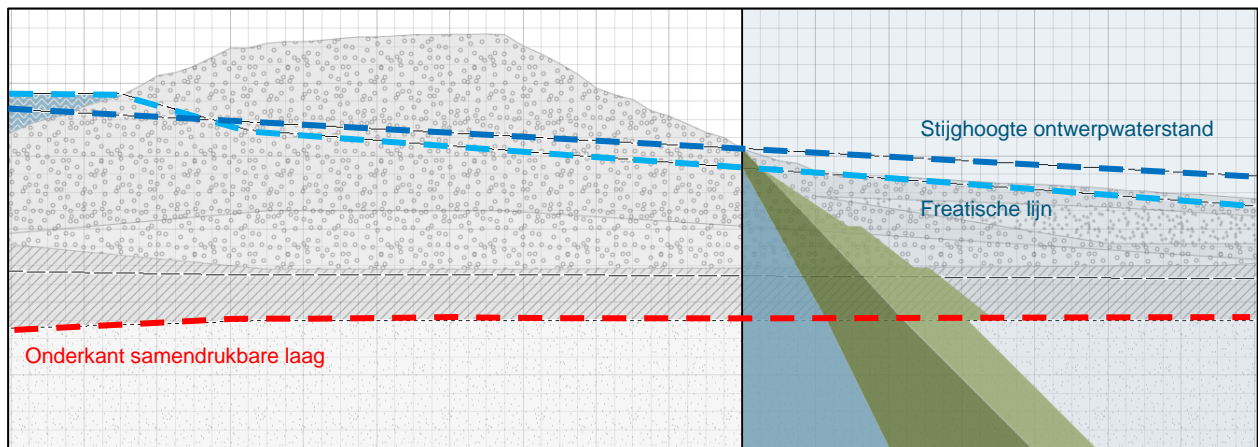
- 2a t/m 2b: ondanks een groot voorland, de gehanteerde stijghoogte relatief hoog is. Het voorlandonderzoek van Medusa (uit 2017) geeft aan dat de deklaagdikte hier sterk varieert.
- 2c t/m 4 en 7 t/m 8b: relatief weinig voorland beschikbaar is en ook een relatief hoge stijghoogte is gehanteerd
- 5a t/m 6d: relatief veel voorland beschikbaar en wordt ook een lage stijghoogte gehanteerd.

Het verloop van de waterspanningen in het watervoerend pakket en in het samendrukbare lagenpakket (indringingszone van 2 meter) is geschematiseerd volgens de TUN, §6.3.8 [2]. Het verloop van de waterspanningen bij ontwerpwaterstand in het samendrukbare lagenpakket is geschematiseerd conform figuur 3-1. Het waterspanningsverloop in de kleikern en het samendrukbare pakket is aangenomen met een lineair verloop tussen het freatisch vlak bij ontwerpwaterstand en de stijghoogte bij GHW aan de bovenzijde van de indringingslaag.



Figuur 3-1 Schematisering van waterspanningen conform uitgangspunten TUN.

Echter wanneer de deklaag relatief dun is (< 4,0 m) en de stijghoogte onder dagelijkse omstandigheden relatief laag ligt, leiden deze uitgangspunten tot een onveilige schematisering met te lage waterspanning tot gevolg. Wanneer deze situatie zich voordoet bij de berekende maatgevende dwarsprofielen is daar een geoptimaliseerde schematisering gehanteerd conform [8]. Hierbij is een lineair waterspanningsverloop geschematiseerd vanaf het freatisch vlak bij ontwerpwaterstand en de stijghoogte bij de ontwerpwaterstand aan de onderzijde van de samendrukbare laag, zie Figuur 3-2.



Figuur 3-2 Alternatieve schematisering van waterspanningen bij relatief dunne deklaag

Voor de maatgevende buitenwaterstand is de maatgevende stijghoogte in het watervoerende zandpakket ter plaatse van de binnenteen (BIT) bepaald voor de ontwerpwaterstand WBN 2073. Voor de betreffende dwarsprofielen is de dichtstbijzijnde peilbuis in de binnenteen of achterland gehanteerd. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 3. De aangehouden respons is tijdens de berekeningen t.b.v. de VKA-fase verhoogd met 10% omdat tijdens de analyse bleek dat de meetreeksen zijn gedaan ten tijde van een verhoogde buitenwaterstand met een nog droog voorland. Onder maatgevende omstandigheden zal het voorland wel onder water staan en zal de indringing dus ook groter zijn. Dit is op basis van expert judgement ingeschat als een benodigde verhoging van 10%. Deze waarde van 10% is onderbouwd door een beschouwing van de situatie in relatie tot die bij CUB en de gebruikte responsfactoren ter plekke. In een gevoeligheidsanalyse is bepaald dat de maximaal toelaatbare verhoging van de respons zeer beperkt is in relatie tot opbarsten. Hierbij is te denken aan 0 tot 5%. Wetende dat de voorlanden droog stonden tijdens de meetreeksen lijkt een dergelijke verhoging te beperkt om geen opgave over te houden op de locaties waar dit speelt.

Tabel 3-: Gehanteerde peilbuizen per maatgevend dwarsprofiel en afgeleide maatgevende stijghoogte

Dijkvak	Dijkpaal	Peilbuisnaam	Locatie	WBN 2073 [NAP+...m]	Stijghoogte BIT bij WBN 2073 [NAP+...m]
1	106	DP106+000_B_AL_pb2	AL	8,77	5,28
2a	113	DP115+094_B_AL_pb2	AL	8,64	6,97
2b	117	DP115+094_B_AL_pb2	AL	8,46	6,36
2c	126	DP126+042_B_AL_pb1	AL	8,43	5,29
3	136	DP135+047_B_BERM_pb2	BIT	8,35	5,14
4	144	DP150+005_B_AL_pb2	AL	8,17	5,97
5a	153	DP156+068_B_KR_pb2	KR	8,05	4,90
5b	156	DP156+068_B_KR_pb2	KR	8,03	4,89
6a+b	164	B39A2377-001 (Dinoloket) nabij DP166	BIT	7,98	3,63

Dijkvak	Dijkpaal	Peilbuisnaam	Locatie	WBN 2073 [NAP+...m]	Stijghoogte BIT bij WBN 2073 [NAP+...m]
6c	172	B39A2379-001 (Dinoloket) nabij DP173	BIT	7,95	4,11
6d	183	DP180+027_B_AL_pb1	AL	7,93	4,55
7	190	DP192+096_B_KR_pb1	KR	7,89	6,43
8a	196	DP192+096_B_KR_pb1	KR	7,72	6,29
8b	203	B39A2382-001 (Dinoloket) nabij DP202	BIT	7,55	5,64

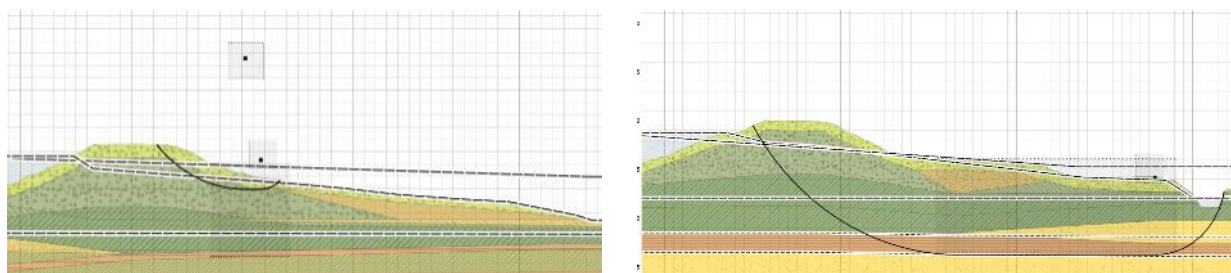
3.1.4 Opbarsten

Voor de locaties met een dunne deklaag (deklaagdikte < 4,0 m) of een tussenzandlaag is een opbarstberekening uitgevoerd, waarbij de totaalspanning aan de onderzijde van de deklaag in acht is genomen. Op basis van de stijghoogte in het watervoerend pakket is de grenspotential bepaald en toegepast in de stabiliteitsberekeningen. Zoals beschreven in §6.3.7 van de TUN [6] gebruiken we model UpliftVan bij een opbarstveiligheid groter van 1,2. In het geval de opbarstveiligheid kleiner is dan 1,2 dan geldt één van de drie onderstaande opties gehanteerd in combinatie met methode UpliftVan:

- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,2 en deklaag > 4 m;
 - Zonder aanpassing van sterkte eigenschappen van de grond;
- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,2 en deklaag < 4 m;
 - Met in de opbarstzone geen sterkte eigenschappen ($S = m = 0$);
- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,0 en deklaag < 4 m;
 - Met in de opbarstzone geen sterkte eigenschappen ($S = m = 0$)
 - Potential = grenspotential.

3.1.5 Definitie glijvlakken

In de stabiliteitsanalyse is onderscheid gemaakt in twee soorten glijvlakken, namelijk diepe- en hoge glijcirkels (Figuur 3-3). Waar diepe glijcirkels bij de binnentoe of teensloot uittreden, blijven hoge glijvlakken beperkt tot het binnentalud van de dijk. Beide glijvlakken zijn getoetst aan de stabiliteitseis van 1,43.

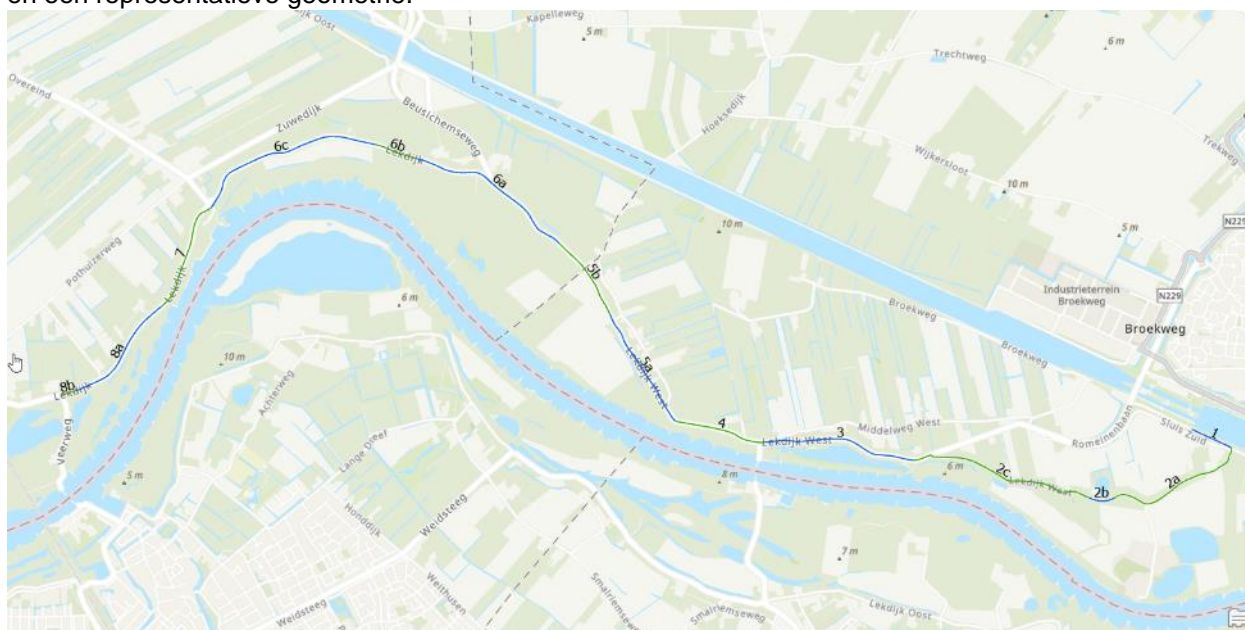


Figuur 3-3. Definitie hoge (links)- en diepe (rechts) glijcirkels

3.2 Selectie STBI locaties

Voor macrostabiliteit binnenwaarts is het deeltraject ICU onderverdeeld in 14 dijkvakken. Dijkvak 8b betreft de aansluiting op het deeltraject CUB. Bij het vaststellen van een dijkvakindeling is gekeken naar de geometrie, de bodemopbouw en de geohydrologische kenmerken. Bij de dijkvakindeling is voornamelijk gekeken naar de ondergrond. Voor het bepalen van de maatgevende profielen voor de berekeningen is

dus op dijkvakniveau onderscheid gemaakt in de bodemopbouw. Bij de keuze van het maatgevende profiel per dijkvak is in eerste instantie gekeken naar de meest ongunstige geometrie, aangezien de bodemopbouw langs het deeltraject ICU redelijk uniform is. Wanneer er binnen een dijkvak nog aanzienlijke verschillen zijn in de bodemopbouw die van invloed kunnen zijn op de stabiliteit, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een dikke veenlaag, is er gekozen voor een profiel met de maatgevende bodemopbouw en een representatieve geometrie.



Figuur 3-4 Dijkvakindeling macrostabiliteit binnenwaarts

3.3 Resultaten

In Tabel 3-1 zijn de resultaten opgenomen van de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit. In Bijlage B zijn de bijbehorende maatgevende glijvlakken opgenomen. Hierbij is in eerste instantie gekeken naar het maatgevende glijvlak, de glijcirkel met de laagste stabiliteitsfactor. Indien binnen een dijkvak een hoog of ondiep glijvlak door het binnentalud maatgevend blijkt te zijn, is een aanvullende beschouwing uitgevoerd om te bepalen wat de stabiliteitsfactor is van het diepe glijvlak. Dit omdat een hoog of ondiep glijvlak niet per definitief tot falen van de waterkering leidt terwijl dat wel is waar we naar op zoek zijn. De stabiliteitsanalyse is uitgevoerd volgens het UpliftVan-model. In Tabel 3-1 en Figuur 3-5 zijn de berekeningsresultaten van de binnenwaartse stabiliteit bij WBN opgenomen. In Figuur 3-5 is onderscheid gemaakt in arcering voor hoge en diepe glijcirkels. De totstandkoming van de twee verschillende stabiliteits-eis is uitgewerkt in de rapportage schematiseringsfactor [12] dat als bijlage aan de TUN is toegevoegd.

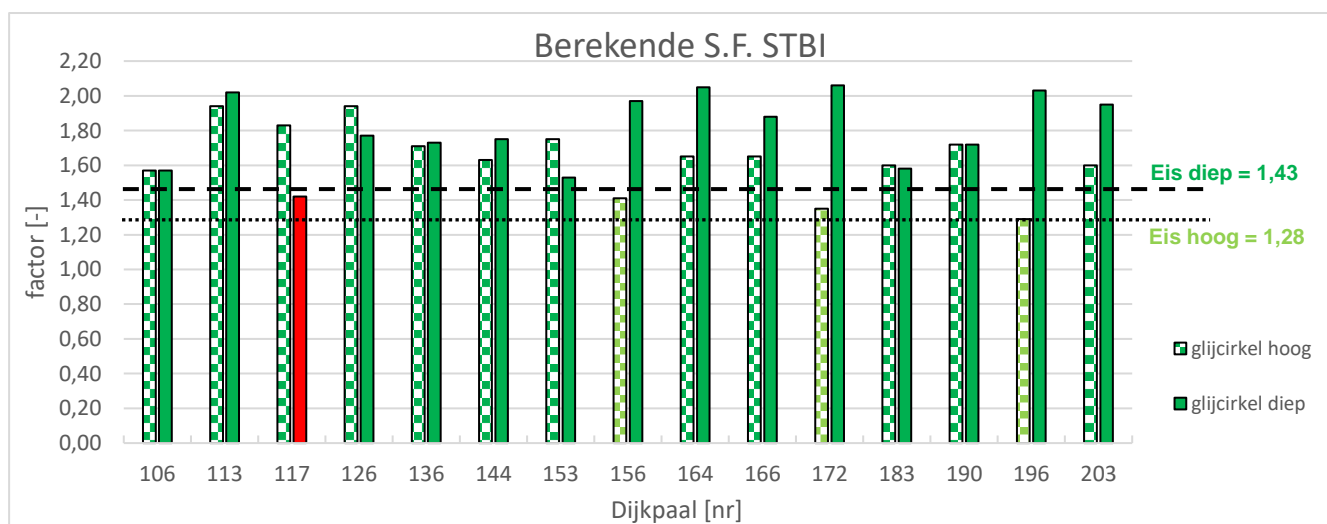
Tabel 3-1 Resultaten STBI (Stabiliteitseis diepe glijvlakken $\geq 1,43$; hoge glijvlakken $\geq 1,28$). Zie §3.1.1

Dijkvak	Dijkpaal	Hm grondopbouw	Type glijcirkel	S.F. STBI [-]	Oordeel
1	106	106+000	hoog	1,57	Voldoet
			diep	2,02	Voldoet
2a	113	112+032	hoog	1,94	Voldoet
			diep	1,77	Voldoet
2b	117	117+000	hoog	1,83	Voldoet
			diep	1,42**	Voldoet niet
2c	126	126+000	hoog	1,94	Voldoet
			diep	1,73	Voldoet
3	136	137+008	hoog	1,71	Voldoet

Dijkvak	Dijkpaal	Hm grondopbouw	Type glijcirkel	S.F. STBI [-]	Oordeel
4	144	144+000	diep	1,75	Voldoet
			hoog	1,63	Voldoet
5a	153	153+000	diep	1,53	Voldoet
			hoog	1,75	Voldoet
5b	156	156+000	diep	1,97	Voldoet
			*hoog	1,41	Voldoet (eis=1,28)
6a+b	164	163+090	diep	2,05	Voldoet
			hoog	1,65	Voldoet
6c	172	172+051	diep	1,88	Voldoet
			*hoog	1,35	Voldoet (eis=1,28)
6d	183	183+005	diep	2,06	Voldoet
			hoog	1,60	Voldoet
7	190	189+055	diep	1,58	Voldoet
			hoog	1,717	Voldoet
8a	196	196+000	diep	1,720	Voldoet
			*hoog	1,29	Voldoet (eis=1,28)
8b	203	203+000	Diep, sloot	2,03	Voldoet
			hoog	1,60	Voldoet
			diep	1,95	Voldoet

*Voor de hoge glijvlakken is een aparte schematiseringsfactor bepaald, omdat er sprake is van minder onzekerheden ten opzichte van een diep glijvlak. De lagere schematiseringsfactor heeft geleid tot een stabiliteitseis van 1,28. Zie hiervoor [12].

**de afstand tot de doorsnede-eis is beperkt. Dit is de doorsnede bij het Wiel waardoor onzekerheden bestaand over het binnendijkse gebied. Denk hierbij aan diepte en bodemgesteldheid van het wiel of taludhelling van onderwatertalud. Daarom is voor deze maatwerklocatie een constructieve stabiliteitsmaatregel opgenomen in het VKA.



Figuur 3-5. Beoordeling stabiliteit binnenwaarts per dijkpaal

Bij de beoordeling van de stabiliteitsberekeningen is voor de “ongedraineerde klei zwaar” lagen de SU-tabel afkomstig uit deeltraject WAM gehanteerd. Over de gehele breedte resulteert dit in gunstigere stabiliteitsfactoren. Op verzoek van het waterschap is voor een aantal dijkvakken (vaak de “slechtste”) een vershilanalyse uitgevoerd. Dit om het verschil in stabiliteitsfactoren tussen SHANSEP parameters (uitgangspunten voorafgaande van het VKA) en het gebruik van de SU tabel (tijdens VKA) inzichtelijk te

krijgen. In Tabel 3-2 zijn de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse weergegeven. Voor alle dijkvakken is de stabiliteitsfactor toegenomen ten opzichte van de berekende stabiliteitsfactor volgens het SHANSEP rekenmodel. Een toename in de stabiliteitsfactor is volgens verwachting. De mate van deze toename ligt flink lager dan bij het andere deeltraject WAM.

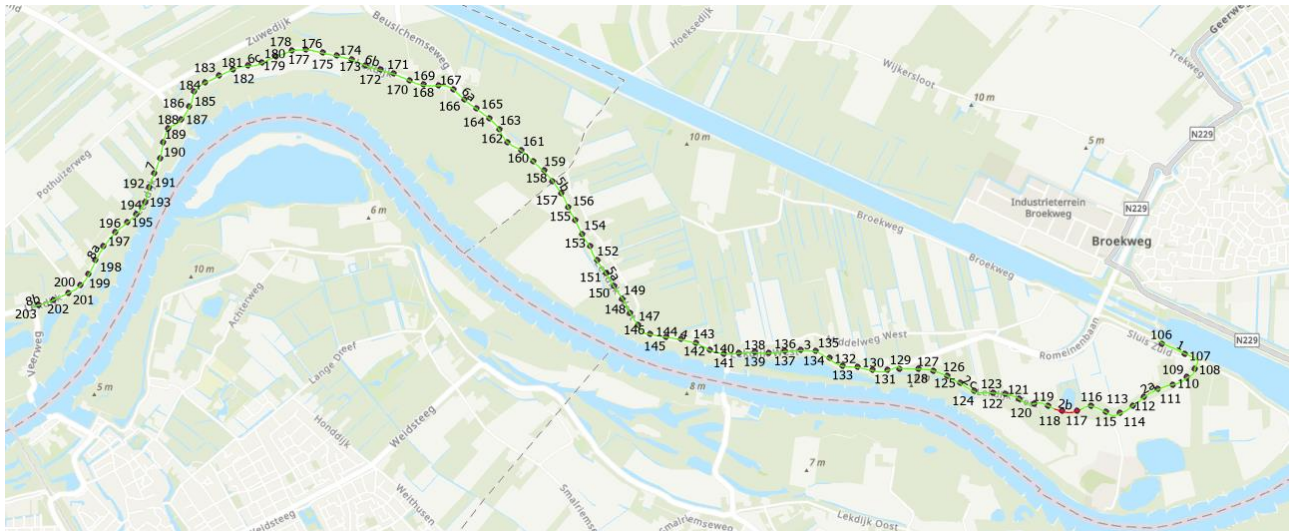
Tabel 3-2. Resultaten verschilanalyse SU-tabel versus eerdere SHANSEP parameters (*afgerond)

Dijkvak	Resultaten VKA o.b.v. Shansep parameters	Resultaten VKA o.b.v. Su-tabel	Vershil SF	Toename SF
2b	1,35	1,42	+0,07	5%
2c	1,66	1,73	+0,07	5%
6d	1,60	1,63	+0,03	2%
7	1,66	1,72	+0,06	4%
8a	2,02	2,03	+0,02*	1%

3.4 Conclusie

In dit hoofdstuk is de veiligheidsopgave met betrekking tot het faalmechanisme STBI nader beschouwd. Op basis van deze beschouwing trekken wij de volgende conclusies:

- Door het toepassen van een SU-tabel voor de ongedraineerde Klei zwaar lagen vallen de berekende stabiliteitsfactoren gunstiger (hoger) uit dan bij gebruik van de S en m parameters volgens SHANSEP. Hierdoor voldoen de diepe glijvlakken aan de stabiliteitseis voor STBI bij 13 van de 14 dijkvakken.
- De verhoging van de responsfactor met 10% in de VKA-fase heeft een beperkt negatief effect op de berekende stabiliteitsfactoren. De verhoging resulteert niet in nieuwe scope voor STBI.
- Op basis van verificatierapport van de schematiseringsfactor dient een minimale waarde van 1,15 gehanteerd te worden [12]. Deze waarde ligt hoger dan de 1,10 welke eerder werd gehanteerd op basis van de schematiseringfactor uit deeltraject CUB. Deze verhoging leidt niet tot extra scope.
- Dijkvak 2b is aangemerkt als maatwerklocatie. Dit dijkvak wordt gekenmerkt door een wiel direct langs de binnentoeen dat is ontstaan door een dijkdoorbraak in het verleden. Dit dijkvak voldoet met een berekende stabiliteitsfactor van 1,42 net niet aan de eis voor binnenwaartse stabiliteit. Bij dit dijkvak dient echter rekening gehouden te worden met een extra onzekerheid van de grondopbouw vanwege een zandbaan en oude stroomgeul tijdens de doorbraak. Voor de planuitwerkingsfase is het advies om extra (grond)onderzoek uit te voeren om meer inzichtelijk te krijgen wat de grondopbouw onder en naast het wiel is.
- Bij de stabiliteitsanalyse van dijkvak 5b, 6c en 8a ontstaan hoge, maatgevende, glijvlakken langs het binnentalud. De gemiddelde taludhelling ligt hier tussen 1:2 en 1:2,5, waardoor minder stabiliteit wordt behaald. Na verificatie van de schematiseringsfactor specifiek voor dit type glijvlak voldoen deze dijkvakken alsnog wel doordat een lagere schematiseringsfactor van toepassing is, waardoor de faalkanseis voor dit hoge glijvlak lager is. Vanwege de beheeropgave binnendijs, waarbij het talud verflauwd wordt naar 1:3, zullen deze dijkvakken ook zonder aanpassing van de schematiseringsfactor voldoen.



Figuur 3-6. Beoordeling ICU STBI

3.5 Aanbevelingen

Op basis van de gehanteerde uitgangspunten en de resultaten uit de stabiliteitsberekeningen zijn de volgende acties aan te bevelen:

- Aan de “Klei, toplaag” en “Dijkmateriaal, toplaag” is nu een cohesie van 5 kPa toegewezen. Deze cohesie heeft voornamelijk invloed op de hoge glijcirkels. Aannemelijk is dat elke cohesieve laag een vorm van zuigingskracht tussen de korrels bevat. Daarom wordt aanbevolen om een cohesie werking toe te passen in de toplaag van 1 meter van 1 tot maximaal 5 kPa.
- Het gebruik van een SU-tabel wijkt af van de standaard voorgeschreven methode SHANSEP conform het OI2014v4 [9]. De toegepaste SU tabel is afkomstig uit deeltraject WAM, waardoor hier een onzekerheid zit in de betrouwbaarheid van de waardes omdat de brondata niet locatie specifiek voor ICU is ingewonnen. Aangezien deze methode gunstiger uitpakt dan bij gebruik van het S/m SHANSEP principe kan dit dan ook als een risico worden beschouwd. Aanbeveling is daarom om de su-tabel feitelijk af te leiden voor ICU. Zie Tabel 3-2 voor de resultaten van vergelijkende berekeningen.
- Ter plekke van het Wiel kan met nader onderzoek een beter beeld verkregen worden van de bodemligging en bodemgesteldheid. Ook metingen aan bijvoorbeeld helling van het onderwatertalud geven een beter inzicht in de opgave die hier ontworpen dient te worden.

3.6 Reflectie

Zoals gebruikelijk is bij het bepalen van de potentiaal, is in het watervoerend pakket geen tijdeffect meegenomen. De afstand tussen de binnenteen en een sloot in het achterland kan hier echter wel groot zijn. Op dit moment is de maatgevende opbarstlocatie altijd genomen in de sloot uitgaande van een horizontale en gelijktijdige hoge potentiaal in het watervoerend pakket. Door de grote afstand tussen binnenteen en sloot kan een tijdeffect in het opbouwen van de potentiaal mogelijk invloed hebben op de maatgevende opbarstlocatie. Hierover is echter nog geen kennis beschikbaar waardoor dit fenomeen (andere opbarstlocaties als gevolg van een tijdsafhankelijke drukopbouw in het watervoerendpakket) niet is beschouwd.

4 Piping (STPH)

In dit hoofdstuk volgt de beoordeling voor het hoofdmechanisme piping en heave. Per dijkpaal is het profiel geschematiseerd en zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten opgesteld. Falen van de dijk op het mechanisme piping houdt in dat allereerst opbarsten plaatsvindt, gevolgd door heave en vervolgens terugschrijdende erosie. Wanneer de dijk voldoet op één van de drie deelmechanismen, is het totaaloordeel voldoende. Indien een dijkpaal op alle drie de deelmechanismen geen voldoende oordeel heeft behaald is het methodische totaal oordeel “onvoldoende”. Waar dat het geval is zijn optimalisaties doorgevoerd zoals het toepassen van de beslisboom piping (paragrafen 4.7 en 4.8) en het uitvoeren van D-Geo Flow berekeningen (paragraaf 4.9).

4.1 Uitgangspunten

De randvoorwaarden en uitgangspunten voor de beoordeling op opbarsten, heave en piping zijn benoemd in de TUN [2]. Daarop zijn de volgende randvoorwaarden en uitgangspunten toegepast.

4.2 Veiligheidsfactor

Voor elk van de drie deelfaalmechanismen is de vereiste veiligheidsfactor afgeleid. Onderstaande tabel geeft deze weer. De onderbouwing van deze factoren is te lezen in §6.2.4 van de TUN [6].

Deelfaalmechanisme	$F_{\min;up}$	$F_{\min;he}$	$F_{\min;pip}$
Schadefactor	1,78	1,36	1,35
Schematiseringsfactor	1,1		
Veiligheidsfactor	1,96	1,49	1,49

4.3 Beoordeling opbarsten

In voorliggende paragraaf is een overzicht gegeven van de uitgevoerde analyses en de resultaten van de beoordeling op opbarsten bij het faalmecanisme piping (STPH). De onderliggende berekeningen zijn opgenomen in Bijlage C.

4.3.1 Analyse

De veiligheid tegen opbarsten is beschouwd op basis van het evenwicht van de korrelspanningen in de cohesieve deklaag. Er is veiligheid tegen opbarsten wanneer het optredende stijghoogteverschil over de deklaag ter plaatse van het uittredpunt $\Delta\phi$ kleiner is dan het kritieke stijghoogteverschil over de deklaag $\Delta\phi_{c,u}$. Om te bepalen of er voldaan wordt op opbarsten wordt de volgende verificatie uitgevoerd.

$$\Delta\phi \leq \frac{\Delta\phi_{c,u}}{\gamma_{up} \cdot \gamma_{b,up}}$$

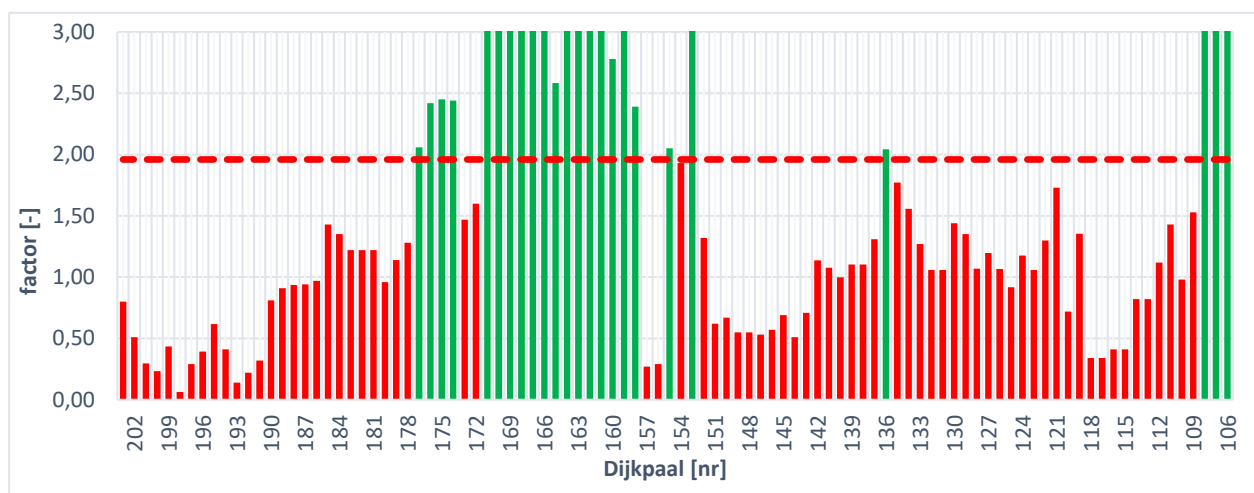
Waarin:

$\Delta\phi$	Optredend stijghoogteverschil [m]
$\Delta\phi_{c,u}$	Kritiek stijghoogteverschil over de deklaag [m]
γ_{up}	Betrouwbaarheidsindex afhankelijke veiligheidsfactor voor opbarsten [-]
$\gamma_{b,up}$	Schematiseringsfactor, voor de onzekerheid over de ondergrondopbouw en de water(over)spanningen bij het deelfaalmecanisme opbarsten [-]

Ten behoeve van de Nota kansrijke Oplossingen (NKO) is de opbarstveiligheid herzien door gebruik te maken van de Beslisboom Piping. Voor nadere toelichting zie § 4.7.

4.3.2 Resultaten

Per dijkpaal zijn de veiligheidsfactoren voor opbarsten afgeleid. Er wordt voldaan aan opbarsten wanneer de veiligheidsfactor groter of gelijk is aan de benodigde stabiliteitsfactor voor opbarsten. De veiligheidsfactor voor opbarsten is verkregen door het kritieke stijghoogteverschil te delen door het optredende stijghoogteverschil. De benodigde stabiliteitseis bedraagt 1,96. In onderstaande kolomdiagram zijn de resultaten grafisch weergegeven. De rode lijn betreft de benodigde stabiliteitsfactor voor opbarsten. Alle dijkpaalen met een rode staaf voldoen dus niet aan de gestelde eis van 1,96. De dijkpaalen met een groene staaf voldoen wel. Voor de toepassing van de beslisboom piping op dit deelmechanisme zie §4.7



Figuur 4-1: Beoordeling op opbarsten per dijkpaal

4.4 Beoordeling heave

In voorliggende paragraaf is een overzicht gegeven van de uitgevoerde analyse en de resultaten van de beoordeling op heave bij het faalmechanisme STPH. De onderliggende berekeningen zijn opgenomen in Bijlage C.

4.4.1 Analyse

De veiligheid tegen het deelmechanisme heave wordt beschouwd door de optredende heave gradiënt te vergelijken met de kritieke heave gradiënt $i_{c,h}$. De kritieke heave gradiënt $i_{c,h}$ waarbij de grenstoestand optreedt is vastgesteld op 0,3. Om te bepalen of er voldaan wordt op heave wordt de volgende verificatie uitgevoerd.

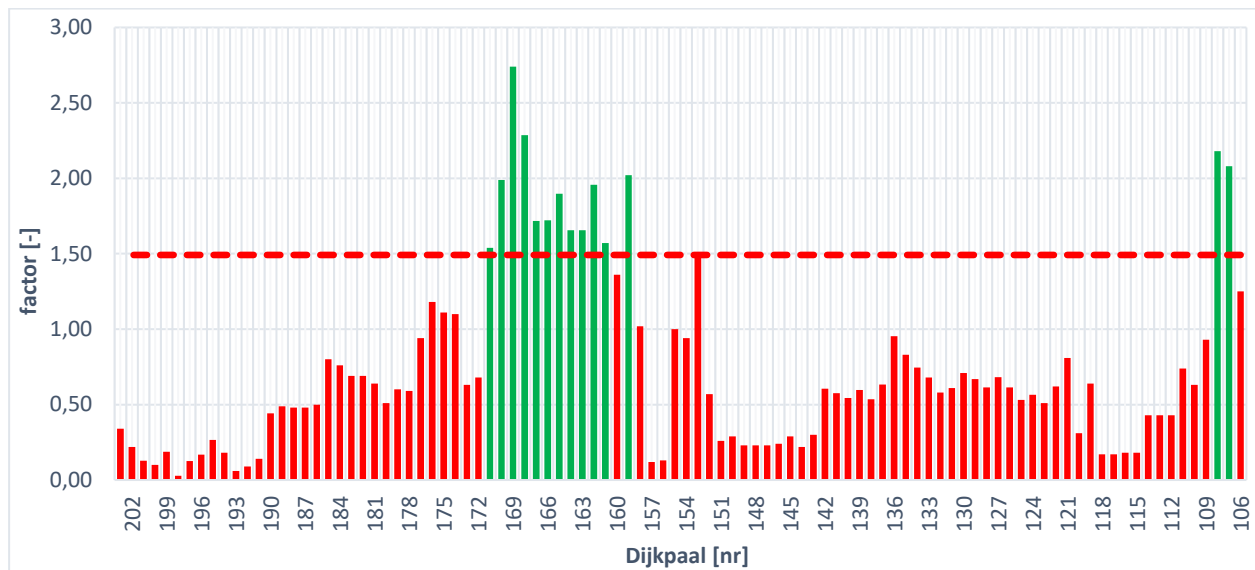
$$\frac{i_{c,h}}{i} \geq \gamma_{he} \cdot \gamma_{b,he}$$

Waarin:

- i Optredende heavegradiënt [-]
- $i_{c,h}$ Kritieke heave gradiënt, in het OI2014v4 gesteld op 0,3

4.4.2 Resultaat

Per dijkpaal zijn de veiligheidsfactoren voor heave afgeleid. Er wordt voldaan aan heave wanneer de veiligheidsfactor groter of gelijk is aan de benodigde stabiliteitsfactor voor heave. De veiligheidsfactor voor heave wordt verkregen door de kritieke heave gradiënt te delen door de optredende heave gradiënt. De benodigde stabiliteitseis bedraagt 1,49. In onderstaande kolomdiagram zijn de resultaten grafisch weergegeven. Op de horizontale as zijn de dijkpalen weergegeven. De verticale as toont de stabiliteits-factor. De rode lijn betreft de stabiliteitseis voor heave.



Figuur 4-2: Beoordeling op heave per dijkpaal

4.5 Beoordeling piping

In voorliggende paragraaf is een kort overzicht gegeven van de uitgevoerde analyse en de resultaten van de beoordeling op het deelmechanisme terugschrijdende erosie. De onderliggende berekeningen zijn opgenomen in Bijlage C.

4.5.1 Analyse

De weerstand tegen het deelmechanisme piping (terugschrijdende erosie) wordt bepaald aan de hand van de aangepaste rekenregel van Sellmeijer. De waterkering voldoet op piping wanneer het optredende verval ΔH kleiner is dan het kritieke verval $\Delta H_{c,p}$. Om te bepalen of er voldaan wordt op piping wordt de volgende verificatie uitgevoerd.

$$\frac{\Delta H_{c,p}}{\Delta H} \geq \gamma_{pip} \cdot \gamma_{b,pip}$$

Waarin:

ΔH	Optredende verval over de waterkering [m]
$\Delta H_{c,p}$	Kritieke verval [m]
γ_{pip}	Betrouwbaarheidsindex afhankelijk veiligheidsfactor voor piping [-]
$\gamma_{b,pip}$	Schematiseringsfactor, voor de onzekerheid over de ondergrondopbouw en de water(over)spanningen bij het faalmechanisme piping [-]

4.5.2 Resultaat

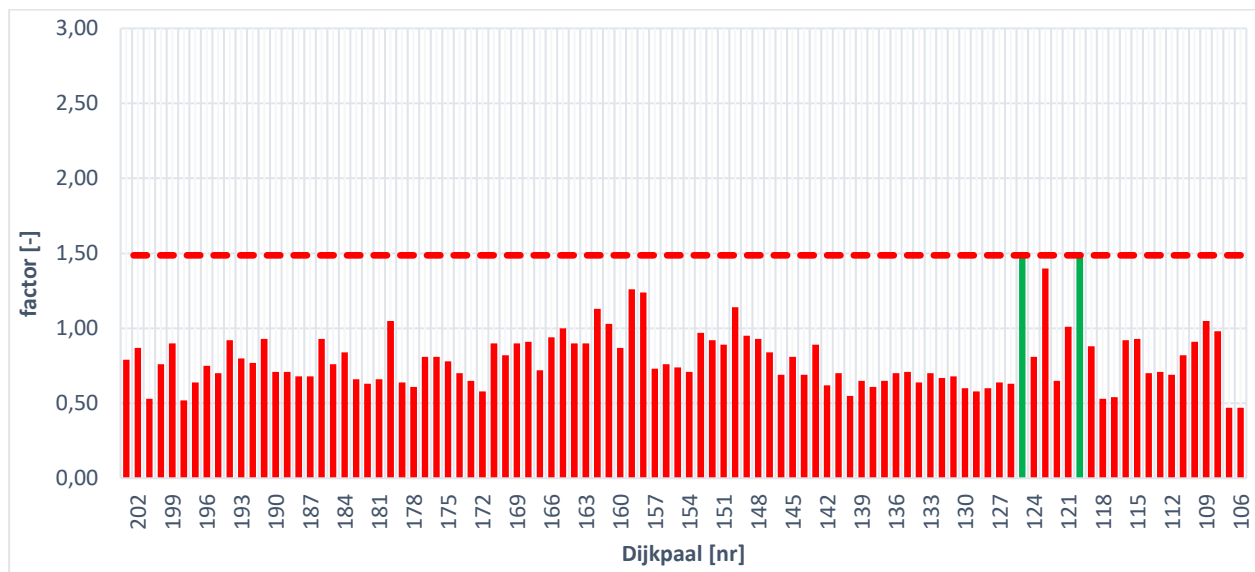
Per dijkpaal zijn de veiligheidsfactoren voor piping afgeleid. Er wordt voldaan aan piping wanneer de veiligheidsfactor groter of gelijk is aan de benodigde stabiliteitsfactor voor piping. De veiligheidsfactor voor piping wordt verkregen door het kritieke verval te delen door het optredende verval. De benodigde stabiliteitseis bedraagt 1,49. In onderstaande kolomdiagram zijn de resultaten grafisch weergegeven. Op de horizontale as zijn de dijkpalen weergegeven. De verticale as toont de stabiliteitsfactor. De rode lijn betreft de benodigde stabiliteitseis voor piping.

In de fase van het VKA is de beoordeling op terugschrijdende erosie herzien. Aan de hand van voorlandonderzoek (handboringen, geofysisch onderzoek) is geverifieerd of de deklaagdikte voldoende is om het intredepunt rivierwaarts te verleggen. In de Strategische Nota van Uitgangspunten [1] wordt een deklaagdikte van minimaal 1 meter voorgeschreven. De verlegging bedraagt maximaal 1x de dijkbasis (kwelweglengte dan gelijk aan 2x dijkbasis), om ervoor te zorgen dat de kritieke pipelengte niet in het voorland uitkomt.

De resultaten van het voorlandonderzoek worden besproken in §4.8. De extra meegenomen kwelweglengten per dijkpaal zijn opgesomd in Tabel 4-1. Voor alle andere dijkpalen is het uitgangspunt dat de aanwezige kwelweglengte gelijk is aan 1x dijkbasis. In Figuur 4-3 zijn de resultaten van de toets op terugschrijdende erosie gepresenteerd. In deze resultaten is de extra kwelweglengte o.b.v. het (geofysisch) voorlandonderzoek in meegenomen.

Tabel 4-1: Extra kwelweglengte per dijkpaal o.b.v. het (geofysisch) voorlandonderzoek.

Dijkpaal	Extra kwelweglengte
115	35m
116	17m
120	17,11m
123	68,5m (1x dijkbasis)
125	71,78m (1x dijkbasis)
179	71,78m
180	71,78m (1x dijkbasis)
191	14m
194	10m
195	15m
196	18m
197	30m
198	30m
199	40m
200	42,5m

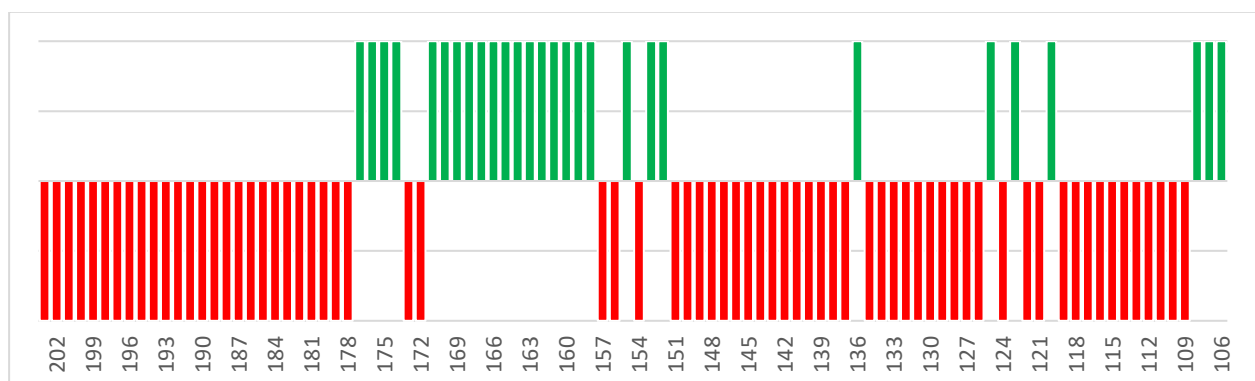


Figuur 4-3: Oordeel terugschrijdende erosie per dijkpaal.

In Figuur 4-3 is per dijkpaal het oordeel op terugschrijdende erosie weergegeven. Merk hierbij op dat DP123 met een stabiliteitsfactor van 1,40 net niet voldoet aan de eis van 1,49. Deze eis geldt bij een schematiseringsfactor van 1,1. Bij DP123 wordt het Pleistocene watervoerend pakket getoetst met een deklaag zonder Holocene (tussen)zandlagen. Voor de schematiseringsfactor is in dat geval een waarde van 1,01 uitgerekend, zie tabel 6-1 van de TUN [6]. Deze optimalisatie leidt voor deze dijkpaal tot een bijgestelde eis van 1,37 waardoor de dijkpaal goedgekeurd wordt op terugschrijdende erosie.

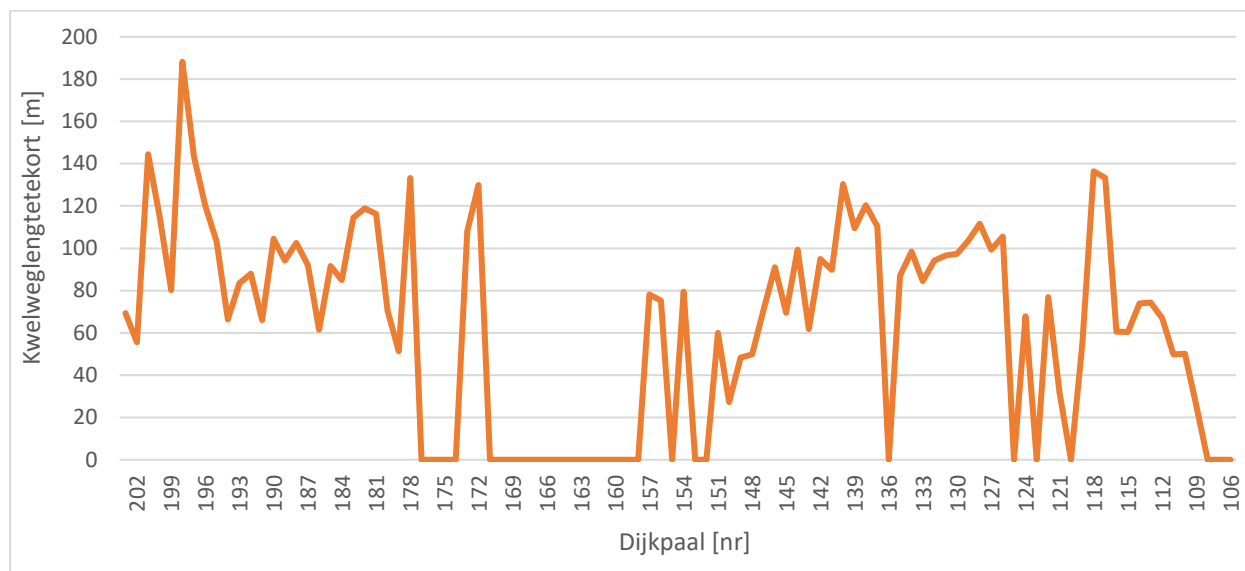
4.6 Voorlopig resultaat STPH

Om tot een voldoende eindoordeel te komen dient één van de bovenstaande beoordelingen (opbarsten, heave en piping, zie voorgaande 3 paragrafen) een voldoende te scoren. Daarom zijn de bovenstaande oordelen gecombineerd. In onderstaande afbeelding is een overzicht gegeven van de eindscore van het dijktraject ICU. Dijkpalen waar het oordeel voldoende is, zijn aangegeven in een groene kleur en dijkpalen waar het oordeel onvoldoende is zijn aangemerkt met rood. Merk op dat DP152 is goedgekeurd, maar op basis van de eerdere figuren op geen enkel deelmechanisme lijkt te voldoen. Dit komt omdat in de figuren de ongunstigere stabiliteitsfactor (tussen een tussenwandlaag en watervoerend pakket) is opgenomen. Het watervoerend pakket van deze dijkpaal voldoet op opbarsten en heave en de tussenwandlaag op terugschrijdende erosie.



Figuur 4-4: Assemblage deelfaalmechanismen STPH

Voor de dijkpalen die geen voldoende scoren op het faalmechanisme piping is het kwelweglengtetekort bepaald, zie Figuur 4-5.



Figuur 4-5: Kwelweglengtetekorten per dijkpaal

In totaal zijn er 98 locaties (dijkpalen) beoordeeld op het faalmechanisme piping. In onderstaand overzicht is per deelmechanisme aangegeven hoeveel locaties zijn goedgekeurd of afgekeurd.

Tabel 4-2: Resultaten per deelfaalmechanisme

Deelfaalmechanisme	Totaal aan DWP	Goedgekeurd	Afgekeurd
Opbarsten	98	24	74
Heave	98	14	84
Piping	98	3	95
Totaal (geassembleerd)	98	28	70

In totaal blijkt dat 28,5% van de totale lengte van de waterkering nu voldoet. Met een trajectlengte van 9,9 km komt dit overeen met 2,9 km. Hierdoor blijft er nog 7,0 km over aan versterkingsopgave.

4.7 Beslisboom piping

Uit de resultaten van de piping berekeningen blijkt dat over 7,0 km de dijk niet aan de faalkanseis voldoet. Echter, uit de analyses blijkt dat op een groot aantal locaties binnendijks een deklaag voorkomt die dikker is dan 4 à 6 m. Ook bevindt zich op veel locaties een behoorlijk lang voorland. Op basis hiervan lijkt de kans op het voorkomen van piping kleiner. Binnen Sterke Lekdijk wordt voor dit soort situaties de Beslisboom piping toegepast. Daarin zijn twee optimalisaties voorgesteld in de vorm van hypothesen. Deze optimalisaties zijn vooralsnog hypothesen, omdat onderzoek gaande is of wordt opgestart voor het vertalen van de nieuwe inzichten naar rekenregels.

Merk op dat de beslisboom is opgesteld om de piping-opgave uit te stellen wanneer er twijfel bestaat over de noodzaak van piping-maatregelen. Uitstel moet hier worden opgevat als het winnen van tijd om later een gedetailleerde piping analyse uit te voeren volgens de nieuwe inzichten, op basis van metingen en

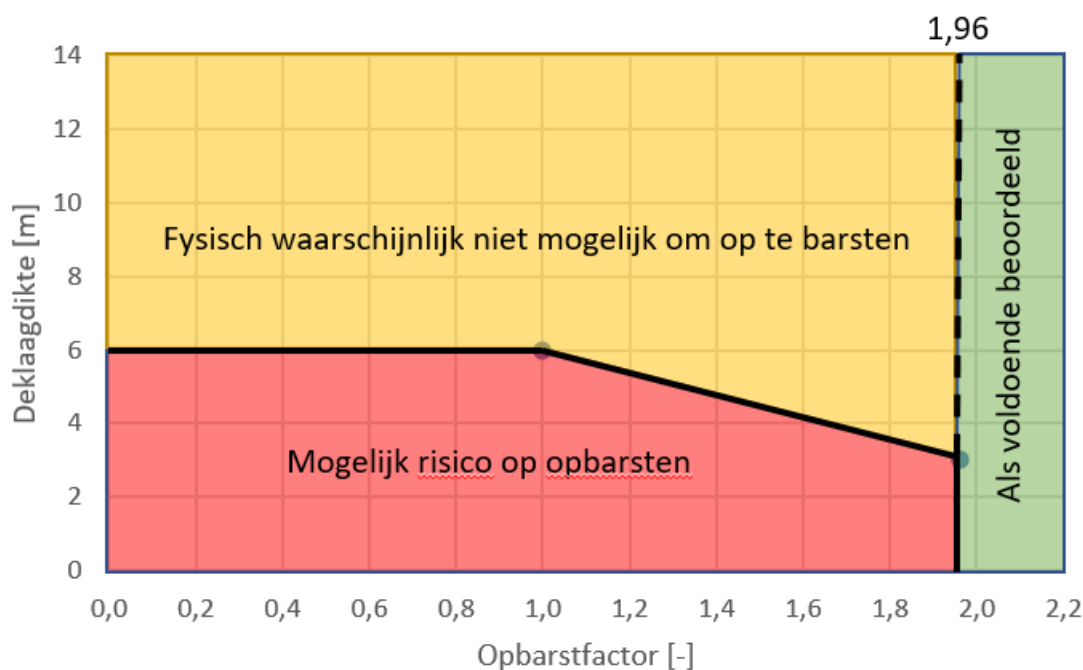
uitgewerkt met gevalideerde software [13]. De versterkingsoplossing wordt wel ontworpen maar pas generaliseerd als verificatie van de hypothesen niet mogelijk blijkt [14]. Daarnaast zullen de maatregelen getroffen dienen te worden zoals van toepassing bij uitstel op basis van de Beslisboom Piping. Denk hierbij aan monitoring en beheersmaatregelen in de tussentijd conform de zorgplicht. De uitwerking hiervan ligt buiten de strekking van de Verkenningfase waardoor de uitwerking aan HDSR gelaten wordt. HDSR is momenteel bezig met de uitwerking van een handelingsperspectief.

4.7.1 Hypothese 1

4.7.1.1 Analyse

De eerste hypothese heeft betrekking op het opbarsten van de deklaag. Onderzoek wijst uit dat het zeer onwaarschijnlijk is dat de deklaag zal opbarsten indien deze dikker is dan 3 à 4 meter. In de methodiek van de huidige rekenregels wordt geen rekening gehouden met sterkte (cohesie) en stijfheid van de deklaag. Ook wordt geen rekening gehouden met optredende horizontale krachten als resultaat van het gewicht van de dijk. De hypothese is dat de deklaag zal opdrijven, maar dit, door de bovengenoemde fenomenen, niet zal leiden tot opbarsten. Het is niet mogelijk om de deklaagdikte per locatie met zekerheid te bepalen aan de hand van uitgevoerd onderzoek. Om het risico van de variatie mee te nemen wordt in deze hypothese de opbarstfactor meegewogen.

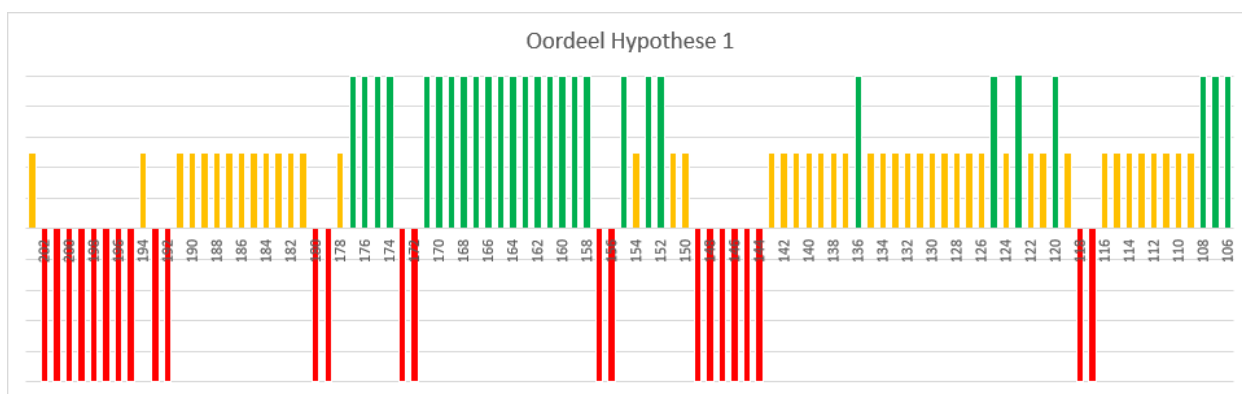
De hypothese is toegepast voor deeltraject SAS [15] en is goedgekeurd voor gebruik binnen ICU. Er is een grafiek opgesteld waarin drie zones zijn onderscheiden aan de hand van opbarstfactor en deklaagdikte; "Voldoet", "Voldoet niet" en "Fysisch waarschijnlijk niet mogelijk om op te barsten". Hierin refereert "Voldoet" aan het oordeel aan de hand van de huidige rekenregels, een veiligheidsfactor groter dan eis. "Fysisch waarschijnlijk niet mogelijk om op te barsten" refereert aan de combinatie van opbarstfactor en deklaagdikte wat niet voldoet aan de huidige rekenregels, maar onderzoek aantoont dat het onwaarschijnlijk is dat het op zal barsten. "Voldoet niet" refereert aan een combinatie van (effectieve) deklaagdikte en opbarstfactor wat niet voldoet aan de huidige rekenregels en nieuw onderzoek. Deze grafiek is aangepast aan de vereiste veiligheidsfactor van deeltraject ICU. Voor ICU is een dikte van de binnendijkse deklaag van >6m gehanteerd.



Figuur 4-6: Grafiek onderdeel van de beslisboom opgesteld voor de beoordeling van de opbarstveiligheid.

4.7.1.2 Resultaten

Voor de dijken die niet voldoen aan piping is het deelmechanisme opbarstveiligheid opnieuw beschouwd aan de hand van Figuur 4-6. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-7. De locaties die door de Beslisboom Piping hypothese 1 worden goedgekeurd zijn in gele kleur weergegeven. Door gebruik te maken van hypothese 1, wordt de piping opgave gereduceerd tot 21 dijken. Voor de dijken met het oordeel “Fysisch waarschijnlijk niet mogelijk” dienen wel beheersmaatregelen te worden opgesteld.



Figuur 4-7: Beoordeling op piping per dijkpaal na het gebruik van hypothese 1 van de beslisboom.

4.7.2 Hypothese 2

De tweede hypothese veronderstelt dat door dichtslibbing weerstand optreedt in zandige voorlanden. Dit betekent dat de grondwaterstand ter plaatse van het intredepunt en hiermee ook het optredende verval over het eerder aangenomen intrede- en uitredepunt lager is. Hierdoor wordt het kritieke verval niet

overschreden en kan er geen terugschrijdende erosie plaatsvinden. Het kritieke verval treedt dus op enige afstand van het eerder aangenomen intredepunt op. Of in andere woorden: het intredepunt verschuift van de dijk af en daarmee neemt de aanwezige kwelweglengte toe. De kwelweglengte is de afstand tussen het intredepunt van de kwelstroming en het uitredepunt. Bij lange voorlanden is het intredepunt soms moeilijk vast te stellen. In deze gevallen wordt een fictief intredepunt bepaald. De afstand van het fictieve intredepunt tot het uitredepunt noemen we de effectieve kwelweglengte. Als het onder water staande voorland geen water doorlaat, dan ligt het intredepunt aan de rand van het voorland. Als het onder water staande voorland wel water doorlaat, dan ligt het fictieve intredepunt ergens tussen de rand van het voorland en de buitenteen van de dijk. Het fictieve intredepunt is gelijk aan de locatie waar de stijghoogte in het watervoerend pakket niet meer gelijk is aan de buitenwaterstand (φ_0) maar begint af te lopen naar de stijghoogte bij de buitenteen (φ_1) als gevolg van de weerstand in het voorland. De lengte waarover de weerstand van het voorland effect heeft op het stijghoogteverloop heet de spreidingslengte (λ_1). In situaties waarbij de lengte van het voorland veel groter is dan de spreidingslengte wordt het fictieve intredepunt bepaald door de spreidingslengte. Dit is voornamelijk het geval bij lange voorlanden of voorlanden met een dunne deklaag.

Er wordt verondersteld dat de toename van de kritieke kwelweglengte gelijk is aan de spreidingslengte, resulterend door de weerstand van het slib. Dit impliceert dat de fictieve intredelengte (spreidingslengte) gelijk is aan de effectieve intredelengte. Dit is het geval, omdat de berekende fictieve intredelengtes meerdere malen kleiner zijn dan de lengtes van de het aanwezige voorland. Merk op dat er wordt verondersteld dat het aanwezige voorland meerdere malen groter is dan de berekende spreidingslengte, waardoor deze gelijk is aan de effectieve intredelengte.

Volgens de hypothese mag bij de berekening van de spreidingslengte voor zandige voorlanden uitgegaan worden van een fictieve verticale doorlatendheid gelijk aan 1 m/dag over een fictieve deklaagdikte van 0,1m. Het doel van deze fictieve waarden is om een reële intredeweerstand in rekening te brengen gelijk aan 0,1 dag te realiseren.

De spreidingslengte is op dijkpalen met een negatief oordeel bepaald aan de hand van de volgende formule.

$$\lambda = \sqrt{kDd_1 / k_{v,1}}$$

Waarin,

λ = Spreidingslengte [m]

k = Horizontale doorlatendheid watervoerende zandlaag/pakket

D = Dikte watervoerende zandlaag/watervoerend pakket

$k_{v,1}$ = Verticale doorlatendheid dichtgeslibde deklaag [0,1m/dag]

d_1 = Fictieve dikte dichtgeslibde deklaag

4.7.2.1 Resultaten

Voor de dijkpalen die niet voldoen aan piping na het gebruik van hypothese 1 van de beslisboom is het deelmechanisme terugschrijdende erosie opnieuw beschouwd door de spreidingslengte te berekenen resulterend door dichtslibbing en dit op te tellen bij de aanwezige kwelweglengte.

Bij dijkpalen waar aan de hand van geofysisch onderzoek blijkt dat enige voorland met een dikte van 1m aanwezig is (DP179, DP180, DP191, DP194, 200 t/m 202), is op basis van de schematiseringshandleiding [16] het intredepunt verlegd. Bij deze dijkpalen is hypothese 2 niet toegepast, omdat het niet

mogelijk is om de effectieve intredelengte uit twee fictieve intredelengten (volgend uit de klei deklaag en dichtslibbing) analytisch te bepalen.

Bij alle beschouwde dijkpalen leidt de toegenomen kwelweglengte onvoldoende te zijn. Het toepassen van hypothese 2 leidt daarom niet tot reductie van de veiligheidsopgave. In Tabel 4-3 zijn de berekende kwelweglengte weergegeven.

Tabel 4-3: Kwelweglengtetekorten na toepassing hypothese 2.

Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m] na toepassing Sellmeijer	Spreidingslengte [m]	Kwelweglengtetekort [m] na toepassing Hypothese 2
117	133,23	14,62	118,61
118	136,37	14,86	121,51
144	15,37	3,62	11,76
145	14,62	3,84	10,78
146	26,10	3,84	22,26
147	10,75	3,84	6,91
148	10,90	4,13	6,78
149	8,82	4,13	4,7
156	75,20	5,45	69,75
157	78,14	5,45	72,70
172	129,88	19,86	110,02
173	108,17	17,88	90,29
192	17,30	3,62	13,68
193	27,82	3,77	24,06
201	144,38	20,82	123,56
202	21,53	4,77	16,76

4.8 Uitwerking aanvullend onderzoek voorland

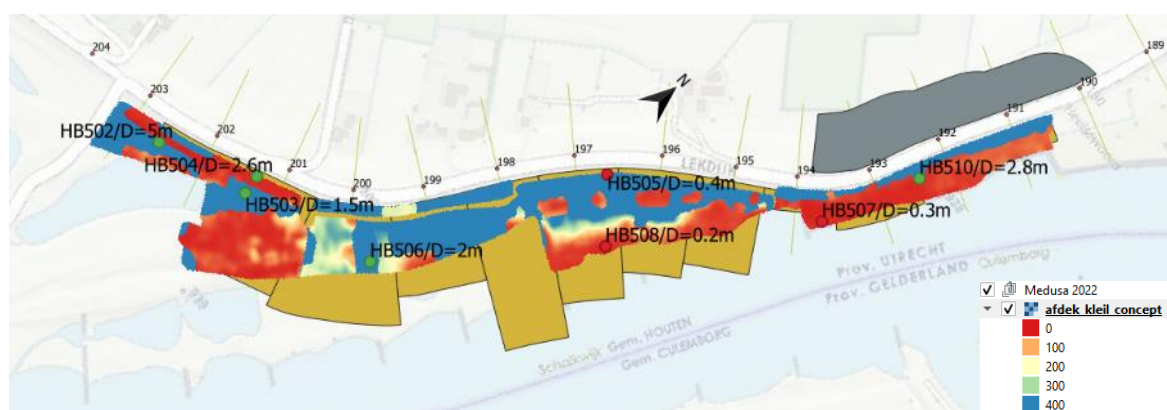
In onderstaande paragrafen is de invloed beschreven, die de nieuwe inzichten in de aanwezigheid van klei in het voorland opleveren voor de scope van ICU. Hierbij is gewerkt met het onderzoek uitgevoerd door Medusa in 2022 [17] en de handboringen ter verificatie hiervan, uitgevoerd door Inpijn-Blokpoel [18]. Ook is gebruik gemaakt van enkele sonderingen en een mechanische boring ter hoogte van dp120, eveneens uitgevoerd door Inpijn-Blokpoel [18].

4.8.1 Maatwerklocatie 1, Steenwaard

Deze maatwerklocatie in het meest westelijke deel van het dijktraject en heeft de grootste opgave. Op basis van het in 2022 uitgevoerde onderzoek naar de deklaagdikte blijft deze opgave bestaan. Zoals in onderstaande afbeelding is te zien, is niet over het gehele gebied de benodigde deklaagdikte in het voorland aanwezig. De bruine vlakken namelijk zijn de benodigde lengtes klei in het voorland met daar overheen de vastgestelde deklaag dikte.

Naast de resultaten van het geofysische onderzoek zijn ook de diktes toegevoegd op basis van controle-boringen. Over het algemeen komen de diktes overeen. Handboringen HB504 en HB510 wijken wel significant positief af. Deze boringen zijn lokaal, waardoor we op basis daarvan geen andere, vlakdekkende, conclusie trekken.

De aanvullende weerstand in het voorland is wel opgenomen in de uitwerking van hypothese 2 van de beslisboom piping, zie §4.7.2.

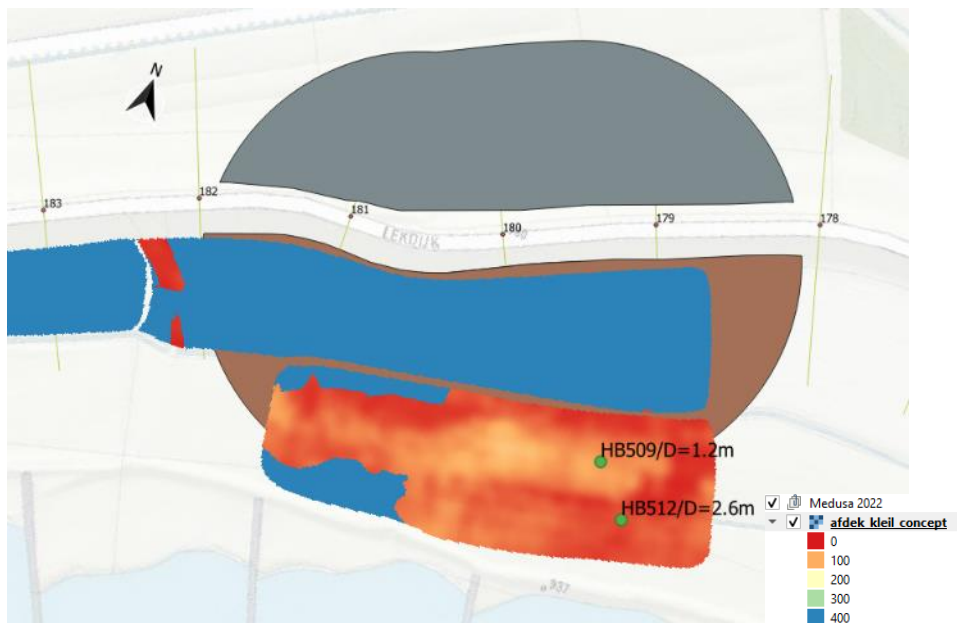


4.8.2 Maatwerklocatie 2, Schalkwijker Buitenwaard

Ter plaatse van dijkpaal 180 is een afwijkend oordeel gegeven op STPH in relatie tot de omliggende dijkpalen. Dit is verklaarbaar vanuit de maaiveldhoogte in het achterland en de bijbehorende dikte van de deklaag (maaiveld te laag en deklaagdikte ca. 20 cm te dun t.o.v. de vereiste 6 m Beslisboom Piping hypothese 1). Het voorland onderzoek laat zien dat niet over een voldoende groot oppervlakte de deklaag voldoende dik is (tenminste 1 m dik). Het toepassen van een verbetermaatregel blijft hier dan ook noodzakelijk op basis van het voorlandonderzoek. Wel wordt de aanwezige kwelweglengte, die nu aantoonbaar in het voorland aanwezig is, aangehouden als startpunt voor het ontwerp. Bij het ontwerpen van bindendijkse maatregelen kan deze dan kleiner worden gedimensioneerd.

De afwijkende waarde in de handboring HB512 is zodanig lokaal dat dit niet tot een andere conclusie leidt.

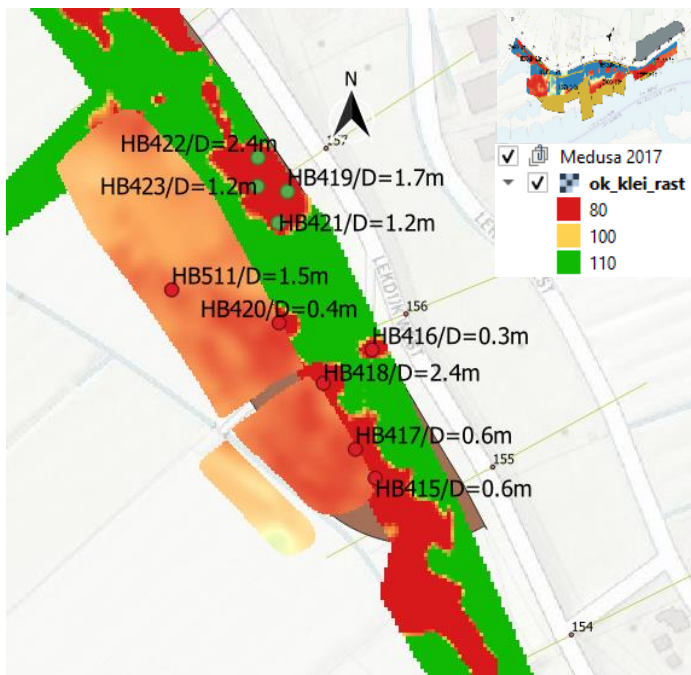
De aanvullende weerstand in het voorland is wel opgenomen in de uitwerking van hypothese 2 van de beslisboom piping, zie §4.7.2. Geadviseerd is deze situatie met behulp van D-GeoFlow berekeningen te modelleren. Eventueel kan daarna extra onderzoek gedaan worden in het voorland met behulp van handboringen. Deze dienen ter verificatie van het geofysisch onderzoek en ter onderbouwing van de aangenomen weerstand in het voorland.



4.8.3 Maatwerklocatie 3, Den Oord

In onderstaande afbeelding is in het bruine vlak weergegeven over welk gebied voldoende weerstand in het voorland aanwezig dient te zijn. Uit zowel het geofysisch onderzoek als de verificatie met behulp van handboringen blijkt deze niet aanwezig te zijn. De combinatie van de voorland onderzoeken uit 2017 en 2022 vormt een vlakdekkend beeld van het benodigde voorland.

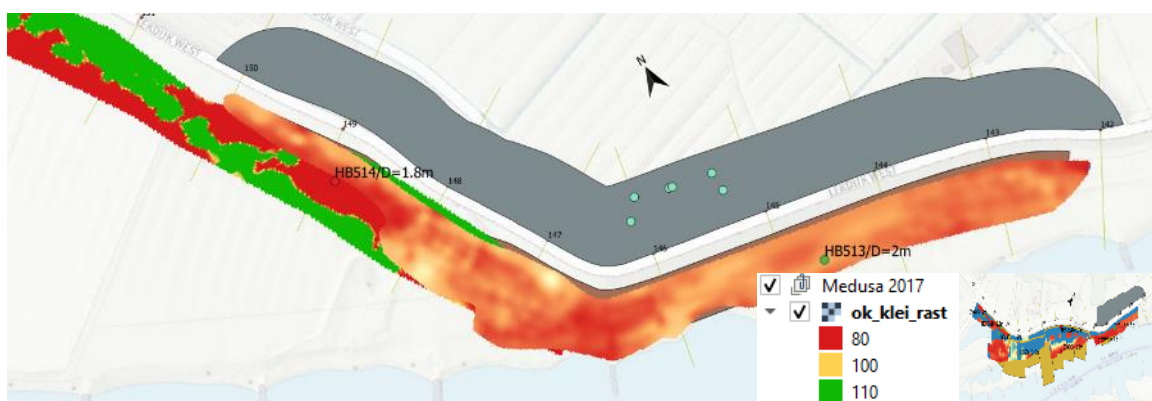
De verificatie met de handboringen HB419, 421, 422 en 423 laat echter zien dat meer kleidikte aanwezig is dan gemeten. Het rode vlak betekent minder dan 0,8 m deklaag. Ter hoogte van dijkpaal 157 is in de berekening van hypothese 2 wel meer voorland aangehouden dan in de eerdere bepaling van de scope. Het onderzoek geeft echter geen reden om de scope te laten vervallen.



4.8.4 Maatwerklocatie 4, Beusichemse veer – Den Oord

Voor dit deelgebied 4 is het volledige gebied ingemeten waarin een kleilaag in het voorland aanwezig zou moeten zijn. Aanvullend hierop is voorgesteld enkele sonderingen en een mechanische boring in de binnenberm uit te voeren. Deze laatste punten konden door omstandigheden niet uitgevoerd worden binnen het totale onderzoek.

Op basis van de gemeten deklaagdiktes in het voorland is hier overal minder dan 1 m dikte aan klei aanwezig. Bovendien is de dikte van de deklaag sterk wisselend over het gebied. Daarmee is onvoldoende weerstand aanwezig om de totale aanwezige kwelweglengte te mogen vergroten met de dijkbasis in het voorland. In de beschouwing van hypothese 2 van de beslisboom piping is wel rekening gehouden met de gemeten deklaag. Daar waar extra voorland meegenomen wordt in de beschikbare kwelweglengte neemt de lengte van een binnendijkse maatregel evenredig af.



4.8.5 Maatwerklocatie 5, Bosscherwaarden

In onderstaande kaart is te zien dat de bruine vlakken wegvallen onder de vlakken met gemeten dikte van de deklaag in het voorland. Daarmee is het onderzoek voldoende dekkend om een uitspraak te kunnen doen over het gehele gebied. De dikte van de deklaag is bovendien voldoende (>1m) om het intredepunt rivierwaarts te mogen verschuiven. Zelfs over een afstand groter dan benodigd om aan de vereiste kwelweglengte te komen binnen het deelfaalmechanisme piping/terugschrijdende erosie.

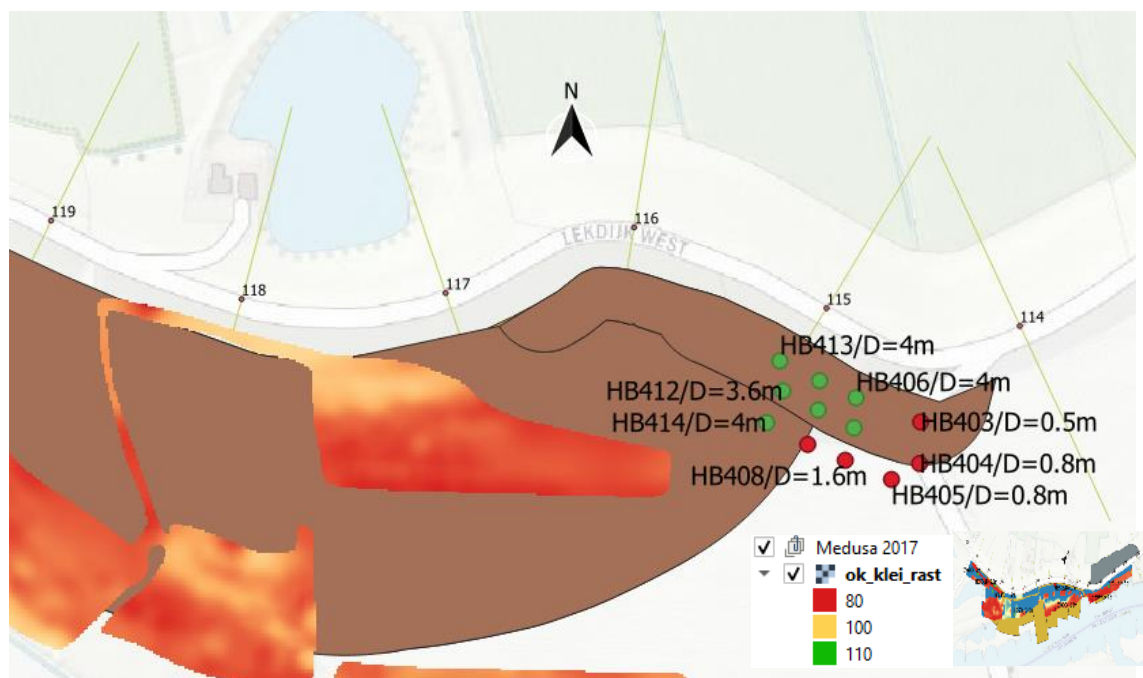
Specifiek ter hoogte van dp120/121 is binnendijs onderzoek uitgevoerd door middel van 5 sonderingen en 1 mechanische boring. Aanleiding voor dit lokale onderzoek was de melding van de eigenaren van de panden aan de Lekdijk 30+31 dat bij het hoog water in de zomer van 2021 het grondwater tot aan de begane grond vloer was gestegen en er in de kelder zichtbare plekken zijn waaruit blijkt dat het grondwater in het verleden hoger heeft gestaan. Dit zou kunnen duiden op een kortsluiting met het watervoerende zandpakket. Of in ieder geval significant lagere weerstand in de deklaag binnendijs. Op basis van de sonderingen en boring is vastgesteld dat de deklaag hier doorgaand aanwezig is met voldoende dikte om opbarsten te voorkomen, al dan niet op basis van hypothese 1 van de beslisboom piping. De oorzaak van de verhoogde grondwaterstand bij de woning is daarmee echter nog niet gevonden. Vanuit waterveiligheid is daarom de conclusie getrokken dat voor deelgebied 5 geen scope overblijft met betrekking tot het faalmechanisme STPH.



4.8.6 Maatwerklocatie 6, Bosscherwaarden – Het Wiel

Het nieuwe onderzoek heeft geen informatie opgeleverd waardoor de scope ter hoogte van het wiel kan komen te vervallen. De deklaag in het voorland is onvoldoende vlakdekkend aanwezig om de benodigde weerstand tegen intreden van water te garanderen.

De handboringen aan de oostzijde van deze maatwerklocatie laten zeer lokaal echter wel voldoende dikte van de deklaag zien. De lengte waarover een maatregel ontworpen dient te worden, verdwijnt hier mee niet, maar verkleint wel. Te zien is dat de handboringen met onvoldoende deklaagdikte buiten het gebied liggen waarin de deklaag nodig is. De handboringen HB403 en HB404 liggen weliswaar in het bruine vlak, maar wel in het deel dat alleen nodig is om achterloopsheid af te vangen. Aangezien dp115 niet meer tot de scope behoort, vervalt ook de noodzaak tot dp114 de maatregel door te trekken. Deze boringen zijn dan dus niet meer relevant.



4.9 D-Geo Flow

De software D-Geo Flow, een door Deltares ontwikkeld numeriek stromings- en pipingmodel, biedt de mogelijkheid tot het verder optimaliseren van de piping opgave. In het model kunnen verschillende parameters worden meegenomen in de beschouwing die niet in rekening kunnen worden gebracht met de rekenregel van Sellmeijer. Voorbeelden van deze parameters zijn anisotropie of meerlaagsheid van het watervoerend pakket. De uitgangspunten voor de D-Geo Flow berekeningen zijn beschreven in de TUN [6]. De onderbouwing en resultaten van de berekeningen zijn toegelicht in de memo D-Geo Flow berekeningen [19].

4.9.1 Resultaten

In Tabel 4-4 zijn de resultaten van de D-Geo Flow berekeningen weergegeven

Tabel 4-4: Resultaten D-Geo Flow berekeningen

Maatwerk-locatie	Getoetst	Dijkpalen in dijkvak	Maatgevende Dijkpaal	ΔH [-]	ΔH_c [-]	γ_{totaal} [-]	S.F.	Oordeel
1	Binnenteen	195 – 202	198	4,05	3,90	1,49	0,65	Voldoet niet
1	Tussenzandlaag	192 – 193	192	6,36	10,70	1,49	1,13	Voldoet
2	Tussenzandlaag	179 – 180	180	3,56	6,10	1,49	1,04	Voldoet
2b	Teensloot	172 – 173	172	5,75	7,10	1,49	0,83	Voldoet niet
3	Binnenteen	156 – 157	157	4,92	6,90	1,49	0,94	Voldoet niet

Maatwerk-locatie	Getoetst	Dijkpalen in dijkvak	Maatgevende Dijk-paal	ΔH [-]	ΔH_c [-]	γ_{totaal} [-]	S.F.	Oordeel
4	Tussenzandlaag	144 – 149	144	5,14	9,60	1,49	1,26	Voldoet
4	Tussenzandlaag	144 – 149	145+050	5,13	6,00	1,49	0,79	Voldoet niet
4	Tussenzandlaag	144 – 149	147	4,65	6,00	1,49	0,87	Voldoet niet
6	Binnenteen	117 – 118	117	5,06	5,50	1,49	0,76	Voldoet niet
6	Tussenzandlaag	117 – 118	117	4,71	5,50	1,49	0,98	Voldoet niet

Op basis van de D-Geo Flow berekeningen is voor DP144, DP179, DP180, DP192 en DP193 de scope weggevallen. De voornaamste redenen hiervoor zijn een gunstige combinatie van aanwezige stoorlagen en de hoeveelheid mee te nemen voorlandweerstand. Voor de overige locaties zijn gunstige parameters, zoals de invloed van voldoende voorlandweerstand of stoorlagen, onvoldoende aanwezig om tot goedkeuren te leiden.

4.9.2 Gevoeligheidsanalyse

Met D-Geo Flow is tevens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor maatwerklocaties 3 en 4 omdat hier, mogelijk na het uitvoeren van aanvullend grondonderzoek, een verdere mogelijkheid bestaat tot optimalisatie. Op basis van de resultaten van de berekeningen en de gevoeligheidsanalyse zijn er aanbevelingen gedaan. Deze zijn onder andere vermeld in § 4.10.2.

4.10 Reflectie en aanbevelingen

4.10.1 Reflectie

De resultaten met betrekking tot de beoordeling van het mechanisme STPH zijn geloofwaardig. Dit baseren wij op het volgende:

- We hebben de stappen conform het WBI gevolgd met zo nodig conservatieve uitgangspunten of aannamen.
- Optimalisaties zijn uitgevoerd op basis van de laatste stand van de kennis met betrekking tot STPH.
- De beslisboom piping is gebruikt conform de Sterke Lekdijk trajecten WAM en SAS. Het gebruik en de resultaten van de beslisboom bij ICU zijn bekrachtigd door het college van HDSR.
- De deklaagdikten gebruikt in de beslisboom zijn gebaseerd op het in 2022 geüpdatete geotechnisch lengteprofiel. Daarmee is de meest actuele en dus accurate informatie verwerkt.

4.10.2 Aanbevelingen

Op basis van voorliggende analyse worden de volgende aanbevelingen gedaan om uit te voeren in het vervolg:

- De beslisboom piping toont aan dat een groot deel van de piping opgave uitgesteld kan worden wegens de relatief dikke deklaag die binnendijs aanwezig is. Op de uitgestelde trajecten dienen beheersmaatregelen worden getroffen, denk hierbij aan inspecties en monitoring. De uitgestelde opgave dient gedetailleerd beoordeeld te worden in een lopende beoordelingsronde die eindigt in 2035). Een mogelijke afkeur zou de uitvoering van een versterking vereisen. Het gebruik van de beslisboom vereist daarom ook het ontwerp van een versterking om deze mogelijk in de toekomst alsnog uit te voeren, zie hiervoor [14].

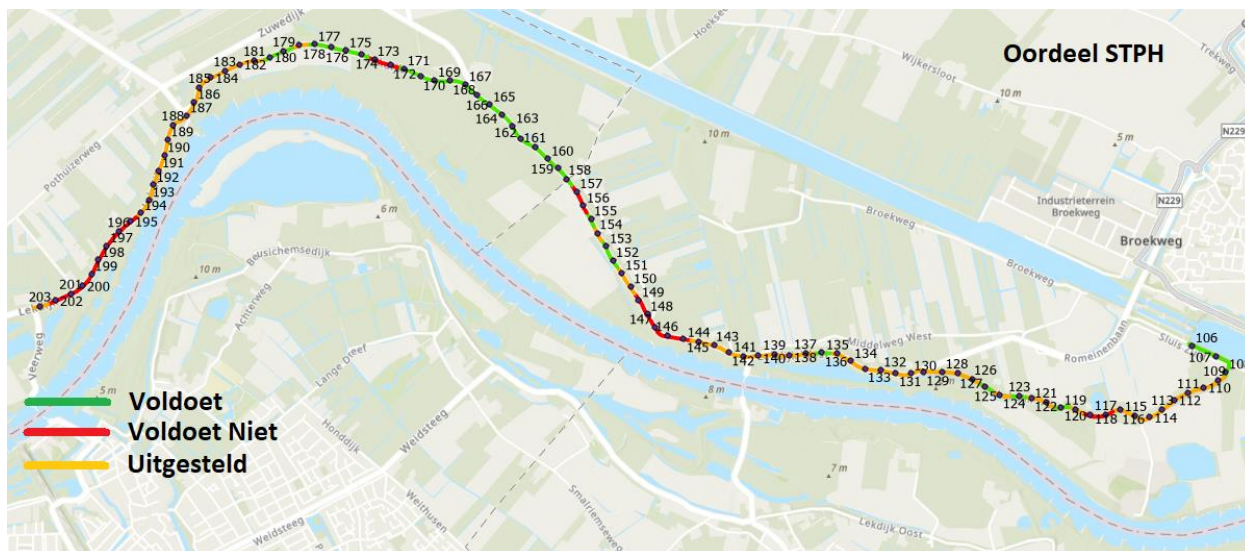
- Op basis van de D-Geo Flow analyse is gebleken dat er voor maatwerklocatie 3 en 4 mogelijk verdere optimalisatie kan worden bereikt, mits er gunstige bodemparameters worden aangetroffen. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat met name het wel of niet doorlopen van stoorlagen in voor- en/of achterland, de korreldiameter en voorlandweerstand invloed hebben op het uiteindelijke oordeel. Op basis van bovenstaande bevindingen wordt daarom geadviseerd om aanvullende handboringen te doen in het voorland, om meer zekerheid te krijgen over de voorlandweerstand. Daarnaast kan het uitvoeren van HPT- en/of dieptesonderingen zorgen voor meer zekerheid voor wat betreft de dikte, doorlatendheden en de aanwezigheid van (dieper gelegen) stoorlagen. Veldwerk wordt in het voorjaar en najaar van 2023 uitgevoerd. De resultaten worden zo spoedig mogelijk verwerkt in een update van deze Veiligheidsanalyse. Het doel is bij aanvang van de PUF al het aanvullende onderzoek te hebben verwerkt in de bepaling van de scope.

4.11 Conclusie

In dit hoofdstuk is de veiligheidsopgave met betrekking tot het faalmechanisme piping nader beschouwd. Op basis van deze beschouwing zijn de volgende conclusies op te maken.

- Bij de voorhavendijk van de Prinses Irenesluis is geen piping opgave na gebruik van hypothese 1 van de beslisboom piping.
- Tussen de Bosscherwaarden en Den Oord (DP 112 t/m 149) zijn relatief hoge responsfactoren afgeleid. Daarom voldoet ondanks de vele optimalisaties die zijn doorgevoerd een aantal deeltrajecten niet. De scope bedraagt 7 dijkpalen. Zo voldoen dijkpalen 117 en 118 niet. De dijk ligt bij deze dijkpalen vlak naast het wiel, waardoor de kwelweglengte klein is. Ook voldoet een tussenzandlaag bij dijkpalen 145 t/m 149 niet. In de D-GeoFlow sommen is de deklaag onder de tussenzandlaag als stoorlaag beschouwd met een relatief hoge doorlatendheid (20 m/dag). Dit werkt ongunstig.
- Voor de Schalkwijker Buitenwaard (DP150 t/m DP 177) dat gekenmerkt wordt door een breed voorland, is geen piping opgave op een strekking van 400 m na. Ter hoogte van dijkpaal 156 en 157 is een tussenzandlaag aanwezig die niet voldoet aan het faalmechanisme piping. De deklaag boven de tussenzandlaag is onvoldoende om de opgave uit te stellen op basis van Hypothese 1. De kwelweglengtetekorten zijn met ruim 75 meter te groot om de opgave goed te keuren op basis van Hypothese 2. De DGeo-Flow sommen bieden geen uitkomst. Omdat de deklaag onder de tussenzandlaag niet doorloopt in het voorland, waardoor de tussenzandlaag en het watervoerend pakket in verbinding staan. Ter hoogte van DP172 en 173 voldoet het watervoerend pakket niet. De deklaagdikte in zowel het voor- als achterland is niet toereikend om de opgave uit te stellen op basis van hypothese 1 of 2. De kwelweglengtetekorten zijn met ruim 110 meter te groot om de opgave uit te stellen op basis van Hypothese 2. In dit deeltraject bedraagt de scope dus 4 dijkpalen. Ook bij deze dijkpalen biedt D-Geo Flow geen uitkomst, omdat de kleilaag tussen de twee zandlagen beschouwd is als een stoorlaag met relatief hoge doorlatendheid.
- Ook tussen de Schalkwijker Buitenwaard en Culemborgse Veer (DP 178 t/m 203) zijn relatief hoge responsfactoren afgeleid. In dit deel voldoen 8 dijkpalen niet. De dijkpalen DP195 t/m 202 worden gekenmerkt door een dunne deklaag en een dik watervoerend pakket (c.a. 60m) zonder stoorlagen.

In Bijlage J is een tabel opgenomen met de ontwikkeling van de pipingscope. In onderstaande afbeelding is de piping opgave per dijkpaal geprojecteerd over het projectgebied.



Figuur 4-8: Eindoordeel piping per dijkpaal



Figuur 4-9: Deklaagdiktes [m] langs het deeltraject ICU

5 Macrostabieliteit buitenwaarts (STBU)

In dit hoofdstuk is de beoordeling van het faalmechanisme STBU opgenomen. Voor de beschouwing van de buitenwaartse stabiliteit zijn de schematiseringen gehanteerd uit de stabiliteitsanalyse van de binnenwaartse stabiliteit. Ook voor de STBU-berekeningen geldt dat gedurende verkenningsfase de STBU-berekeningen opnieuw uitgevoerd zijn vanwege aanpassingen in de sterkteparameters, zie de inleiding van hoofdstuk 3. Hierbij is tevens gekeken of bij naastgelegen dijkpalen ongunstigere taludhellingen en/of een teensloot aanwezig zijn. Indien een steiler talud of een teensloot bij een naast gelegen dijkpaal aanwezig is, is voor de bestaande schematisering een aanvullende stabiliteitsberekening uitgevoerd met een aangepaste geometrie wat te herkennen is aan het DWP nummer in de bestandsnaam van de berekening.

5.1 Aanvullende uitgangspunten

De randvoorwaarden en uitgangspunten voor de beoordeling op STBU zijn benoemd in de TUN [2]. De volgende randvoorwaarden en uitgangspunten zijn toegepast.

5.1.1 Vereiste Stabiliteitsfactor

STBU is beoordeeld met een semi-probabilistische werkwijze uit het WBI 2017 [10]. Verschillende onzekerheden beïnvloeden de macrostabieliteit van een dijk en daarom is er gebruik gemaakt van een aantal partiële veiligheidsfactoren welke zijn uitgewerkt in de TUN, hoofdstuk 5 Faalkansbepaling [2].

Voor STBU is voor elke dijkvak dezelfde schematiseringsfactor toegepast. De minimale vereiste stabiliteitsfactor is dus 1,29 zoals is beschreven in de TUN, tabel 6-9 [2].

Tabel 5-1: Stabiliteitsfactor volgens methode UpliftVan bij gehanteerde schematiseringsfactor

Schematiseringsfactor	Vereiste SF
1,10	1,29

Ook is STBU beoordeeld volgens de overstromingskansbenadering aan de hand van een faalpadanalyse. Daarvoor geldt niet de vereiste stabiliteitsfactor van 1,29 omdat dit voor een semi-probabilistische beoordeling geldt. In de faalpadanalyse is de doorsnede-eis van macrostabieliteit van toepassing namelijk een faalkans van $1,79E-07$ per jaar.

5.1.2 Berekende belastingsituaties

In het kort zijn de belastingsituaties weergegeven welke zijn toegepast voor de beoordeling van STBU. Voor elke belastingsituatie geldt een verkeersbelasting wat is uitgewerkt in de TUN, § 7.9 [2].

- Een val van 4 meter ten opzichte van WBN → met het oog op dijken met een voorland
- Extreem laagwater → met het oog op de schaaldijk tussen DP106 en DP107+60
- Extreme neerslaag → met het oog op de schaaldijk tussen DP106 en DP107+60

5.2 Resultaten val na hoogwater

In Tabel 5-2 zijn de resultaten opgenomen van de beoordeling van de buitenwaartse macrostabieliteit voor de semi-probabilistische werkwijze en een faalpadanalyse waarbij wordt beoordeeld volgens de overstromingskansbenadering. In Bijlage D zijn de bijbehorende maatgevende glijcirkels opgenomen. De buitenwaartse macrostabieliteit is beschouwd voor elk maatgevend profiel per dijkvak. De stabiliteitsanalyse is uitgevoerd volgens het Uplift Van-model.

Tabel 5-2 Resultaten STBU val na hoogwater (semi-probabilistisch en faalpadanalyse), dijkpaal 106 twee andere belastingssituaties: Extreme neerslag en Extreem Laagwater

Dijkvak	Dijkpaal / dwarsprofiel	Hectometreering grondopbouw	STBU (val na hoogwater) SF [-]	Oordeel Semi-prob (eis SF ³ 1,29)	Oordeel Faalpadanalyse (Pf; eis ≤ 1,79E-07) T;h = hersteltijd in dagen
1	106	106+000	1,19	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=9}
1	106	106+000	1,16 Extreme Neerslag	Voldoet niet	Voldoet ^{vervolgmechanismen}
1	106	106+000	1,04 Extreem LW	Voldoet niet	Voldoet ^{vervolgmechanismen}
2a	113	112+032	1,23	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=42}
2b	117	117+000	1,58	Voldoet	n.v.t.
2c	128*	126+000	1,49	Voldoet	n.v.t.
3	136	137+008	1,23	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=33}
4	144	144+000	1,40	Voldoet	n.v.t.
5a	152*	153+000	1,41	Voldoet	n.v.t.
5b	156	156+000	1,56	Voldoet	n.v.t.
6a	164	163+090	1,24	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=58}
6b	Idem 6a	Idem 6a	Idem 6a	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=56}
6c	172	172+051	1,34	Voldoet	n.v.t.
6d	183	183+005	1,19	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=10}
7	190	189+055	1,29	Voldoet niet	Voldoet ^{T;h=281}
8a	196	196+000	1,51	Voldoet	n.v.t.
8b	203	203+000	1,43	Voldoet	n.v.t.

* = In dijkvak 2c en 5a zijn andere maatgevende dwarsprofielen gebruikt voor het bepalen van de stabiliteitsfactor

T_h = Tijd herstel met als eenheid aantal dagen. De rode tekst kleur betekent dat de kans op 'geen herstel' lager is dan de detectie en hersteltijd van 21 dagen dat is afgestemd met HDSR.

Vervolg = Voor het aantonen dat STBU niet tot dijkkvalen leidt wordt een beroep gedaan op de 'Vervolgmechanismen' die zijn uitgewerkt in §5.2.1 voor twee andere belastingssituaties.

5.2.1 Methode Faalpadanalyse (val na hoogwater)

Uit Tabel 5-2 blijkt dat zeven dijkvakken (1, 2a, 3, 6a, 6b, 6d en 7) niet voldoen aan macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) volgens de semi-probabilistische methode. Overigens voldoet dijkvak 7 wel als het naar boven wordt afgerond.

Na het falen van STBU is er géén sprake van dijkkvalen of kans op een overstroming omdat er op dat moment een relatief lage waterstand aanwezig is. Om STBU te beoordelen aan de hand van de overstromingskansen benadering moet er ook gekeken worden naar de vervolgmechanismen nadat er een buitenwaarts glijvlak is opgetreden.

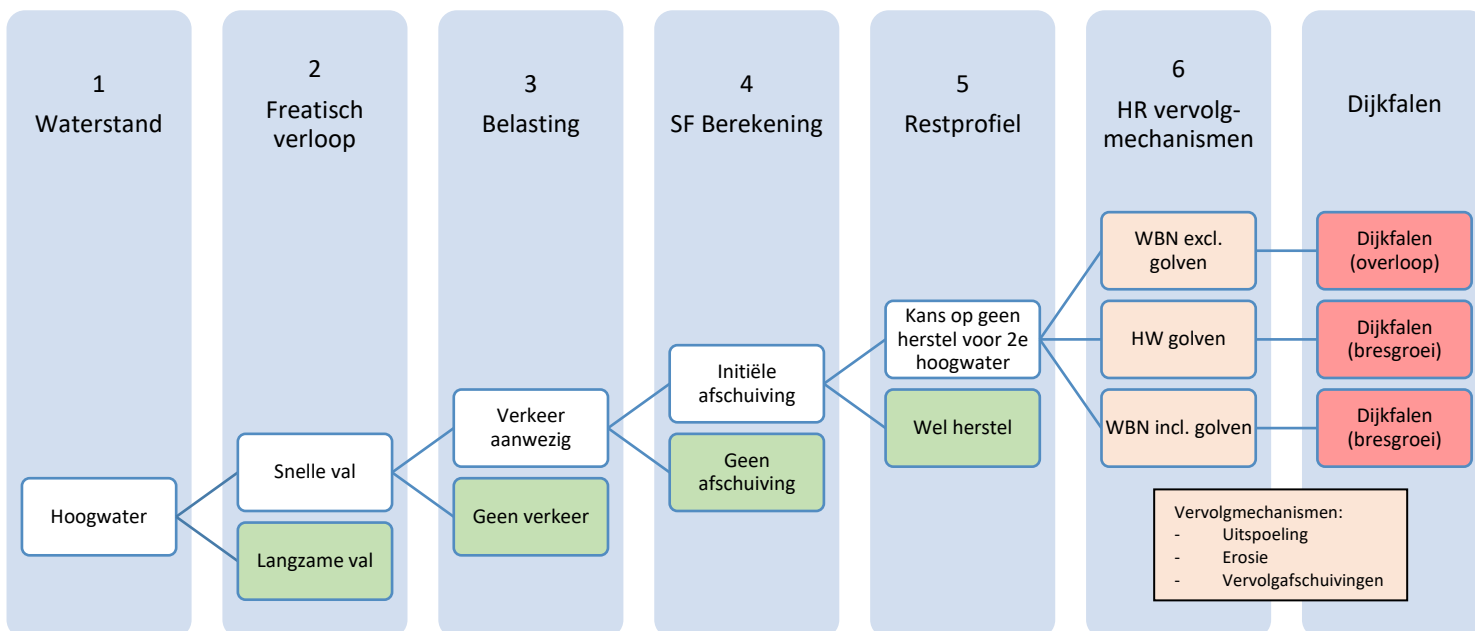
Hiervoor is een methodiek op 1 juni 2022 met HDSR afgestemd, waarbij gebruik is gemaakt van twee andere faalpadanalyses voor een “snelle val na hoogwater” die zijn uitgevoerd voor twee andere deel- dijktrajecten en waterschappen namelijk, SAFE en SAS (liggen tegenover elkaar aan de Lek). De methodiek is opgenomen als bijlage in de TUN [2]. In Tabel 5-3 zijn een aantal termen en definities weergegeven.

Tabel 5-3: Terminologie faalkansanalyse STBI volgens het BOI [20]

Term	Definities*
Faalpad	Een faalpad beschrijft een lineaire opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot een overstroming (BOI).
Gebeurtenissenboom	Start met een initiërende gebeurtenis, eindigt met mogelijke uitkomsten met meestal een ongewenste uitkomst (overstroming). Daartussen staan alle gebeurtenissen die kunnen opvolgen en relevant zijn voor het wel of niet optreden van ongewenste uitkomst (BOI).
Faalkans	De waarschijnlijkheid van het optreden van de initiërende gebeurtenis is uitgedrukt als frequentie of kans per tijdseenheid (voor overstromingsrisico's wordt in de regel gewerkt met de tijdseenheid jaar). of De waarschijnlijkheid van het optreden van de overige gebeurtenissen is uitgedrukt als een conditionele kans. Deze is conditioneel op alle voorgaande gebeurtenissen.

*deze definities zijn zelf opgesteld en kunnen ter discussie worden gesteld.

Alle faalpadanalyses zijn volgens de gebeurtenissenboom (zie Figuur 5-1) uitgevoerd:



Figuur 5-1: Gebeurtenissenboom voor STBU faalpadanalyse

Gebeurtenissen

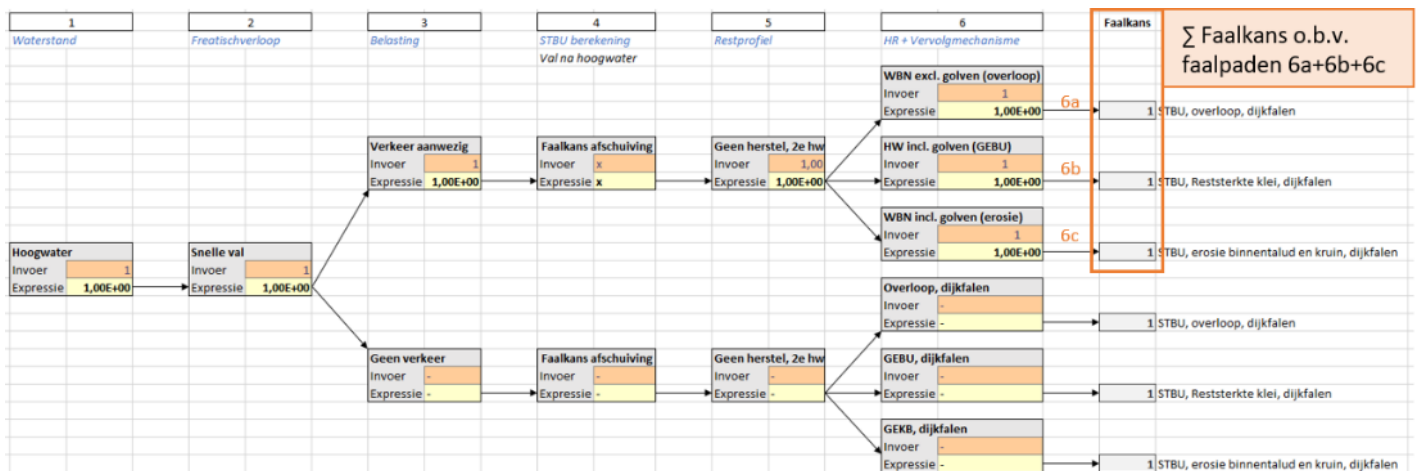
Per gebeurtenis zijn aanvullende uitgangspunten gehanteerd (zie Tabel 5-4) om STBU te beoordelen met een faalpadanalyse volgens de overstromingskansbenadering.

Tabel 5-4 Aanvullende uitgangspunten faalpadanalyse STBU (val na hoogwater)

Nr.	Gebeurtenis	Aanvullende uitgangspunten / bron
1	Buitenwaterstand	- Bij Extreemlaagwater met T=10 - Bij extreme neerslag = streefpeil (NAP +3,0 m)
2	Freatisch verloop	- Zie SNvU
3	Belasting	- Verkeersbelasting van toepassing (zie SNvU)
4	Stabiliteitsberekening	- De stabiliteitsfactor kan met Bijlage III omgerekend worden naar faalkans
5	Kans géén tijdig herstel voor 2 ^e hw	- Bij géén tijdig herstel zijn nieuwe HR bepaald voor het restprofiel dat ontstaat bij gebeurtenis 4). Nieuwe kerende hoogte, taluds, etc.
6	Vervolgmechanismen die tot dijfalten (overstroming) leiden	a. WBN exclusief golven à kan zich uiten in overloop, waarbij direct dijfalten optreedt. b. Hoogwater (bijv. T=10 tot T=1.000) met sterke wind à vervolgmechanismen buitentalud c. WBN inclusief golven à vervolgmechanismen binnentalud

Voor elk dijkvak dat niet voldoet aan de semi-probabilistische methode van STBU is een faalpadanalyse uitgevoerd. Voor elke gebeurtenis 1-6 is een kans ingevoerd waarbij het product leidt tot een faalkans voor een enkel pad (= scenario). Voor STBU zijn er maar drie paden, namelijk 6a, 6b en 6c. De sommatie van deze drie paden leidt tot de totale faalkans van STBU.

Vervolgens is deze totale faalkans getoetst aan de doorsnede-eis van het mechanismen macrostabiliteit met $P_{eis;dsn} = 1,79E-07$ dat overeenkomst met de 4% faalkansruimte voor dit normtraject.



Figuur 5-2: Gebeurtenissenboom met kansen voor drie verschillende faalpaden (6a, 6b en 6c) bij val na hoogwater

Het oordeel van STBU uit is bepaald aan de hand van:

- Voor gebeurtenis 6 zijn uiterst conservatieve kansen ingevoerd met de kans 1,0. Oftewel het treedt hoe dan ook op, nadat gebeurtenis 5 heeft plaatsgevonden.
- De kans op geen tijdig herstel (gebeurtenis 5) is variabel. In het NKO en in het VKA is de default detectie en hersteltijd 21 dagen.
 - o Rood = indien een kortere hersteltijd nodig is om juist te voldoen aan $P_{eis;dsn} = 1,79E-07 / j$
 - o Zwart = indien een langere hersteltijd kan om juist te voldoen aan $P_{eis;dsn} = 1,79E-07 / j$

Tabel 5-5: Resultaten Faalpadanalyse STBU bij val na hoogwater

Dijkvak [-]	Locatie [-]	Lengte [m]	SF [-]	Benodigde hersteltijd [dagen]	Oordeel
1	DWP106	160	1,19	9	Voldoet net
2a	DWP113	890	1,23	42	Voldoet net
3	DWP136	1100	1,23	33	Voldoet net
6a	DWP164	550	1,24	58	Voldoet net
6b	DWP166	550	1,24	56	Voldoet net
6d	DWP183	1250	1,19	10	Voldoet net
7	DWP190	750	1,29	281	Voldoet net

Met de faalpadanalyse voor de val na hoogwater is aangetoond dat alle dijkvakken voldoen aan de overstromingskansbenadering. Voor dijkvak 1 en dijkvak 6d zijn er aandachtspunten om te voldoen, namelijk: Een initieel buitenwaarts glijvlak leidt niet tot dijkfalen of een overstroming mits het profiel tijdig (dus voor een volgend hoogwater) hersteld is. Alle hersteltijden voor de verschillende dijkvakken zijn door het beheer/ Assetteam van HDSR als volgt akkoord bevonden:

- Dijkvak 1 (val na hoogwater = binnen 9 dagen herstellen, extreem laagwater = binnen 21 dagen)
- Dijkvak 6d (binnen 10 dagen herstellen)
- Alle andere 13 dijkvakken (binnen 21 dagen hertellen)

Inspanning beheer/ Assetteam

Wel vraagt dit om (extra) inspanning vanuit het beheer om toe te zien op deze twee dijkvakken 1 en 6d tijdens maatgevende omstandigheden bij een val na hoogwater. Op 27 maart 2023 heeft HDSR laten weten dat de kortere benodigde detectie en hersteltijd voor dijkvak 1 en dijkvak 6d haalbaar is voor het Assetteam. Het gaat om een totale lengte van ongeveer 1500 meter.

De conclusie is daarmee onveranderd en daarmee is aangetoond dat STBU niet tot dijkfalen leidt volgens de wettelijke norm die geldt voor ICU.

5.3 Resultaten Extreme neerslag en Extreem laagwater

In Tabel 5-6 zijn de resultaten opgenomen van de beoordeling van de buitenwaartse macrostabiliteit voor de semi-probabilistische werkwijze en de faalkansanalyse voor twee andere belastingsituaties. Namelijk een extreme neerslag situatie en een extreme laagwater stand. In Bijlage D zijn de bijbehorende maatgevende glijcirkels opgenomen. De buitenwaartse macrostabiliteit is beschouwd voor elk maatgevend profiel per dijkvak. De stabiliteitsanalyse is uitgevoerd volgens het UpliftVan-model.

Tabel 5-6 Resultaten stabiliteitsanalyse STBU bij Extreme neerslag en Extreem laagwater

Dijkvak	Dijkpaal/ dwarsprofiel	Hectometreringsgron- dopbouw	STBU (Extreem LW / Ex- treme N) SF [-]	Oordeel Semi-prob (eis SF ³ 1,29)	Oordeel Faalpadanalyse (Pf; eis ≤ 1,79E-07)
1	106	106+000	1,16 (EN)	Voldoet niet	Voldoet
1	106	106+000	1,04 (ELW)	Voldoet niet	Voldoet

5.3.1 Methode Faalpadanalyse (extreem laagwater en/of extreme neerslag)

Uit Tabel 5-6 blijkt dat dijkvak 1 niet voldoet aan macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) volgens de semi-probabilistische methode. Na het falen van STBU is er géén sprake van dijkfalen of kans op een overstroming omdat er op dat moment een relatief lage waterstand aanwezig is. Om STBU te beoordelen aan de hand van de overstromingskans benadering moet er ook gekeken worden naar de vervolgmecanismen nadat er een buitenwaarts glijvlak is opgetreden.

Hiervoor is een methodiek op 1 juni 2022 met HDSR afgestemd, waarbij gebruik is gemaakt van twee andere faalpadanalyses voor een “snelle val na hoogwater” die zijn uitgevoerd voor twee andere deel- dijktrajecten en waterschappen, namelijk SAFE en SAS (liggen tegenover elkaar aan de Lek). De methodiek is opgenomen als bijlage in de TUN [2]. In Tabel 5-3 zijn een aantal termen en definities weergegeven.

Deze afgestemde faalpadanalyse is ook gehanteerd voor de twee andere belastingsituaties ‘Extreem laagwater’ en ‘Extreme Neerslag’. De gebeurtenissen, zoals is weergegeven in Figuur 5-2, zijn ook voor deze belastingsituaties gehanteerd.

Gebeurtenissen

Per gebeurtenis zijn aanvullende uitgangspunten gehanteerd (zie Tabel 5-7) om STBU te beoordelen met een faalpadanalyse volgens de overstromingskansbenadering.

Tabel 5-7 Aanvullende uitgangspunten faalpadanalyse STBU (Extreme neerslag, extreem laagwater)

Nr.	Gebeurtenis	Aanvullende uitgangspunten / bron
1	Buitenwaterstand	- Bij Extreemlaagwater met T=10 - Bij extreme neerslag = streefpeil (NAP +3,0 m)
2	Freatisch verloop	- Zie SNvU
3	Belasting	- Verkeersbelasting van toepassing (zie SNvU)
4	Stabiliteitsberekening	- De stabiliteitsfactor kan met Bijlage III omgerekend worden naar faalkans
5	Kans géén tijdig herstel voor 2 ^e hw	- Bij géén tijdig herstel zijn nieuwe HR bepaald voor het restprofiel dat ontstaat bij gebeurtenis 4). Nieuwe kerende hoogte, taluds, etc.
6	Vervolgmechanismen die tot dijkfalen (overstroming) leiden	a. WBN exclusief golven à kan zich uiten in overloop, waarbij direct dijkfalen optreedt. b. Hoogwater (bijv. T=10 tot T=1.000) met sterke wind à vervolgmecanismen buitentalud c. WBN inclusief golven à vervolgmecanismen binnentalud

Voor dijkvak 1 zijn drie faalpaden bepaald, namelijk 6a, 6b en 6c. De sommatie van de faalkansen per faalpad leidt tot de totale faalkans van STBU. Vervolgens is deze totale faalkans getoetst aan de doorsnede-eis van het mechanisme macrostabiliteit met $P_{eis;dsn} = 1,79E-07$ per jaar dat overeenkomt met de 4% faalkansruimte voor dit normtraject.

Tot en met gebeurtenis 4 verschilt de faalpadanalyse niet van de Gedetailleerde Toets. Op basis van het gevonden maatgevende glijvlak is de omvang van het restprofiel bepaald. Voor Extreme neerslag en Extreem laagwater zijn dezelfde type glijvlakken gevonden, waardoor het restprofiel ongeveer gelijk is, namelijk een resthoogte van NAP +9,00 meter. Dit restprofiel is gehanteerd om nieuwe Hydraulische Belastingen in Hydra-NL te bepalen en dient als optimalisatie. De uitwerking van het restprofiel is onderdeel van Bijlage E.

Voor de kansen van gebeurtenis 6 zijn als volgt onderverdeeld:

- WBN excl. Golven (overloop) → in Hydra-NL zijn terugkeertijden de waterstanden bepaald
- HW golven (bresgroei buitentalud) → in Hydra-NL zijn golfcondities bepaald
- WBN incl. golven (bresgroei binnentalud) → in Hydra-NL zijn terugkeertijden bepaald voor een gegeven overslagdebiet van 0,1 l/s/m

In Tabel 5-8 en Tabel 5-9 is de gesommeerde faalkans voor dijkvak 1 weergegeven bestaande uit:

- De kansen voor de Gebeurtenissen 1-5 zijn voor elk pad a, b en c gelijk.
- Gebeurtenis 6 kan variëren (1 of exact bepaald in Hydra-NL)
- De gesommeerde faalkans is een optelling van faalpad 6a, 6b en 6c.

Tabel 5-8 Resultaten stabiliteitsanalyse STBU bij Extreme neerslag, $SF=1,16 \rightarrow$ Faalkans = $2,53E-06$

Dijkvak [-]	Locatie [-]	Lengte [m]	Gebeurtenis 1-5	Gebeurtenis 6	Σ Faalkans [1 - 6]	Oordeel	Verschilfactor in Faalkans [$1,79E-07 / \Sigma$ faalkans]
1	DWP106	160	Zie bijlage E	6a = 1 6b = 1 6c = 1	8,73E-07	Voldoet niet	4,9*
1	DWP106	160	Zie bijlage E	<u>Optimalisatie</u> 6a = 1/10 6b = 1/50 6c = 1/7	7,65E-08	Voldoet	2,3

*Wanneer het oordeel 'voldoet niet' is gegeven dan wordt de Σ faalkans gedeeld door de doorsnede-eis → [1/factor]

Tabel 5-9 Resultaten stabiliteitsanalyse STBU bij Extreem Laagwater, $1,04 \rightarrow$ Faalkans = $7,02E-05$

Dijkvak [-]	Locatie [-]	Lengte [m]	Gebeurtenis 1-5	Gebeurtenis 6	Σ Faalkans [6a+6b+6c]	Oordeel	Verschilfactor in Faalkans [$1,79E-07 / \Sigma$ faalkans]
1	DWP106	160	Zie bijlage	6a = 1 6b = 1 6c = 1	2,42E-06	Voldoet niet	13,6*
1	DWP106	160	Zie bijlage	<u>Optimalisatie</u> 6a = 1/1.000 6b = 1/50 6c = 1/648	1,82E-08	Voldoet	9,8

Aangezien voor dijkvak 1 beide belastingsituaties 'Extreem Laagwater' en 'Extreme neerslag' niet voldoen met een marge van factor 4,9 en factor 13,6 in de faalkans is het niet realistisch om deze locatie goed te keuren door de 'kans op tijdig herstel' te optimaliseren. Dan moet dit orde grootte binnen 1 dag plaatsvinden. Daarom is in Hydra-NL gebeurtenis 6 geoptimaliseerd, waarbij de kans van gebeurtenis a, b of c tot vervolgmecanismen leidt en dijken optreedt. De kansen voor de gebeurtenissen a, b en c zijn weergegeven in Tabel 5-9. Alle berekeningen zijn weergegeven in bijlage D.

Beeldvorming voor het verhaal van de kering

Enige bekritiserings hierbij, voor beide belastingsituaties 'extreme neerslag' en 'extreem laagwater' geldt dat dit raakvlak heeft met 'bewezen sterkte', omdat deze situaties niet veel verschillen van de dagelijkse situatie qua verval. Immers zijn er bij de dagelijkse situatie geen schadebeelden bekend, terwijl deze

situatie zich regelmatig voordoet. Voor de ‘val na hoogwater’ is dit totaal anders en daarom is het vervolg van de beoordeling gericht op ‘de val na hoogwater’ met de andere belastingsituaties in het achterhoofd.

Een mogelijke verklaring kan zijn dat de onverzadigde zone boven de freatische lijn meer sterkte. In de VKA berekeningen wordt dit geschematiseerd als gedraineerd gedrag volgens de huidige schematiseringshandleidingen uit het WBI en OI. Daarmee wordt niet alle aanwezige sterkte van “Klei dijksmateriaal” benut, terwijl die in bepaalde zones van de dijk kern wel zit. Juist in de belastingsituaties van extreme neerslag en extreem laagwater. Het in rekening brengen van de onverzadigde zone zal tot een hogere stabiliteitsfactor leiden. Voor de beoordeling van het VKA is er geen scope voor STBU, maar het verklaart wel waarom er tot op heden geen buitenwaarts glijvlak is opgetreden bij een theoretisch laag berekende stabiliteitsfactor voor STBU bij de schaaldijk. Wellicht dat er meer kennisontwikkeling binnen het BOI ontstaat rondom het thema sterkte onverzadigde zone en dat in de toekomst deze sterkte beter in rekening gebracht kan worden.

Uit Tabel 5-2 blijkt dat alle locaties voldoen aan de drie belastingsituaties na het uitvoeren van een faalpadanalyse. Dit is visueel weergegeven in Figuur 5-3. De afstand tot de norm voor macrostabiliteit is niet groot op basis van de enigszins conservatieve uitgangspunten voor de meeste dijkvakken. Voor enkele dijkvakken geldt dat er tot het fijnste niveau is beoordeeld, waardoor de faalkansruimte van macrostabiliteit voor STBU met de huidige uitgangspunten zo goed als volledig is benut.



Figuur 5-3 Beoordeling STBU per dijkvak bij belastingsituatie val na hoogwater; extreme neerslag, extreem laagwater

5.4 Reflectie en aanbevelingen

Voor de dijkvakken waarbij met een semi-probabilistische werkwijze is aangetoond dat het “voldoet” is er géén versterkingsopgave. Voor de schaaldijk (tussen dijkpaal 106 en 107+60) is ook géén versterkingsopgave van toepassing, omdat is aangetoond dat een initieel buitenwaarts glijvlak niet tot dijkfalen of een overstroming leidt mits het profiel tijdig (dus voor een volgend hoogwater) hersteld is. Alle hersteltijden voor de verschillende dijkvakken zijn door het beheer/ Assetteam van HDSR als volgt akkoord bevonden:

- Dijkvak 1 (val na hoogwater = binnen 9 dagen herstellen, extreem laagwater = binnen 21 dagen)
- Dijkvak 6d (binnen 10 dagen herstellen)
- Alle andere 13 dijkvakken (binnen 21 dagen herstellen)

Dit betekent dat de hersteltijd van 9 dagen haalbaar is geacht in afstemming met het asset team van HDSR. In werkelijkheid hangt de hersteltijd af van de opgetreden schade en de verwachting voor een volgend hoog water.

6 Bekledingen

6.1 Micro instabiliteit (STMI)

Het faalmechanisme microstabiliteit (STMI) kan bij een dijk leiden tot het falen van de waterkering. Bij microstabiliteit wordt de weerstand gecontroleerd tegen erosie van het binnentalud als gevolg van uittrekkend water. Voor het gehele deeltraject ICU geldt dat op basis van stap E.2. van de eenvoudige toets de dijk voldoet op het faalmechanisme microstabiliteit omdat voldaan wordt aan het volgende criterium:

- De waterkering heeft een (slecht doorlatende) kleikern waarvan de hoogte gelijk is aan of hoger dan de waterstand bij norm en waarvan de basis aansluit op een slecht doorlatende ondergrond.

Beoordeling

Dijkpaal 106 tot en met dijkpaal 203 voldoen aan het mechanisme Microstabiliteit (STMI) vanwege de aanwezige kleikern.

Conclusie

Er is geen scope vanuit het mechanisme Microstabiliteit.

6.2 Asfalt

Langs het deeltraject ICU is geen asfaltbekleding aanwezig. De faalmechanismen Golfklappen op asfaltbekleding (AGK) en Wateroverdruk bij asfaltbekleding (AWO) zijn daarom niet aan de orde.

6.3 Resultaten Grasbekleding

De beoordeling van de grasbekleding omvat vier toetssporen:

- *Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)*;
- *Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)*;
- *Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)*; en
- *Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)*.

De resultaten van deze toetssporen staan beschreven in onderstaande §6.3.1 tot en met §6.3.4.

6.3.1 Grasbekleding Afschuiven Buitentalud (GABU)

Wijze van beoordelen

Het faalmechanisme grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) kan bij een dijk leiden tot het falen van de waterkering. Het afschuiven van de kleilaag van het buitentalud kan plaatsvinden als gevolg van golfwerking in combinatie met een hoge grondwaterstand in het zand onder de kleilaag (indien aanwezig). Op het moment van maximale golfsterkte heerst er een ongunstig buitenwaarts gericht verhang over de kleilaag, waardoor deze kan opdrukken en/of afschuiven. Voor het gehele deeltraject ICU geldt dat op basis van stap E.1. van de eenvoudige toets, de dijk voldoet op het faalmechanisme GABU omdat voldaan wordt aan de volgende criteria:

- De bekleding van het buitentalud ligt direct op de kleikern van de waterkering.

Beoordeling

Dijkpaal 106 tot en met dijkpaal 203 voldoet aan Grasbekleding afschuiving buitentalud (GABU).

Conclusie

Dijkpaal 106 tot en met dijkpaal 203 voldoen aan het mechanisme Grasbekleding afschuiving buitentalud (GABU) omdat de bekleding van het buitentalud direct op de kleikern van de waterkering ligt.

Aanbevelingen en bekritisering

Er zijn geen aanbevelingen of andere punten die bekritiseerd dienen worden voor het mechanisme Grasbekleding afschuiving buitentalud.

6.3.2 Grasbekleding Erosie Buitentalud (GEBU)

Wijze van beoordelen (eenvoudige toets + gedetailleerde toets)

Eenvoudige toets

De eenvoudige toets conform het WBI [20] bestaat uit drie beslisregels. Als aan een combinatie van de beslisregels wordt voldaan is de bijdrage aan de overstromingskans verwaarloosbaar. Als niet aan de juiste combinatie van regels wordt voldaan, kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld en dient verder te worden beoordeeld middels de gedetailleerde toets. Voor ICU blijkt dat de eenvoudige toets niet voldoende is, zie resultaten hieronder. Daarom volgen in onderstaande tekst na de resultaten van de eenvoudige toets, de resultaten van de gedetailleerde toets.

Stap E.1: $H_{m0} \leq 0,6$ m en de dijk heeft een kleikern

Indien de dijk een kleidijk is of een kleikern heeft tot 0,5 m boven de waterstand (h) en de golfhoogte (bij de norm) $H_{m0} \leq 0,6$ m, dan leidt erosie van het buitentalud nooit tot een doorbraak gedurende de maatgevende storm. Bij onvoldoende oordeel wordt de beoordeling voortgezet met stap E.2.

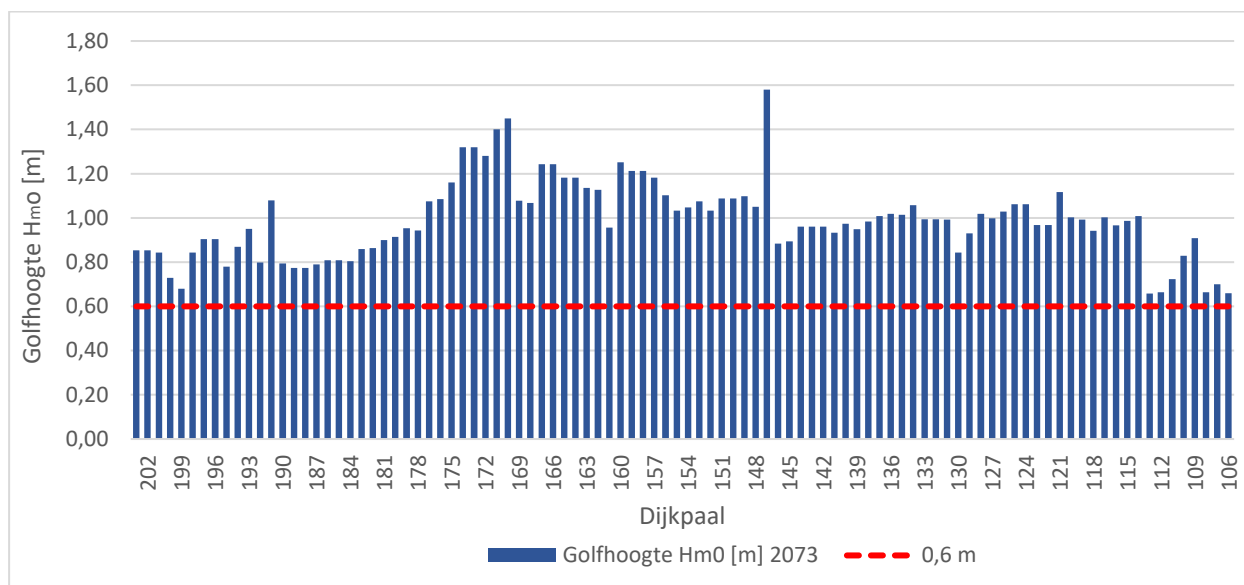
De dijk bestaat langs het gehele traject van ICU uit een kleikern.

Met behulp van Hydra-NL is per uitvoerpunt de significante golfhoogte bij de norm uitgerekend en gekoppeld aan de dichtstbijzijnde dijkpaal. Voor deze berekening zijn onderstaande uitgangspunten aangehouden:

- Hydra-NL-versie 2.7.1 (2019);
- Database: WBI2017_Bovenrijn_44-1_v04;
- Berekeningstype: significante golfhoogte;
- Terugkeertijd = 222.222 jaar;
- Klimaatscenario: KNMI 2006 W+
- Aftopping Lobith: 16.000m³/s
- Zichtjaar 2073: lineaire interpolatie tussen de zichtjaren 2050 en 2100.

De golfhoogte is bepaald bij een faalkanseis voor bekleding. Hierbij is geen rekening gehouden met de hoogteligging van het voorland, de lengte van het voorland, aanwezige dammen en de aanwezige zomerdijk waardoor dergelijke golfcondities niet kunnen ontstaan. Wel is er rekening gehouden met de golfvalshoek volgens de meest actuele schematiseringhandleiding Bekleding uit het WBI [20]. Aflandige golfrichtingen worden hierdoor niet bepaald.

In onderstaande grafiek zijn de significante golfhoogtes per dijkpaal weergegeven. Daarnaast is een lijn toegevoegd op 0,6 m. Op deze manier kan snel visueel getoetst worden of er een uitvoerpunt is waar de golfhoogte lager is dan 0,6 m.



Figuur 6-1: Significante golfhoogte zichtjaar 2073 per uitvoerpunt (Terugkeertijd 1:222.222 jaar)

Op basis van bovenstaande grafiek 6-1 kan worden geconcludeerd dat er geen uitvoerpunt is met een voldoende resultaat en dat de beoordeling dient te worden voortgezet met stap E.2.

Stap E.2: Graszode is open of graszode is gesloten

Indien de graszode open is of indien de graszode gesloten is, wordt de toets voortgezet met stap E.3. Indien de graszode slechts fragmentarisch is, dan kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld. HDSR hanteert voor de gehele Sterke Lekdijk een open zode voor de grasbekleding, omdat in overleg met beheer is vastgesteld dat een gesloten zode niet kan worden gewaarborgd. Hieruit volgt dat de beoordeling kan worden doorgezet met stap E.3.

Stap E.3: $H_{m0} < 0,25$ m

Indien de golfhoogte H_{m0} kleiner is dan 0,25 m, dan is de faalkans verwaarloosbaar klein. Zo niet dan dient een gedetailleerde toets te worden uitgevoerd. Specifiek voor ICU geldt dat in stap E.1 al is geconstateerd dat de golfhoogte H_{m0} in alle gevallen groter is dan 0,6 m. Dit betekent geen enkele dijkpaal langs het dijktraject een voldoende score op het faalmechanisme GEBU en dus een gedetailleerde toets dient te worden uitgevoerd.

Gedetailleerde toets GEBU

Voor de gedetailleerde toets is gerekend met de Basis Module BM Gras Buitentalud. Het eindoordeel is gebaseerd op de veiligheidsfactor die verkregen is uit de *Expertmodus* uit GM Gras buitentalud. Voor ICU zijn de berekende dijkpaallocaties en eindoordelen weergegeven in Tabel 6-1.

Volgens de schematiseringshandleiding van grasbekleding is de *Expertmodus* als het ware een Toets op Maat, waarin de "Hoek van inval" zowel in het bepalen van de Golfbelasting S en de invloedsfactor f_{β} worden meegenomen. In de *WBI gebruiker* modus is dat niet het geval en wordt daarmee binnen het WBI gezien als de gedetailleerde toets zonder reducties.

Beoordeling

Het eindoordeel is gebaseerd op de Veiligheidsfactor voor GEBU uit de *Exportmodus* waarbij rekening is gehouden met de invloed van de hoek van de golfaanval. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6-1.

Tabel 6-1: Resultaten GEBU (Gedetailleerde toets en Toets op Maat)

Geovak GEBU	Van	Tot	Rekenlocatie dijkpaal [-]	Dijknormaal/ oriëntatie [°]	Veiligheidsfactor WBI gebruiker [-]	VeiligheidsfactorExport modus [-]	Eindoordeel
GEBU_01	106+00	107+60	107	38	0,891	2,702	Voldoet
GEBU_02	107+60	116+75	114	163	0,228	1,912	Voldoet
GEBU_03	116+75	146+50	128	182	0,206	0,742	Voldoet niet
GEBU_04	146+50	177+50	160	225	0,154	0,24	Voldoet niet
GEBU_05	177+50	203+50	178	161	0,282	0,319	Voldoet niet

Toelichting resultaat en invloed hoek van golfaanval (tabel 6-1)

De gedetailleerde toets met de WBI gebruiker modus heeft een zeer conservatieve aanpak wat in veel gevallen tot onterechte afkeur leidt. Hierin wordt gerekend met een loodrechte golfaanval, terwijl in de praktijk de golven uit andere richtingen komen. Door deze golfrichtingen in bijvoorbeeld Hydra-NL te bepalen zal het erosieproces langzamer verlopen.

In de expertmodus zorgt de Invloedsfactor f_{β} ervoor dat er niet met een loodrechte golfaanval wordt gerekend. Daarvoor moet in Hydra-NL de golfcondities op een andere wijze bepaald worden [21] :

“Het toepassen van deze invloedsfactor in “BM - Gras Buitentalud” moet altijd gecombineerd worden met golfrandvoorwaarden die bepaald zijn met Hydra-NL of Riskeer waarin gerekend is met $c = 0,67$ (zie § 4.7). Door met deze waarde de golfcondities te bepalen, wordt er op de juiste wijze rekening gehouden met de invloed van scheve golfaanval bij het bepalen van de maatgevende condities.”

In Hydra-NL wordt bepaald uit welke verschillende richtingen de golven komen en welke richting de grootste belasting (S) geeft. Dit wordt gedaan met de formule:

$$S = H_{sa} T_{pb} (\cos\beta)^c.$$

“Zo wordt ervoor gezorgd dat loodrechte golfaanval met een iets kleinere golfhoogte toch maatgevend is ten opzichte van scheef invallende golven met een iets grotere golfhoogte.”

Oftewel, een correctie met $c=0,67$ in Hydra-NL voor grasbekleding is hiervoor nodig. Dit is gedaan voor het bepalen van de golfcondities bij ICU, waardoor onterechte afkeur in BM Gras buitentalud is voorkomen.

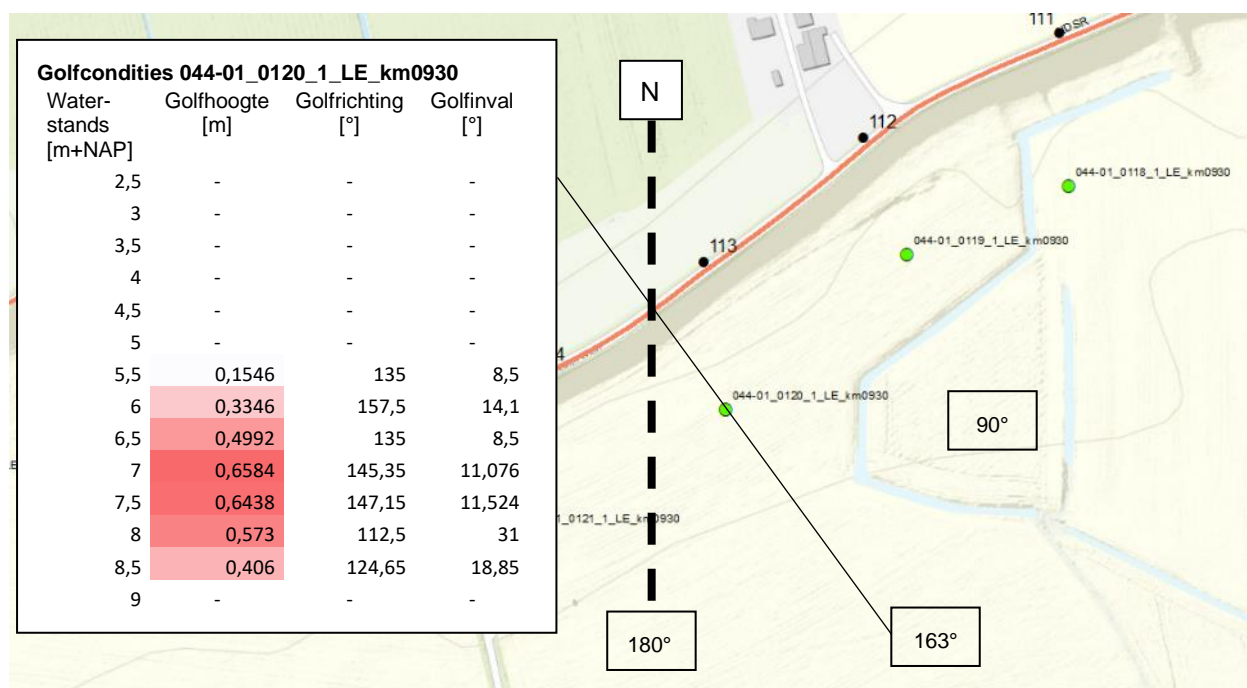
Vertaling resultaat vakken GEBU_01-GEBU-05

Voor elk Geovak is een maatgevende rekenlocatie gekozen op basis van de meest ongunstige oriëntatie (zuid, zuidwest, west). De verwachting aan de voorkant is dat het resultaat van alle vijf rekenlocaties geldt voor het hele geovak, maar dit is niet het geval:

- Drie rekenlocaties voldoen niet na het uitvoeren van de Gedetailleerde toets en Toets op maat (waar rekening is gehouden met de invloed hoek van golfaanval), zie tabel 6-1.
- Twee rekenlocaties blijken wel te voldoen, zie tabel 6-1. Dit betreft geovakken GEBU_01 en 02 oftewel DP 106 t/m 116. Hiervoor zijn geen verdere berekeningen nodig.

Met een extra kwaliteitsslag is gecontroleerd of “hoek golfaanval” ook binnen het Geovak tot afkeur kan leiden, aangezien binnen het vak de dijkoriëntatie lichtelijk varieert. Ook bij de twee rekenlocaties die voldoen. Voor GEBU_02 is DP113 gekozen, waarbij de golfrichtingen het meest variëren en zijn vergeleken met andere dijkpalen binnen het geovak.

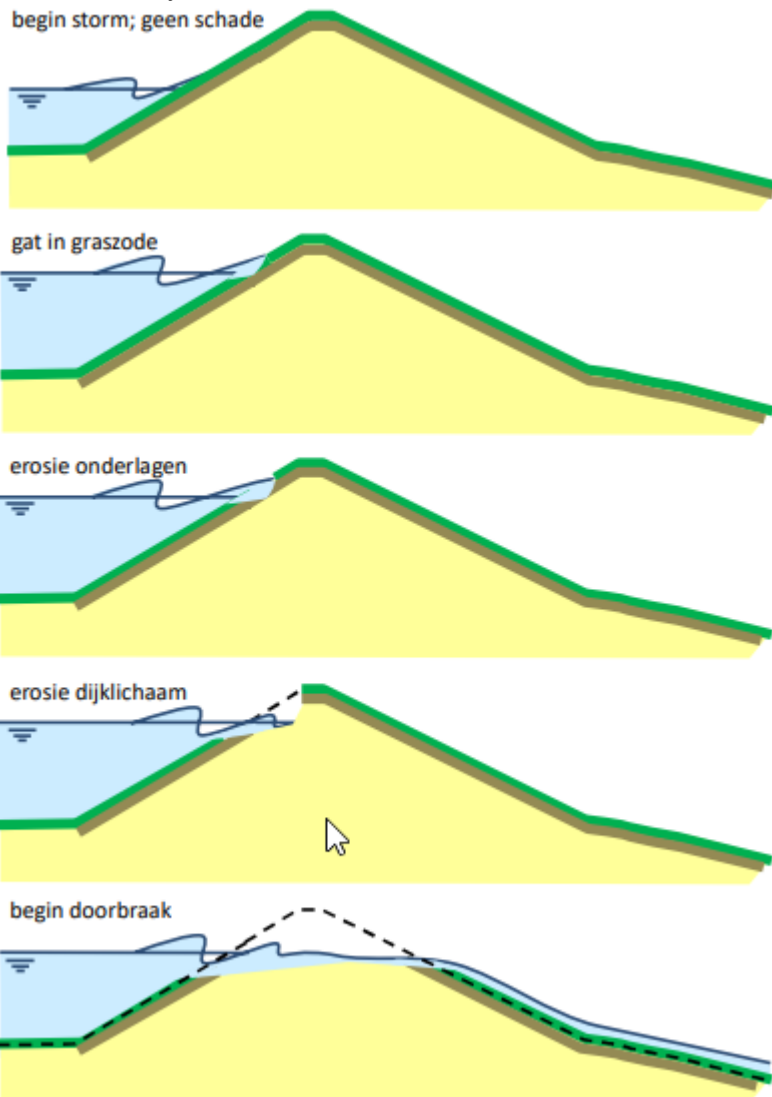
De golfrichting ten opzichte van het noorden varieert tussen een hoek van 125 graden tot 158 graden, oftewel een verschil van 33 graden, wat zeer beperkt is.



Figuur 6-2: Meeste variatie in golfrichting binnen GEBU_02, dijkpaal 113

De tussenconclusie is dat de golfrichting en de mate waarin de golfinval varieert, zeer beperkt is voor deze locatie in Figuur 6-2. Voor alle andere dijkpalen binnen GEBU_02 geldt dat er bij elke waterstand een uniforme golfrichting en golfinval is gevonden, oftewel minder variatie in golfrichting en golfinval.

Reststerkte analyse



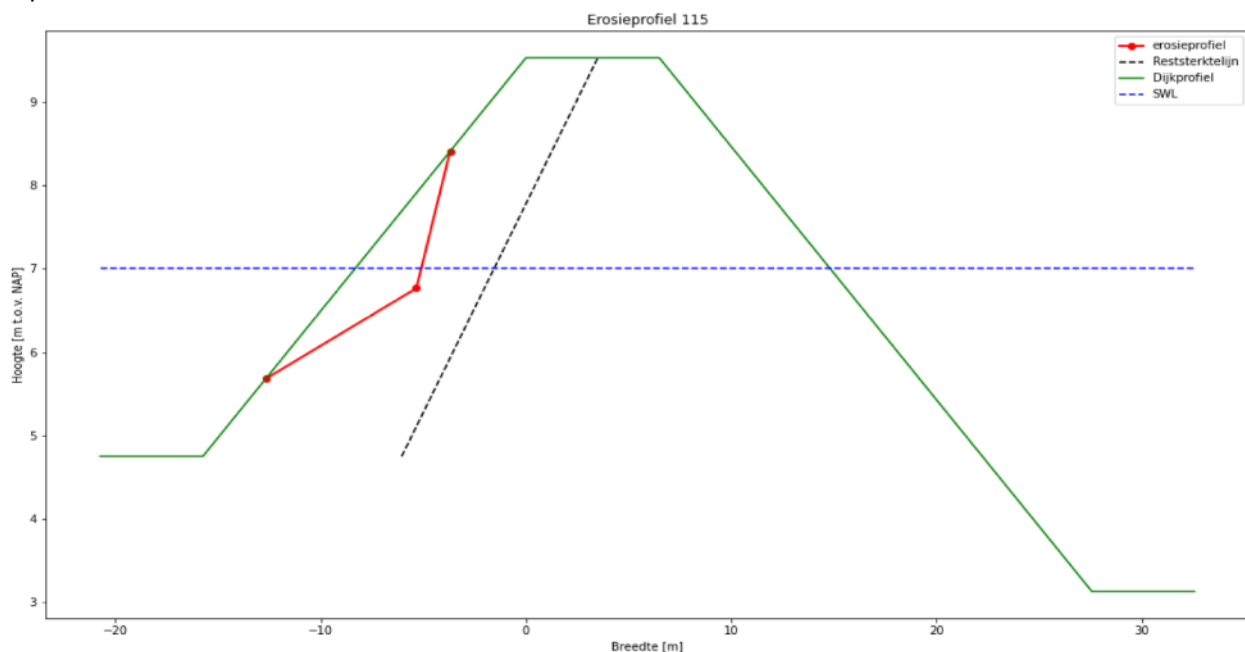
Figuur 6-3: Fasen faalmechanisme GEBU. [4]

De gedetailleerde toets toont aan dat een groot deel van het traject (DWP117 t/m 203) niet voldoet aan de GEBU-eis. In die toets is de erosie van de grasbekleding beoordeeld. De grasbekleding biedt de meeste weerstand tegen erosie. Echter, resulteert het eroderen van de grasbekleding niet tot een dijkdoorbraak. Hiervoor moet erosie van de kleikern plaatsvinden. Omdat de dijk kern uit klei bestaat voor het traject ICU, biedt de volledige dijk kern weerstand tegen erosie als gevolg van golfklappen onder maatgevende omstandigheden.

De reststerkte wordt beoordeeld door de te “verwachten erosie” te vergelijken met de “aanwezige reststerkte”. De erosie wordt bepaald met de rekenmethode opgesteld door Deltares [22]. Deze veronderstelt dat in een dwarsdoorsnede de optredende erosie rekenkundig kan worden benaderd aan de hand van een driehoekvormig profiel. Het model bepaalt de drie hoekpunten van dit profiel.

Het reststerkteprofiel is een lijn met een helling van 1v:2h. Deze helling is in overeenstemming met de uitgangspunten voor andere faalmechanismen. De lijn snijdt de kruin op een afstand van 3m van de binnenkruin. Dit om voldoende breedte te waarborgen voor reparatiewerkzaamheden. Figuur 6-4 geeft een voorbeeld van een erosieprofiel (rode lijn) en een reststerkteprofiel (gestippelde zwarte lijn).

De reststerkte, uitgedrukt in restbreedte, is de horizontale afstand tussen het reststerkteprofiel en het inscharingspunt (punt 2) van het erosieprofiel. Indien het inscharingspunt links van de reststerktelijn is, is er voldoende reststerkte aanwezig en levert dit een positieve restbreedte op. Als het inscharingspunt rechts van de reststerktelijn is, is er onvoldoende reststerkte aanwezig en levert dit een negatieve restbreedte op.



Figuur 6-4: Voorbeeld reststerkte analyse.

De reststerkte analyse is per dijkspaal uitgevoerd. Hiervoor is er een versimpelde schematisering van de geometrie bepaald aan de hand van AHN3. De golfcondities zijn bepaald bij een overschrijdingsfrequentie van 1/222.222 per jaar met Hydra-NL. Golfcondities die het maaiveld in het voorland doorsnijden zijn niet beschouwd i.v.m. het breken van golven. Per dijkspaal is de reststerkte voor elke golfconditie bepaald en de analyse met de laagste restbreedte is maatgevend beschouwd.

De waarden gebruikt voor de parameters in het erosiemodel zijn opgenomen in Tabel 6-2.

Tabel 6-2: Gehanteerde modelparameters reststerkte analyse GEBU

Parameter	Verklaring	Waarde
P_{max}	Maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject (jaar)	1/10000
$P_{eis,dsn}$	Terugkeertijd golfcondities (faalkanseis op doorsnedeniveau)	1/222000
N	Lengte-effect factor	1.0
ω_B	Faalkansruimte factor	0.1
λ_1	Deel faalkansruimte bekledingen bestemd voor grasbekledingen	0.5
λ_2	Deel faalkansruimte grasbekledingen bestemd voor falen grasbekleding door graserosie.	0.9
α_S	Invloedscoëfficiënt golfbelasting	1.0
$\alpha_{R,erosievolum}$	Invloedscoëfficiënt erosievolum	0.32 ¹⁾
$\alpha_{R;insnijdiepte}$	Invloedscoëfficiënt insnijdiepte	0.32 ¹⁾
$V_{erosievolum}$	Variatiecoëfficiënt erosievolum	0.25 ²⁾
$V_{insnijdiepte}$	Variatiecoëfficiënt insnijdiepte	0.15 ²⁾
T_{storm}	Belastingduur (Bovenrivierengebied)	12u
C_e	Erosiecoëfficiënt	0.55
V_{C_e}	Variatiecoëfficiënt van Erosiecoëfficiënt	0,25
$M_{C_e,d}$	Veiligheidsfactor erosievolum	1,36 ³⁾
Gras	Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat	Open
a	Parameter voor bepaling H_{m0} bij open graszode	0.8
b	Parameter voor bepaling H_{m0} bij open graszode	-0.07
c	Parameter voor bepaling H_{m0} bij open graszode	0.25

1. ISO-gestandaardiseerde invloedscoëfficiënt voor niet-dominante sterkteparameter.
2. Standaardwaarde [DELTA 2013a]
3. Veiligheidsfactor bepaald op basis van een normale verdeling $\gamma = 1 + \alpha_R \beta_{eis;drs} V$

De resultaten van de reststerkte analyse is opgenomen in Tabel 6-3. Uit de reststerkte analyse komt naar voren dat er voor elke dijkpaal voldoende restbreedte aanwezig is en dus het falen van de grasbekleding en de daaropvolgende erosie van de kern niet tot het falen van de dijk zal leiden. Een uitgebreidere tabel met de maatgevende golfcondities is opgenomen in Bijlage H.

Reflectie resultaten

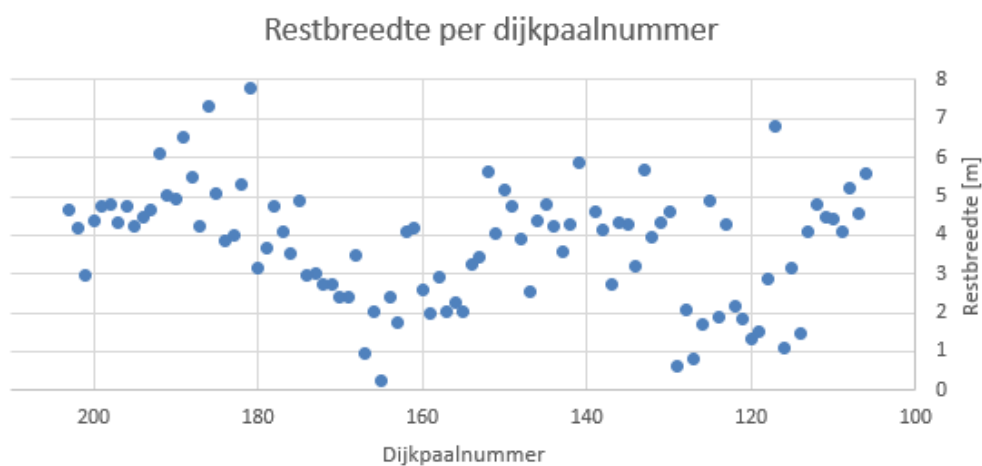
Om te reflecteren op de resultaten zijn enkele grafieken geplot waarin de locatie (uitgedrukt in dijkpaalnummer) uitgezet is tegen invoerparameters. Hieruit is geconstateerd dat de invoerparameters golfhoogte en kruinbreedte het meest invloedrijk zijn over dit traject. De golfhoogte is bepalend voor de mate van erosie, omdat erosie optreedt door de energie van een golfklap. Een grotere golfhoogte veroorzaakt een grotere golfklap. De kruinbreedte heeft indirect invloed op de aanwezige restbreedte op een bepaalde hoogte samen met de waterstand van de golfbelasting. Door het verschil in de helling van het buitentalud en de restprofiellijn is er meer breedte aanwezig voor lageregelegen golfbelastingen. Uit de grafieken van de resultaten bleek dat de waterstand niet maatgevend is. De grafieken ten opzichte van deze invoerparameters en een grafiek waarin de restbreedte is uitgezet tegen de locatie zijn weergegeven in Figuur

6-5, Figuur 6-6 en Figuur 6-7. Een reflectie op de resultaten zal dan ook worden uitgevoerd in het licht van deze parameters.

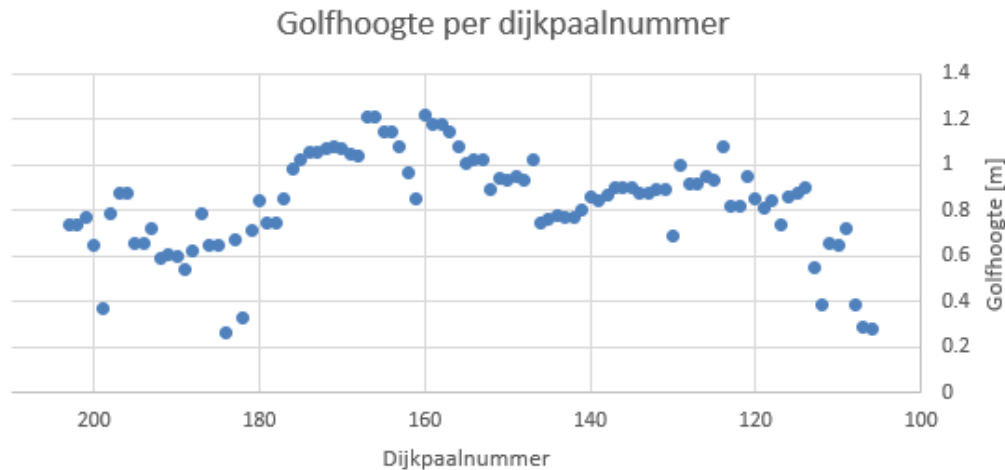
DP117 t/m DP 129: De restbreedte is relatief laag (<3m). Dit gedeelte van de dijk wordt gekenmerkt met relatief hoge golfhoogtes (0,75m-1,1m) in combinatie met relatief dunne kruinbreedtes (<5,0m). Dijkpalen 117,123 en 125 zijn een uitzondering. Deze locaties hebben een bredere kruin en lagere golfhoogtes (0,9m).

DP130 t/m DP146: De restbreedte varieert enorm. De golfhoogte is stabiel met een lichte daling richting het westen. De variatie wordt voornamelijk veroorzaakt door variatie in kruinbreedte. De afname in golfhoogte is niet duidelijk te herleiden in de restbreedte.

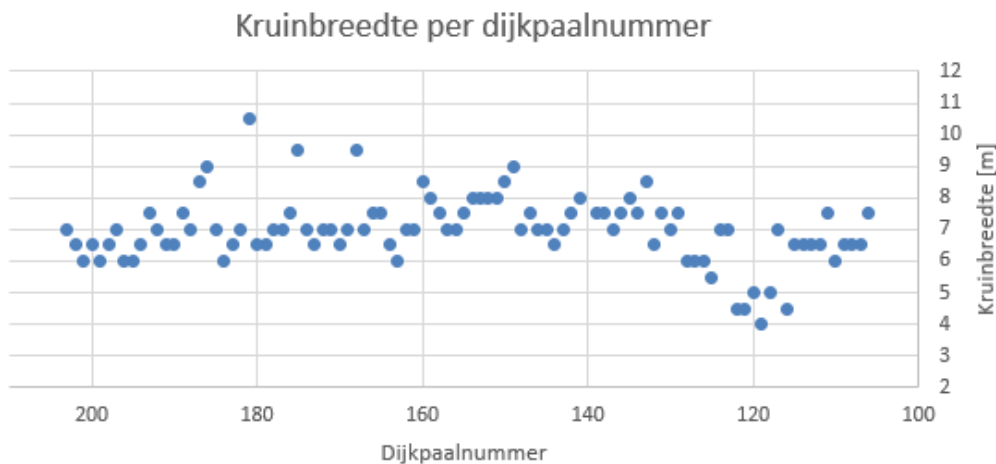
DP152 en DP176: Dit gedeelte van de dijk wordt gekenmerkt door relatief hoge golfhoogtes en het effect hiervan is te herkennen door een lagere restbreedte (<3m). De kruinbreedte neemt licht af richting het westen en dit is terug te zien in de restbreedte. De restbreedte op dijkpaal 165 is met 0,25m kritisch. Dit komt door de ongunstige ligging, waarbij de kering georiënteerd is op het zuidwesten en flinke strijklengtes aanwezig zijn. Tussen DP177 en 203 is de restbreedte gemiddeld (3m-6m) en varieert sterk evenals de golfhoogte. Er zijn enkele uitschieters in restbreedte (>6m) veroorzaakt door uitschieters in kruinbreedte (DP181 & DP186) of door een combinatie van een lage golfhoogte en een relatief hoge kruinbreedte (DP189 & DP192).



Figuur 6-5: Restbreedte per dijkpaal



Figuur 6-6: Golfhoogte per dijkpaal.



Figuur 6-7: Kruinbreedte per dijkpaal.

Aanbevelingen & Bekritisering

In [15] wordt geadviseerd om een helling 1v:3h te hanteren voor de reststerktelij van een klei dijk kern. Hiervan is afgeweken omdat dit een conservatief uitgangspunt is en het gangbaar is om een helling van 1v:2h te hanteren. Deze aanname is consistent met uitgangspunten van andere faalmechanismen.

De resultaten geven aan dat de golfhoogte en kruinbreedte maatgevend zijn voor de reststerkte. De golfhoogte bepaalt in grote mate de hoeveelheid erosie die gaat plaatsvinden. De kruinbreedte bepaalt de beschikbare restbreedte. De resultaten zijn in lijn met de invoer.

De analyse heeft enige onzekerheid met betrekking tot de kwaliteit van de klei kern. De klei kern is aangetoond aan de hand van sonderingen en het daaruit resulterende geotechnisch lengteprofiel. De kwaliteit en daarmee de mate van erosiebestendigheid van de klei, niet is bepaald. Voor de gebruikte standaard coëfficiënt in deze analyse moet worden aangetoond dat de klei kern uit stevige of schrale klei (categorie

1 &2) bestaat. Indien een deel van de waterkering bestaat uit klei categorie 3 zal dit deel onder een golfbelasting snel eroderen. Het is daarom belangrijk om inzichtelijk hebben of de dijk kern inderdaad erosiebestendig is. Er wordt aanbevolen om in de fase van het VKA boringen uit te voeren en de Atterbergse grenzen van de klei te bepalen zodat de erosie categorie kan worden bepaald. De onzekerheid hiervan is enigszins verdisconteerd door een veiligheidsfactor op het erosievolume toe te passen, bepaald aan de hand van de doorsnede-eis, aangenomen erosie coëfficiënt en een ISO-gestandaardiseerde standaardafwijking.

Naast de onzekerheid over de erosiebestendigheid van de kleilaag speelt ook de wijze waarop de kleilaag bij de vorige dijkversterking is aangebracht en voldoende is verdicht. Hierbij wordt gesproken over de erodeerbaarheid van het aanwezige materiaal. In deze reststerkte analyse is geen rekening gehouden met de erodeerbaarheid. Wel wordt aanbevolen om inzicht te krijgen van de verdichtingsgraad of wijze van aanbrengen van de kleilagen van de vorige versterking. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van erosieproeven.

Omdat voor het mechanisme GEBU met reststerkte is gerekend om tot goedkeuring te komen, mag reststerkte niet bij andere faalmechanismen toegepast worden. Omdat de scope voor meerdere mechanismen zeer beperkt is, speelt dit binnen ICU geen rol.

Conclusie

De reststerkte analyse is uitgevoerd voor alle dijkpalen. Hieruit komt naar voren dat voor alle dijkpalen voldoende reststerkte aanwezig is als de grasbekleding faalt. De bepaalde restbreedte is veranderlijk over het hele traject. De variatie wordt veroorzaakt door de aanwezige kruinbreedte en de golfhoogte.

Voor de eindbeoordeling van GEBU is een overzicht gemaakt van alle uitgevoerde beoordelingen en weergegeven in Tabel 6-3. Om aan het eindoordeel te voldoen dient minimaal één van de toetsingen te voldoen die van grof naar fijn zijn uitgevoerd.

Tabel 6-3: Resultaten GEBU (ET =eenvoudige toets, GT =gedetailleerde toets, TOM =Toets op Maat, Reststerkte analyse)

Geovak GEBU	Van	Tot	ET	GT	TOM	Reststerkte analyse	Eindoordeel
GEBU_01	106+00	107+60	Voldoet niet	0,891	2,702	n.v.t.	Voldoet
GEBU_02	107+60	116+75	Voldoet niet	0,228	1,912	n.v.t.	Voldoet
GEBU_03	116+75	146+50	Voldoet niet	0,206	0,742	positieve restbreedte	Voldoet
GEBU_04	146+50	177+50	Voldoet niet	0,154	0,24	positieve restbreedte	Voldoet
GEBU_05	177+50	203+50	Voldoet niet	0,282	0,319	positieve restbreedte	Voldoet

6.3.3 Grasbekleding Afschuiven Binnentalud (GABI)

Wijze van beoordelen (eenvoudige toets + Omgang GABI SLD)

Het faalmechanisme afschuiven binnentalud heeft een sterke relatie met het faalmechanisme micro-instabiliteit. Bij een overslagdebiet dat bij de norm groter is dan 0,1 l/s/m kunnen de waterspanningen in de dijk extra snel stijgen. De waterspanningstoename als gevolg van golfoverslag moet de f worden meegenomen bij de beoordeling van de stabiliteit van de bekleding op het binnentalud. Als het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m dan is de beoordeling van GABI maatgevend over de beoordeling van microstabiliteit. Vanuit een indicatieberekening van het analysespoor kruinhoogte waarin het Hydraulisch Belastingniveau is bepaald (hoofdstuk 2), is gebleken dat over een deel van het dijktraject het overslagdebiet $> 0,1$ l/s/m bedraagt, waardoor het faalmechanisme GABI onderzocht moet worden.

In onderstaande tekst wordt eerst ingegaan op de resultaten van de Eenvoudige Toets, vervolgens op de beoordeling via de werkwijze beschreven in de “Omgang met GABI bij Sterke Lekdijk”,

Eenvoudige toets

De eenvoudige toets voor grasbekleding afschuiven binnentalud bestaat uit een toets op basis van geometrische kenmerken en eenvoudig te bepalen parameters.

Stap E.1: De bekleding voldoet als positief geantwoord kan worden op eenvoudige kenmerken

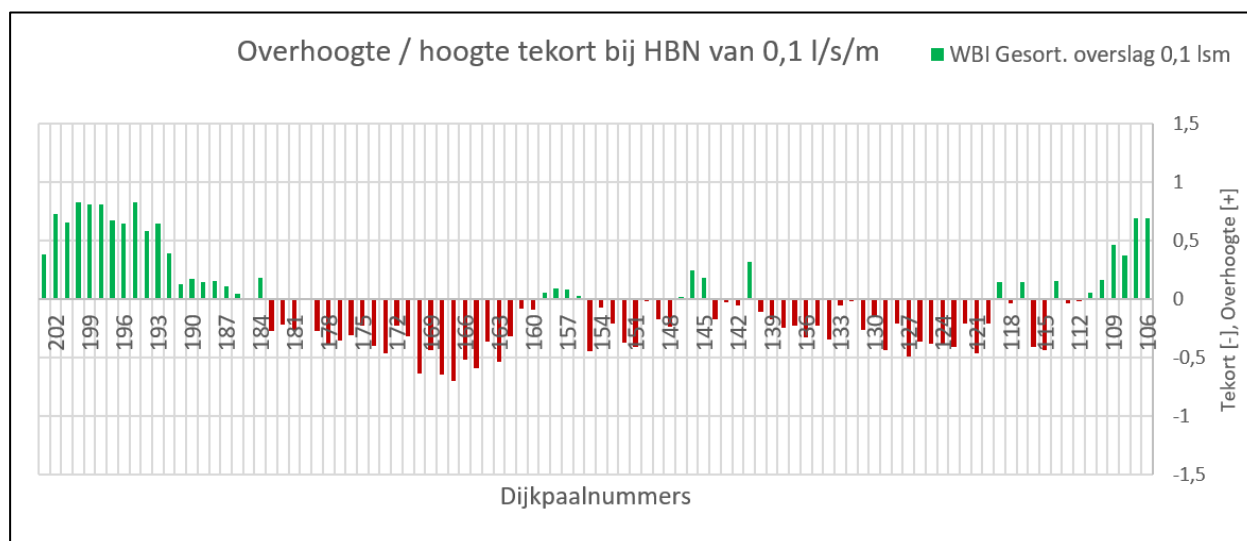
- Het overslagdebiet is kleiner dan 0,1 l/s/m (bepaald bij de norm);
 - Om te controleren of aan deze voorwaarde wordt voldaan zijn overslagberekeningen uitgevoerd gebaseerd op het rekenrecept [23] en de rekenbestanden die ook gebruikt zijn om het hydraulisch belastingniveau voor 1 l/s/m, 5 l/s/m en 10 l/s/m vast te stellen, zie hoofdstuk 2.2.3.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:5H en bestaat niet uit veen;
 - Antwoord: De binnendijkse taludhellingen bij ICU zijn steiler dan 1V:5H.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:3H en de dijk bestaat uit stevige klei;
 - Antwoord: De binnendijkse taludhellingen bij ICU zijn, op een enkele dijkpaal na, steiler dan 1V:3H of de aanwezigheid van stevige klei is niet aangetoond.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:4H en bestaat uit klei die niet als stevig wordt gekwalificeerd;
 - Antwoord: De binnendijkse taludhellingen bij ICU zijn steiler dan 1V:4H.

Resultaten

In Figuur 6-8 zijn de resultaten te zien van de benodigde kruinhoogte voor een overslagdebiet van 0,1 l/s/m en de bestaande kruinhoogte. Aangehouden is het zichtjaar 2073 en er is rekening gehouden met bodemdaling door de bestaande kruinhoogte te verlagen. De roodgekleurde kolommen geven locaties aan waar niet wordt voldaan aan de benodigde kruinhoogte voor een overslagdebiet van 0,1 l/s/m of minder.

Bij de berekening van het HBN met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m dient het volgende te worden opgemerkt:

- Uitgangspunten zijn overgenomen uit de eerder uitgevoerde HBN-berekeningen voor een overslagdebiet van 10, 5, 1 en 0,1 l/s/m.



Figuur 6-8: Hoogteoverschot of -tekort per dijkpaal met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m

Geconcludeerd kan worden dat van de 98 dijkpalen er 60 niet voldoen aan de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m.

Beoordeling – Stap 1

In de fase van het NKO wordt GABI “Omgang met GABI bij Sterke Lekdijk” voortgezet met stap 1, waarin een analyse wordt uitgevoerd met de formules van Edelman Joustra. Sectie 1 tot en met sectie 7 voldoen al aan de eenvoudige toets en zijn in stap 1 van de notitie niet nog eens beschouwd. Het oordeel van stap 1 is weergegeven in Tabel 6-4. Indien “voldoet niet” van toepassing is, wordt er de benodigde taludhelling in de laatste kolom weergegeven om uiteindelijk wel te voldoen aan GABI. Dit kan als scope worden beschouwd.

Tabel 6-4: Resultaten GABI (Stap 1, “Omgang met GABI bij Sterke Lekdijk” [23]) Eenvoudige toets

	Geovak GABI	Van	Tot	Rekenlocatie dijkpaal [-]	Correctie factor	Veiligheids factor	Oordeel	Benodigde talud helling
Sectie 1		106+00	111+50				Voldoet	
	GABI_01	111+60	113+50	112	1.00	0.80	Voldoet niet	3,19
Sectie 2		113+50	114+50				Voldoet	
	GABI_02	114+50	116+75	115	1.00	0.81	Voldoet niet	3,19
	GABI_03	116+75	118+50	118	1.00	0.86	Voldoet niet	3,19
Sectie 3		118+50	119+50				Voldoet	
	GABI_04	119+50	130+50	126	1.00	0.62	Voldoet niet	3,19
	GABI_05	130+50	140+50	134	1.00	0.65	Voldoet niet	3,19
Sectie 3		140+50	141+50				Voldoet	
	GABI_06	141+50	144+50	144	1.00	0.60	Voldoet niet	3,19
Sectie 4		144+50	147+50				Voldoet	
	GABI_07	147+50	155+50	155	1.00	0.55	Voldoet niet	3,19

	Geovak GABI	Van	Tot	Rekenlocatie dijkpaal [-]	Correctie factor	Veiligheids factor	Oordeel	Benodigde ta- lud helling
Sectie 5		155+50	159+50				Voldoet	
	GABI_08	159+50	166+00	165	1.00	0.75	Voldoet niet	3,19
	GABI_09	166+00	179+50	173	1.00	0.57	Voldoet niet	3,19
Sectie 6		179+50	181+50				Voldoet	
	GABI_10	181+50	183+50	183	1.00	0.71	Voldoet niet	3,19
Sectie 7		183+50	203+00				Voldoet	

Beoordeling – Stap 2

In Stap 2 wordt gekeken of binnen het beschouwde vak een ander faal mechanisme ook tot scope leidt. In dit geval kan dit integraal opgepakt worden. Deze stap is in de fase van het NKO niet expliciet vastgelegd. In feite is stap 3 als eerste uitgevoerd.

Beoordeling – Stap 3

In Stap 3 van Notitie omgang met GABI bij Sterke Lekdijk [23] wordt er gerekend met een ander zichtjaar, namelijk 2035 in plaats van 2073. Daarmee wordt afgeweken van een ontwerplevensduur van 50 jaar voor een “groene kering”. Voor de Sterke Lekdijk is deze notitie en dus dit afwijkende zichtjaar een uitgangspunt. Op basis van het zichtjaar 2035 met een herhalingsstijd met T=10.000 is de beoordeling voor GABI uitgevoerd. In Tabel 6-5 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 6-5: Resultaten GABI (Stap 3, “Omgang met GABI bij Sterke Lekdijk” [23])

Dijkpaal	Oordeel GABI				
		123	voldoet	141	voldoet
106	voldoet	124	voldoet	142	voldoet
107	voldoet	125	voldoet	143	voldoet
108	voldoet	126	voldoet	144	voldoet
109	voldoet	127	voldoet	145	voldoet
110	voldoet	128	voldoet	146	voldoet
111	voldoet	129	voldoet	147	voldoet
112	voldoet	130	voldoet	148	voldoet
113	voldoet	131	voldoet	149	voldoet
114	voldoet	132	voldoet	150	voldoet
115	voldoet	133	voldoet	151	voldoet
116	voldoet	134	voldoet	152	voldoet
117	voldoet	135	voldoet	153	voldoet
118	voldoet	136	voldoet	154	voldoet
119	voldoet	137	voldoet	155	voldoet
120	voldoet	138	voldoet	156	voldoet
121	voldoet	139	voldoet	157	voldoet
122	voldoet	140	voldoet	158	voldoet

159	voldoet
160	voldoet
161	voldoet
162	voldoet
163	voldoet
164	voldoet
165	voldoet
166	voldoet
167	Voldoet niet
168	Voldoet niet
169	voldoet
170	Voldoet niet
171	voldoet
172	voldoet
173	voldoet

174	voldoet
175	voldoet
176	voldoet
177	voldoet
178	voldoet
179	voldoet
180	voldoet
181	voldoet
182	voldoet
183	voldoet
184	voldoet
185	voldoet
186	voldoet
187	voldoet
188	voldoet

189	voldoet
190	voldoet
191	voldoet
192	voldoet
193	voldoet
194	voldoet
195	voldoet
196	voldoet
197	voldoet
198	voldoet
199	voldoet
200	voldoet
201	voldoet
202	voldoet
203	voldoet

De beoordeling is gedaan voor een ander zichtjaar dan wat in de Strategische Nota van Uitgangspunten staat voorgeschreven, namelijk een ontwerplevensduur voor een “groene kering” van 50 jaar. Hiervoor geldt het zichtjaar 2073. In deze beoordeling van GABI is volgens de Notitie Omgang GABI bij Sterke Lekdijk het zichtjaar 2035 toegepast (andere beoordelingsronde).

Hoogtetekorten bij een HBN 0,1 l/s/m bij T=10.000 zijn:

- DP167 → 0,04 meter tekort
- DP168 → 0,02 meter tekort
- DP170 → 0,04 meter tekort

Beoordeling – Stap 4 & 5 & 6

De dijkpaal locaties 167, 168 en 170 kunnen verder beoordeeld worden met een Toets op Maat, waarbij gebruik wordt gemaakt van stap 4, stap 5 en stap 6 vanuit de Notitie GABI Sterke Lekdijk [23]. De stappen worden op dit moment binnen HDSR verder uitgewerkt. Door een DOT (Deskundig Oordeel Toets op maat) formulier in te vullen kunnen er kansen per gebeurtenis ingevuld worden door verschillende specialisten. Hierin komt het gesprek op gang tussen het Assetteam van HDSR, ontwerpers en andere specialisten waaruit blijkt waar de grote onzekerheden in de gebeurtenissenboom voor GABI voor deze drie locaties zit.

Wanneer die onzekerheden inzichtelijk zijn, kunnen concrete afspraken of ontwerpmaatregelen genomen worden. Immers gaat het om drie dijkpaal locaties waarbij een maximaal tekort van 4 centimeter is.

Voor de zomer van 2022 is vanuit het Innovatiespoor van HDSR aangegeven dat er voor ICU geen scope is voor het mechanisme GABI. In de fase van het VKA wordt de werkwijze en de resultaten die voor ICU zijn uitgevoerd door het TM gereviewed. Eventuele opmerkingen of onduidelijkheden worden in samenspraak met HDSR uiteindelijk verwerkt in het VKA.

Conclusie

Uit de beoordeling van GABI (stap 1 – stap 3) volgens de Notitie [23] is gebleken dat 3 locaties niet voldoen: DP167, DP168 en DP170. Het hoogte tekort is zeer gering, namelijk 2 tot 4 centimeter. Na uitvoering van de vervolgstap (stap 4) door Innovatiespoor HDSR is gebleken dat er vanuit ICU geen opgave voor GABI is. Binnen ICU wordt de review van deze stap 4 nog uitgevoerd tijdens VKA. De hiervoor geldende uitgangspunten voor GABI worden na afstemming met HDSR en TM tijdens het VKA opgenomen in de TUN.

Aanbevelingen en bekritisering

Voor het goedkeuren van GABI in Stap 1 dient rekening te worden gehouden met de relatief steile taluds in de huidige situatie. De standaardwaarden voor de deklaagdikte (D), effectieve cohesie (c') en wrijvingsgetal (ϕ') zijn streng. Daarnaast is de volumieke massa van natte grond dusdanig hoog dat de cohesie niet voor meer dan 50% bijdraagt aan de schuifsterkte. Daardoor mag de correctiefactor voor de teen niet worden toegepast (factor overal 1,0). Indien er aangetoond wordt dat het volumieke massa aanzienlijk lager ligt dan zou de correctiefactor mogelijk effect hebben.

Daarnaast is het mogelijk om met de huidige parameters GABI te laten voldoen door een taludverflauwing toe te passen. Daarvoor moet grofweg het talud 1 : 3,2 komen te liggen.

In stap 3 is GABI getoetst aan een HBN-eis met een toelaatbaar overslagdebiet van 0,1 l/s/m voor het zichtjaar 2035 met een herhalingsstijd van T=10.000. Volgens bijlage III uit de Ministeriële regeling [20] dient GABI (groep 4) beoordeeld te worden met de norm van het dijktraject, in dit geval 1/10.000 per jaar.

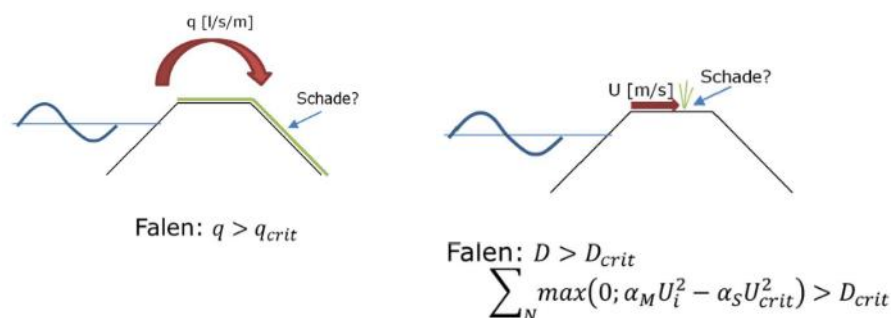
“groep 4 Toetssporen waarvoor geen probabilistische berekening of semiprobabilistische berekening met veiligheidsfactoren die voor WBI 2017 zijn afgeleid, beschikbaar zijn. Voor deze toetssporen wordt, uitgezonderd het toetsspoor STBI, niet gerekend met de faalkanseis per doorsnede of constructie. Faalkansbegroting en lengte-effect worden niet in rekening gebracht. Voor het afleiden van de hydraulische belastingen wordt de norm van het dijktraject gebruikt.”

In de Pré-Veilighedsanalyse en de fase van Nota van Uitgangspunten (NvU) zijn de relevante dijpalen voor het mechanisme GABI bepaald door de huidige kruinhoogtes te toetsen aan een HBN van 0,1 l/s/m met T=41.667. Deze Terugkeertijd is gekoppeld aan het mechanisme GEKB. De overstap van T=41.667 naar T=10.000 is op dit moment zonder onderbouwing gemaakt, maar wel correct volgens Bijlage III [20].

6.3.4 Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB)

Wijze van beoordelen

Het mechanisme GEKB is sterk gecorreleerd aan de hoogte van de kering. Deze hoogte is bepaald aan de hand van een vastgesteld Hydraulisch Belasting Nivea (HBN), waarbij HDSR een maximaal overslagdebiet van $q = 5,0$ l/s/m toelaat. De relatie tussen GEKB en het HBN is weergegeven in figuur 6-9. Hierin is te zien dat een grotere overslagdebiet en (daarmee lagere kruinhoogte) resulteert in grotere stroomsnelheden in de kruin en binnentalud, wat leidt tot meer erosie.



Figuur 6-9: Relatie HBN en GEKB

Beoordeling

Uit de beoordeling van de hoogte (zie § 2.2.1) blijkt dat er sprake is van een flinke overhoogte, wat tot lagere stroomsnelheden U in m/s leidt, waardoor GEKB minder snel faalt of de HBN-eis versoepeld kan worden.

Een versoepeling heeft geen nut, omdat de bestaande kering eenmaal op deze hoogte ligt. Dat betekent dat de kans op falen van GEKB verlaagd wordt. Zelfs in grote mate, omdat het hele deeltraject ICU zelfs voldoet aan de HBN-eis van 1 l/s/m (zie figuur 2-3). In het achtergronddocument OI2014v4 worden veilige waarden voorgeschreven “waarbij schade aan de bekleding onwaarschijnlijk is en falen praktisch is uitgesloten.” De aanvullende eisen voor een optredend overslagdebiet van 1 l/s/m zijn:

- Gesloten zode of open zode op kleilaagdikte van minimaal 0,4m
- Controle op afschuiven van de bekleding verplicht

Binnen het deeltraject ICU wordt “open zode” gehanteerd volgens de TUN [6]. Tot slot wordt in het spoor Grasbekleding Afschuiven Binnentalud (GABI, zie § 6.3.3) de tweede aanvullende eis meegenomen in de beoordeling. Oftewel het resultaat van het mechanisme GABI wordt overgenomen voor GEKB.

Hiermee dienen alle locaties ter plaatse van de kruin en het binnentalud een minimale kleilaagdikte van 0,4m te hebben. In verband met uitgravingen door dieren wordt geadviseerd om daar 0,4m klei bovenop te doen, waardoor de totale minimale kleilaagdikte 0,8 meter bedraagt.

Conclusie

GEKB voldoet indien wordt voldaan aan een aanwezige kleilaagdikte van 0,8 meter in de kruin en binnentalud. Dit kan zowel in de huidige situatie als na verbetering van de kering. Het geotechnische lengteprofiel en bestekstekeningen uit de jaren '80 tonen aan deze kleilaag aanwezig is en dus wordt er voldaan aan de voorgenoemde eis. Een tweede vereiste is een positief oordeel op GABI. Dit laatste is in § 6.3.3 uitgewerkt. Hieruit komt naar voren dat het gehele traject voldoet aan GABI nadat de drie specifieke locaties definitief zijn goedgekeurd in afstemming met HDSR.

Verwacht wordt dat aan beide eisen wordt voldaan voor het hele traject waardoor de beoordeling op GEKB ook zal voldoen.

GABI:

Uit de beoordeling van GABI volgens de Notitie [23] is gebleken dat 3 locaties niet voldoen. DP167, DP168 en DP170. Het hoogte tekort is hier zeer gering, namelijk 2 tot 4 centimeter. Uit de laatste stap van Notitie omgang GABI bij Sterke Lekdijk (concept werkwijze) is gebleken dat met een faalkansanalyse er geen opgave voor GABI is. Daarmee is ook voor het mechanisme GEKB de laatste losse eindje afgerond.

6.3.5 Reflectie en aanbevelingen

Het mechanisme GEKB kan volledig probabilistisch beoordeeld worden in Riskeer. In de Veiligheidsanalyse NvU (zonder optimalisaties) werd deze arbeidsintensieve stap als overbodig beschouwd, aangezien de kans groot was om alle locaties goed te keuren binnen het spoor GABI met de notitie Omgang met GABI bij Sterke Lekdijk. Deze verwachting lijkt te zijn uitgekomen. Zie bovenstaande conclusie.

6.4 Steen

Slechts op één locatie binnen het traject van ICU bevindt zich een steenbekleding; namelijk bij de voorhavendijk. De bekleding is hier opgebouwd uit twee bekledingsvakken. Over de gehele voorhavendijk bevindt zich op en rond de waterlijn een bestorting van losse breuksteen. In de luwte van de wachtsteiger ligt direct boven de waterlijn een vak met gezette betonzuilen over een hoogte van ca. 1 m.

6.4.1 Stortsteen

De stortsteen ligt er ter bescherming van de dijk tegen een belasting uit scheepsgolven. De maximale belasting treedt dan ook op onder dagelijkse omstandigheden of licht verhoogde waterstanden. Bij maatgevende waterstanden is de scheepvaart gestremd en veroorzaakt deze geen maatgevende belasting op de waterkering.

De breuksteen is ontworpen op belasting uit scheepsgolven. De in het kader van de waterveiligheid optredende windgolven vormen dan ook geen maatgevende belasting. Op dit onderdeel is dan ook geen beoordeling uitgevoerd omdat deze niet van toepassing is.

6.4.2 Betonzuilen

Voor de betonzuilen volgen we dezelfde redeneerlijn als hiervoor beschreven voor de stortsteen. Bovendien liggen de betonzuilen in de luwte van de wachtsteiger waardoor een eventuele golfbelasting verder is gereduceerd wanneer deze golfbelasting bij de betonzuilen aan komt. Op dit onderdeel is geen beoordeling uitgevoerd, omdat deze niet van toepassing is.

6.4.3 Berekeningsresultaten Steenbekleding

Omdat de steenbekleding en stortsteen niet worden belast tijdens maatgevende omstandigheden voor de waterkering zijn voor dit onderdeel geen berekeningen gemaakt.

7 Voorland (VL)

Elk van de deelfaalmechanismen onder het hoofdspoor voorland zijn indirecte mechanismen. Dit betekent dat bij het optreden van het faalmechanisme, de waterkering niet direct bezwijkt maar wel wordt verzwakt. Indien die verzwakking groot genoeg is, neemt de kans op het optreden van een direct mechanisme zodanig toe dat de veiligheid in gevaar komt. Bij het spoor voorland gaat het om de volgende twee directe mechanismen:

1. STBU; de omvang van het voorland kan zover afnemen dat het uittredepunt van de glijcirkel voor STBU negatief wordt beïnvloed.
2. Piping; In de beoordeling van piping is, waar aanwezig, een kwelweglengte in het voorland aangehouden gelijk aan eenmaal de dijkbasis. Wanneer het voorland korter wordt dan die afstand, verschuift ook het intredepunt voor piping landwaarts richting de buitenteen. De afnemende kwelweglengte kan leiden tot piping.

Bij elk van de beoordelingen binnen voorland is de invloedszone van groot belang. Deze geeft namelijk de afstand vanaf de buitenteen rivierwaarts waar een reductie van het voorland negatieve invloed heeft op de directe mechanismen. Op basis van de beoordelingen van STBU en STPH is gebleken dat STPH voor deze Veiligheidsanalyse overal maatgevend is. Onderstaande tabel geeft per dijkpaal aan waar het voorland beoordeeld is en hoeveel meter de invloedszone buiten de buitenteen doorloopt. Tevens is aangegeven waarom bij de betreffende dijkpaal het voorland beoordeeld is.

Tabel 7-1 Getoetste voorlandlocatie en waarom deze locatie

Dijkpaal	Waarom deze dijkpaal
114	Lang voorland maar met waterpartijen
124	Kortste voorland van omliggende profielen
133	Schaardijk langs geul met nog wel een zomerkade
143	Gevoeligheid voor profiel 146
146	Kort voorland
148	Gevoeligheid voor profiel 146
161	Langste voorland ter indicatie van gevolgen, met relatief lang strijklengte op zuidwesten
177	Lange strijklengte op het zuiden met gemiddelde voorlandlengte
194	Schaardijk
203	Voorland met waterpartijen

Tabel 7-2 Getoetste voorlandlocatie met invloedzone en waarom deze locatie

Dijkpaal	WBN [NAP+...m]	H _{m0} [m] bij norm ¹	Maximale afslag klei [m] ²	Invloedzone vanaf de buitenteen [m]
114	8,60	0,36	5	60
124	8,44	0,61	5	80
133	8,36	0,41	5	70
143	8,18	0,19	5	50
146	8,14	0,40	5	40
148	8,07	0,33	5	80
161	8,00	0,41	5	65
177	7,94	0,50	5	85
194	7,76	0,47	5	25
203	7,55	0,4	5	70

¹ De golfhoogten zijn afgeleid voor asfaltbekleding bij de $P_{eis,dsn} = 1/33.333$ per jaar. Geëxtrapoleerd naar WBN

² Afgelezen op basis van golfhoogte bij norm in figuur 22-3 in bijlage iii bij de Wettelijke Regeling [10]

Vanwege de kleine golfhoogten bij norm is de exacte waarde van de maximale afslag niet af te lezen uit de genoemde grafiek. Daarom is gekozen een maximale afslag aan te houden van 5 m wat op basis van de grafiek aan de conservatieve kant is. Het niet meenemen van afslag is ons inziens te optimistisch waardoor besloten is enige veiligheid aan te houden en 5 m extra aan te houden.

7.1 Golfafslag (VLGA)

Voor de eenvoudige toets voor golfafslag voor het voorland dienen twee stappen gezet te worden. Als eerste dient te zijn vastgesteld of golfafslag schadelijk is voor de directe mechanismen (stap E1). Als tweede dient beoordeeld te zijn of optredende golfafslag ook mogelijk is (stap E2). Indien één van beide antwoorden “nee” is dan is de faalkans verwaarloosbaar. Indien het antwoord op vraag E2 “ja” is dan dient verder beoordeeld te worden. Tabel 7-3 geeft het overzicht van de oordelen per dijkpaal. De beoordeling is gedaan op basis van de dwarsprofielen met behulp van een Excel weergave in een grafiek. Zie hiervoor Bijlage F. Golfafslag wordt gezien als niet schadelijk vanwege de grote afstand tussen de werkelijke rand van het voorland ten opzichte van de rand van het signaleringsprofiel.

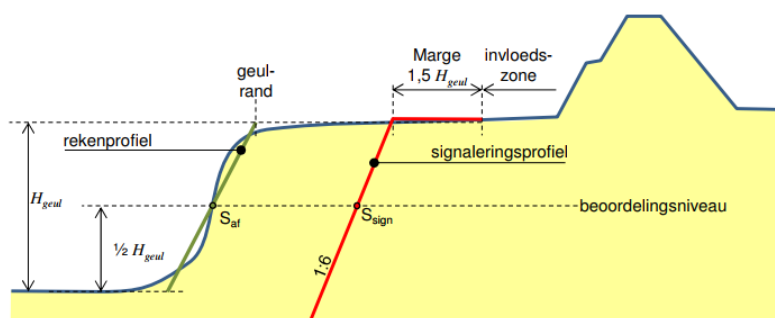
Tabel 7-3 Oordelen op VLGA

Dijkpaal	E1 Golfafslag = schadelijk?	E2 Golfafslag is mogelijk?	Oordeel
114	nee	n.v.t.	Voldoet
124	nee	n.v.t.	Voldoet
133	nee	n.v.t.	Voldoet
143	nee	n.v.t.	Voldoet
146	nee	n.v.t.	Voldoet
148	nee	n.v.t.	Voldoet
161	nee	n.v.t.	Voldoet
177	nee	n.v.t.	Voldoet
194	nee	n.v.t.	Voldoet
203	nee	n.v.t.	Voldoet

7.2 Afschuiving (VLAF)

Voor de eenvoudige toets voor afschuiving voorland dienen twee stappen gezet te worden. Als eerste dient te zijn vastgesteld of een afschuiving schadelijk is voor de directe mechanismen (stap E1). Als tweede dient beoordeeld te zijn of een optredende afschuiving ook mogelijk is (stap E2). Indien één van beide antwoorden “nee” is dan is de faalkans verwaarloosbaar. Indien het antwoord op vraag E2 “ja” is dan dient verder beoordeeld te worden. Tabel 7-4 geeft het overzicht van de oordelen per dijkpaal. De beoordeling is gedaan op basis van de dwarsprofielen met behulp van een Excel weergave in een grafiek. Zie hiervoor Bijlage F.

De eenvoudige toets stelt feitelijk vast of het rekenprofiel zich rivierwaarts bevindt van het signaleringsprofiel. Zie onderstaande afbeelding. Ook hier wordt een mogelijk afschuiving niet als schadelijk beschouwd. Immers geldt ook hier dat de afstand tussen het signaleringsprofiel en het rekenprofiel zodanig groot is dat een afschuiving geen invloed heeft op het signaleringsprofiel.



Figuur 23-2 Situatie zonder bestorting met signaleringsprofiel en rekenprofiel voor afschuiven voorland.

Tabel 7-4 Oordelen op VLAF

Dijkpaal	E1 Afschuiving = schadelijk?	E2 Afschuiving is mogelijk?	Oordeel
114	nee	n.v.t.	Voldoet
124	nee	n.v.t.	Voldoet
133	nee	n.v.t.	Voldoet
143	nee	n.v.t.	Voldoet
146	nee	n.v.t.	Voldoet
148	nee	n.v.t.	Voldoet
161	nee	n.v.t.	Voldoet
177	nee	n.v.t.	Voldoet
194	ja	nee	Voldoet
203	nee	n.v.t.	Voldoet

Voor stap E2 geldt dat indien aan geen van de onderstaande voorwaarden wordt voldaan, de faalkans ten gevolge van een afschuiving van het voorland verwaarloosbaar klein is. De voorwaarden zijn:

- De gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1V:2H, over een hoogte van minimaal 5 m, tenzij er sprake is van een kleilaag zonder zand.
- De gemiddelde helling is steiler dan of gelijk aan 1V:1H, over een hoogte van minimaal 5 m, mits ter plaatse van de kleilaag zonder zand.
- De totale helling (geulrand-geulbodem) is gemiddeld steiler dan of gelijk aan 1V:4,5H.

Voor het profiel bij dijkpaal 194 is voor stap E2 bepaald dat de helling van het rekenprofiel gelijk is aan 1:9,7. Daarmee voldoet het profiel aan geen van de voorwaarden voor het kunnen optreden van een afschuiving.

7.3 Zettingsvloeiing (VLZV)

Ook voor het deelfaalmecanisme zettingsvloeiing dienen enkele vragen beantwoord te worden. Als eerste wederom de vraag of een vloeiing schadelijk is voor de directe mechanismen. Vervolgens twee deelvragen met betrekking tot de mogelijkheid van optreden. Vanwege de lokale omstandigheden is voor project ICU besloten eerst te beoordelen of een vloeiing mogelijk is.

Om een zettingsvloeiing op te kunnen laten treden dienen losgepakte zandlagen aanwezig zijn met een relatief uniforme korrelverdeling van ronde korrels. Uit gegevens van de bodemopbouw, die volgen uit het recent opgeleverd geotechnisch lengteprofiel, is vast te stellen dat de toplagen die aansluiten op de geul van de Lek hier met name cohesief zijn. Daarmee is de kans op het optreden van een zettingsvloeiing verwaarloosbaar klein geworden.

Om bovenstaande meer inhoud te geven staat in onderstaande tabel alsnog de beoordeling op het eerste criterium voor het kunnen optreden van een vloeiing. Namelijk of de helling van het onderwatertalud steiler dan of gelijk is aan 1:4 over een hoogte van minimaal 5m. Dit is stap E2 in het beoordelingsschema voor VLZV, zie figuur 24-1 van Bijlage III bij de Wettelijke Regeling [20].

Tabel 7-5 Resultaten stap E2 op VLZV

Dijkpaal	Taludhelling onderwatertalud	Geulhoogte onderwatertalud	Oordeel
114	1:18	6,3	Voldoet
124	1:6,5	9,1	Voldoet
133	1:8,5	6,6	Voldoet
143	1:12	5,8	Voldoet
146	1:13	6,3	Voldoet
148	1:7	7,3	Voldoet
161	1:7,5	6,8	Voldoet
177	1:11	7,1	Voldoet
194	1:10	6,5	Voldoet
203	1:20	7,65	Voldoet

7.4 Resultaten beoordeling voorland

Op basis van de drie deelfaalmechanismen volgt geen scope voor het versterken met betrekking tot het voorland.

8 Conclusie

8.1 Algemeen

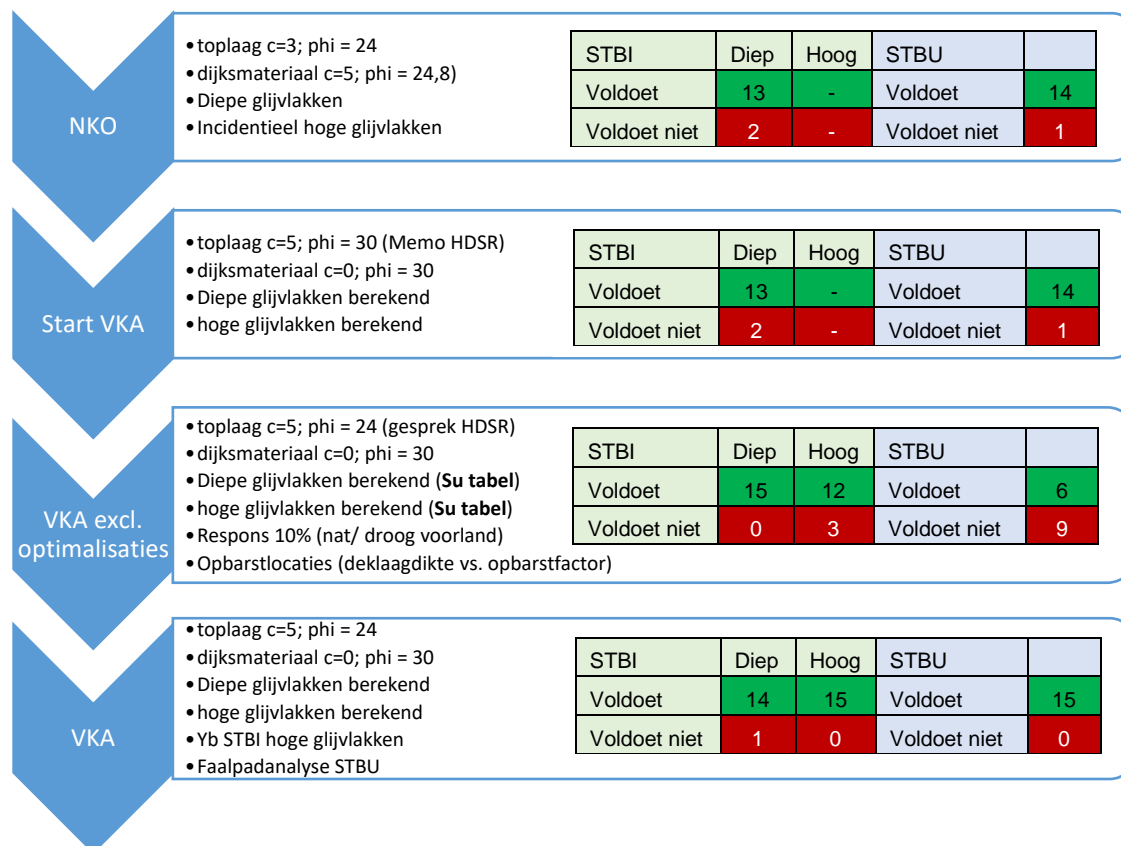
In dit hoofdstuk is in paragraaf 8.1 het algemene eindoordeel weergegeven. In de navolgende paragrafen is een nadere toelichting gegeven op de resultaten van de relevante faalmechanismen. Maar allereerst is een overzicht gegeven van de uitgevoerde optimalisaties welke tijdens de verkenningsfase zijn uitgevoerd om tot een betere bepaling van de scope te komen.

Faalmechanisme	Uitgevoerde optimalisaties	Fase
Piping en Heave (STPH)	Opsplitsen dijkvakken	Nota NvU
	Gevoeligheidsanalyse doorlatendheden	Nota NKO
	<u>Toepassen beslisboom piping hypothese 1 (zie paragraaf 4.1.2)</u>	Nota NKO
	Check beschikbaar voorland onderzoek	Nota NKO
	Berekeningen met Pipingtool (VIKTOR)	Nota VKA
	Berekeningen met D-Geoflow	Nota VKA
	Verificatie van schematiseringsfactor	Nota VKA
	Aanvullend voorland onderzoek (booronderzoek en grondradar-onderzoek)	Nota VKA
	Hypothese 2 beslisboom piping	Nota VKA
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	Opsplitsen dijkvakken	Nota NvU
	Toevoegen cohesie toplaag	Nota NKO
	Verhogen pre-overburden pressure (POP) waarden	Nota NKO
	Toepassen geoptimaliseerde sterkteparameters	Nota VKA
	Verificatie van schematiseringsfactor	Nota VKA
Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	Opsplitsen dijkvakken	Nota NvU
	Verbeteren schematisatie	Nota NKO
	Val na hoogwater aangepast van 4 meter naar 3 meter	Nota NKO
	Toepassen aangepaste sterkteparameters	Nota VKA
	Verificatie van schematiseringsfactor	Nota VKA
	Faalpadanalyse	Nota VKA/NKO
Grasbekleding Erosie Buitentalud (GEBU)	Gedetailleerde toets	Nota NKO
	Faalpadanalyse	Nota NKO
	Verificatie 3 m kleilaag met veldonderzoek en erosieklasse 1 met laboratoriumonderzoek	planuitwerking
	Grasbekleding Afschuiven Binnentalud (GABI)	Werkwijze Memo aanpak GABI Sterke Lekdijk toegepast
Kunstwerk (inlaat bij de Irenesluis)	Uitvoeren veiligheidsanalyse kunstwerk: binnen het dijkversterkingstraject ligt één kunstwerk, namelijk het inlaatwerk in de Voorhavendijk Irenesluis West ter hoogte van dijkpaal 107.	Nota NKO

Eindoordeel

Om op het niveau van een dijkvak te voldoen aan de waterveiligheid dienen alle faalmechanismen te voldoen. Indien één van de mechanismen “voldoet niet” heeft gekregen dan is het eindoordeel van de waterveiligheid automatisch “voldoet niet”.

Enkele mechanismen zijn niet beoordeeld of beschouwd, omdat ze niet relevant of niet van toepassing zijn voor de waterveiligheid bij het project ICU. Het gaat om de mechanismen microstabiliteit en steen-/asfaltbekleding. Verder zijn Niet-Waterkerende Objecten geen onderdeel geweest van de verkenningsfase. Overigens zijn in Bijlage I en Bijlage J de beoordelingen gedurende de hele verkenningsfase weer gegeven in een soort van tijdlijn.



Figuur 8-1: Tijdlijn stabiliteitsberekeningen

In Figuur 8-1 zijn per stap (NKO, start VKA, VKA exclusief optimalisaties en het eindresultaat VKA) de aanpassingen puntsgewijs toegevoegd. Bovenaan staan de gehanteerde sterkteparameters. De effecten op de beoordeling zijn toegevoegd in de naastgelegen tabellen.

De mechanismen piping (STPH), macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts (STBU en STBI), grasbekleding erosie buitentalud (GEBU), en grasbekleding afschuiving binnentalud (GABI) zijn beoordeeld met de gedetailleerde toets en/of geoptimaliseerd met aangescherpte uitgangspunten. Deze optimalisaties en uitgangspunten zijn opgenomen in de TUN versie 10.0. Erosie kruin en buitentalud (GEKB) is alleen met

de Eenvoudige Toets beoordeeld en is ook onderdeel van deze Veiligheidsanalyse. De bijbehorende uitgangspunten staan in de TUN versie 8.0.

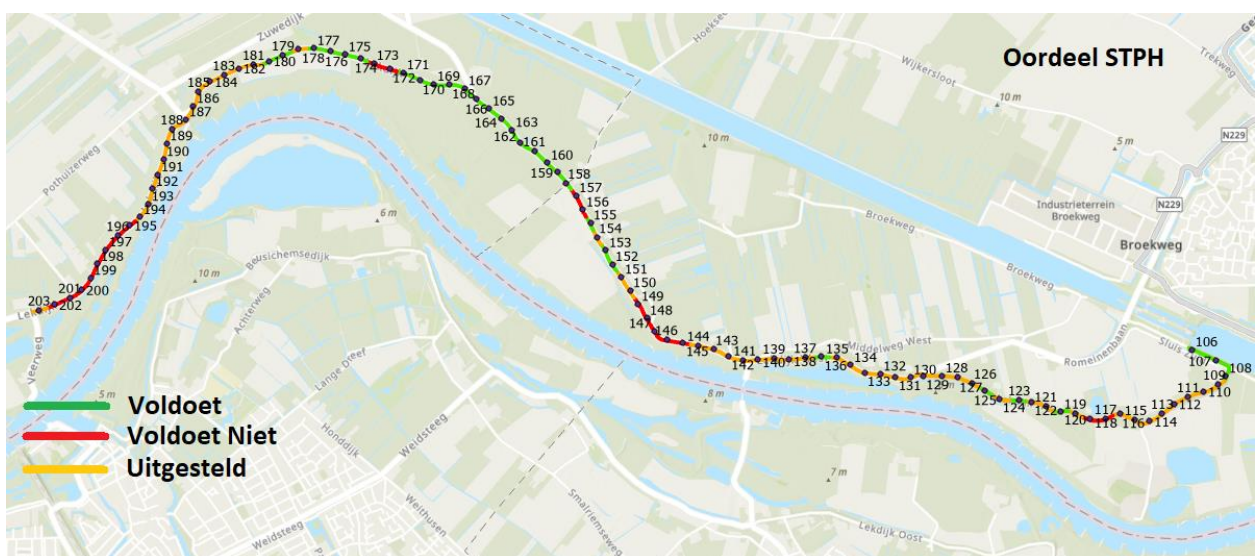
Het oordeel per faalmechanisme is opgenomen in de volgende figuren: Figuur 9-1, Figuur 9-3, Figuur 9-2, Figuur 9-4 en Figuur 9-5. Een tabel met het oordeel per faalmechanisme en het eindoordeel per dijkpaal is opgenomen in Bijlage A. Een kaart van de waterveiligheidsopgave is weergegeven in Figuur 8-6.



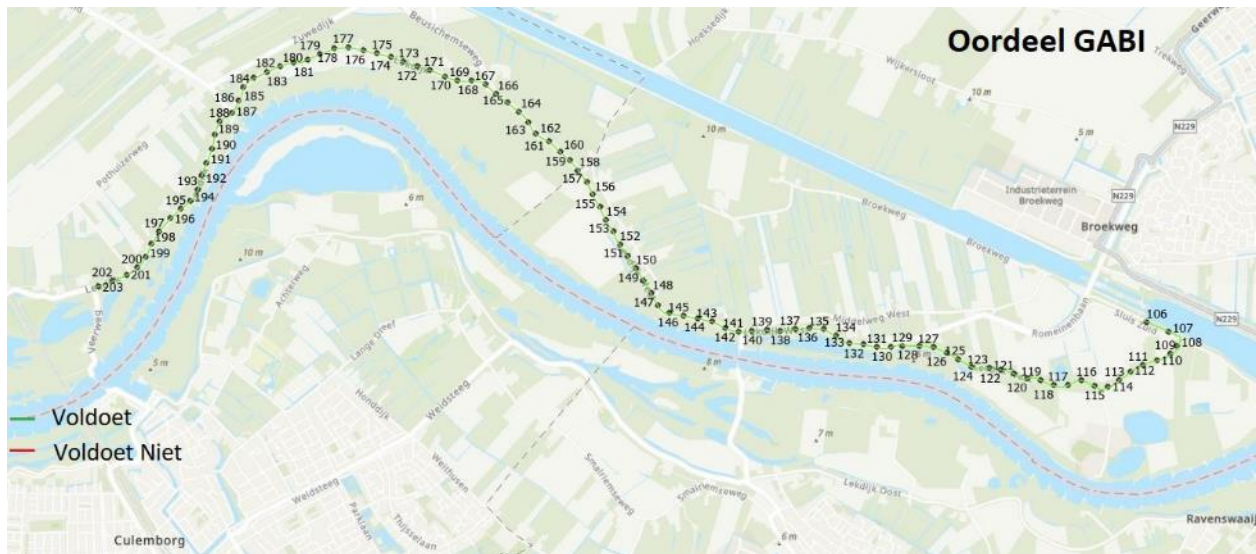
Figuur 8-2: Eindoordeel Stabiliteit Binnenwaarts (STBI) over gehele verkenningsfase.



Figuur 8-4: Eindoordeel Stabiliteit Buitenwaarts (STBU) over gehele verkenningfase.



Figuur 8-3: Eindoordeel Piping (STPH) gehele verkenningfase.



Figuur 8-5: Eindoordeel Grasafschuiving Binnentalud (GABI) gehele verkenningfase.



Figuur 8-6: Eindoordeel Graserosie buitentalud (GEBU) gehele verkenningfase

Een overzicht met het oordeel per faalmechanisme en het eindoordeel is opgenomen in Bijlage A. Het hele traject voldoet aan de faalmechanismen STBU, GEBU, GABI, GEBU, GEKB en GABU. Alle dijkvakken voldoen aan STBI met uitzondering van dijkvak 2b ter plaatse van het wiel (DP117 & DP118). Dit dijkvak is aangemerkt als maatwerklocatie. Faalmechanisme piping (STPH) draagt met 19 dijkpalen (1,9 km) met een negatief oordeel het meest bij aan de totale scope. Bij dijkpalen 117 & 118 valt de negatieve beoordeling van STBI samen met STPH. In totaal hebben dus 19 dijkpalen (1,9km) een definitief negatief oordeel op ten minste een van de faalmechanismen.



Figuur 8-7: Kaart waterveiligheidsopgave einde verkenningfase **JUISTE KAART TOEVOEGEN**

8.2 Hoogte

De kruinhoogte in het zichtjaar 2073 ligt overal hoger dan het niveau dat behoort bij een overslagdebiet van 5 l/s/m. Dit betekent dat het optredende overslagdebiet overal kleiner is dan 5 l/s/m. Geconcludeerd is dat er voor ICU geen hoogteopgave is.

8.3 Macrostabiliteit binnenwaarts

Op basis van de aangescherpte uitgangspunten (schematiseringsfactor, sterkteparameters, e.d.) zijn voor binnenwaartse stabiliteit per dijkvak twee stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Eén om een hoge glijcirkel en één om een diepe glijcirkel tegen de stabiliteitseis te toetsen.

Uit de berekeningen blijkt dat één doorsnede met een diepe glijcirkel niet voldoet. Deze doorsnede ligt ten hoogte van het wiel bij DP117 (dijkvak 2b). Advies is om in de Planuitwerkingsfase aanvullend grondonderzoek uit te voeren om de bodemopbouw vlak naast en onder het wiel te kunnen bepalen. Dit is nog een onzekerheid, aangezien het dichtstbijzijnde grondonderzoek op de binnenberm ligt. Omdat deze aanbeveling betrekking heeft op het aanscherpen van de uitgangspunten is deze dan ook opgenomen in de TUN [6] en komt deze niet terug in de aanbevelingen in paragraaf 8.10

Voor de berekeningen van andere dijkvakken blijkt dat alles voldoet aan de stabiliteitseis, dus zowel de diepe glijvlakken als de hoge glijvlakken.

8.4 Piping

Op basis van de reguliere pipinganalyse aan de hand van OI2014v4 voldoen 70 van de 98 dijkpalen niet op het faalmechanisme piping, ondanks de relatief dikke deklaag langs een groot deel van het deeltraject. Dit heeft te maken met de hoge responsfactoren die zijn afgeleid middels de peilbuisanalyse [24].

In de fase van het NKO en VKA is de scope herbeschouwd a.d.h.v. de beslisboom piping. Hiermee is een groot deel van de veiligheidsopgave uitgesteld. Als laatste is in de fase van het VKA de overgebleven opgave herbeschouwd aan de hand van D-Geo Flow sommen. Na het toepassen van deze alternatieve rekenmethode kan het volgende geconcludeerd worden over de veiligheidsopgave.

- Bij de voorhavendijk van de Prinses Irenesluis en het verlengde hiervan (DP106 t/m 111) is geen veiligheidsopgave. Bij dijkpalen DP109 t/m DP111 is de opgave uitgesteld.
- Tussen de Bosscherwaarden en Den Oord (DP 112 t/m 148) wordt, zelfs met de aanwezigheid van een dikke deklaag (> 6,0 m), bij een overgrote deel van de dijkpalen niet voldaan aan piping vanwege de hoge respons in de watervoerende zandlaag. Een groot deel van deze opgave is vanwege de aanwezige dikke deklaag uitgesteld o.b.v. hypothese 1. De veiligheidsscope bedraagt 6 dijkpalen, DP117, DP118 en DP144 t/m DP148. Bij dijkpalen DP112 t.m 116, DP119, DP121, DP122, DP124, DP126 t/m DP135 en DP137 t/m DP144 is de opgave uitgesteld.
- Bij de Schalkwijker Buitenwaard (DP148 t/m DP 177) is, op vijf dijkpalen na, DP149, DP150, DP156, 157, 172 en 173), geen piping opgave. Dit traject wordt gekenmerkt door een breed voorland en een lage respons in het watervoerend pakket. Bij dijkpalen DP150, DP151, DP153 is de opgave uitgesteld. Ter hoogte van dijkpaal 156 en 157 is een tussenzandlaag aanwezig die niet voldoet aan het faalmechanisme piping. Ter hoogte van dijkpalen 172 en 173 voldoet het watervoerend pakket niet.
- Tussen de Schalkwijker Buitenwaard en Culemborgse Veer (DP 178 t/m 203) bedraagt de scope acht dijkpalen, DP195 t/m DP202. Een groot deel van dit deelgebied heeft een dikke deklaag in het achterland. Daarom is de veiligheidsscope voor een groot deel uitgesteld. Dit is het geval bij dijkpalen DP178, DP181 t/m DP194 en DP203. Dijkpalen DP179 en DP180 zijn goedgekeurd aan de hand van een DGeo-Flow som.

De totale opgave bedraagt 19 dijkpalen, zie tabel Tabel 8-1 voor een overzicht,

De volgende punten worden aanbevolen om uit te werken in de planuitwerking.

- Een groot deel van de piping-opgave is uitgesteld aan de hand van de beslisboom piping. Op de uitgestelde trajecten dienen beheersmaatregelen worden getroffen. De uitgestelde opgave dient in een volgende beoordelingsronde (2035) opnieuw worden beoordeeld. Een mogelijke afkeur zou de uitvoer van een versterking vereisen. Het gebruik van de beslisboom vereist daarom ook het ontwerp van een versterking om deze mogelijk in de toekomst alsnog uit te voeren.
- In het voorjaar van 2023 wordt grondonderzoek uitgevoerd om de deklaag in het voorland te bevestigen bij dijkpalen DP172 en DP173. Ten tijde van het opstellen van dit rapport is het resultaat van dit grondonderzoek niet beschikbaar. Geadviseerd wordt om dit grondonderzoek mee te nemen en de waterveiligheidsopgave te herzien. Mogelijk leidt dit tot een minder ingrijpende maatregel.

Tabel 8-1: Dijkpalen met veiligheidsopgave en het kwelweglengtetekort.

Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m]	Dijkpaal	Kwelweglengtetekort [m]
DP117	118,61	DP173	90,29
DP118	121,51	DP195	103,12

DP145	10,78	DP196	120,35
DP146	22,26	DP197	143,46
DP147	6,91	DP198	188,18
DP148	6,78	DP199	80,27
DP149	4,70	DP200	114,99
DP156	69,75	DP201	123,56
DP157	72,70	DP202	16,76
DP172	110,02		

8.5 Macrostabieleit buitenwaarts

Voor macrostabieleit buitenwaarts geldt dat alle dijkvakken voldoen. Voor de schaarlijk tussen dijkpaal 106 en 107+060 wordt ook voldaan na het uitvoeren van een faalpadanalyse voor de “val na hoogwater”. Voor de twee ander belastingsituaties lijkt de Schaarlijk te voldoen, maar dit dient in overleg met HDSR nog bekrachtigd te worden; dit gaat om de gehanteerde hersteltijd na het eerste hoogwater (21 dagen) en de belastingsituatie ‘extreme neerslag’ wat veel raakvlak heeft met ‘bewezen sterkte’ valt.

8.6 Microstabieleit

Voor het gehele deeltraject ICU geldt dat op basis van stap E.2. van de eenvoudige toets de dijk voldoet op het faalmechanisme microstabieleit, omdat de waterkering een (slecht doorlatende) kleikern heeft waarvan de hoogte gelijk is aan of hoger dan de waterstand bij norm en waarvan de basis aansluit op een slecht doorlatende ondergrond.

8.7 Bekledingen

GABU

Op basis van de eenvoudige toets is geconcludeerd dat langs het gehele deeltraject ICU wordt voldaan aan het faalmechanisme GABU.

GEBU

Voor het faalmechanisme GEBU voldoen dijkpalen 106 t/m 116 aan de gedetailleerde toets. Voor de overige dijkpalen is een reststerkte analyse uitgevoerd. De reststerkte is bepaald door de horizontale afstand tussen het erosieprofiel en een aangenomen reststerktelijn te nemen. Erosieprofielen zijn bepaald per dijkpaal aan de hand van het model opgesteld door Deltares [22]. Uit de analyse is naar voren gekomen dat als het falen van de grasmat tot erosie van de dijk kern leidt, er alsnog voldoende restbreedte aanwezig is.

Vanuit het toepassen van de restbreedte analyse is als aanbeveling gedaan om aan te tonen dat de kern van de dijk daadwerkelijk uit klei bestaat en voldoende sterkte heeft. In de periode mei & juni 2023 wordt dit onderzoek in het veld en in het laboratorium uitgevoerd. De resultaten komen te laat om in deze Veiligheidsanalyse op te nemen, maar volgen in de Planuitwerkingsfase.

GABI

Op basis van de eenvoudige toets voldoen 38 dijkpalen aan het faalmechanisme GABI (sectie 1 – sectie 7). Vervolgens zijn 60 van de 98 dijkpalen die niet voldeden op basis van de eenvoudige toets, getoetst aan de hand van stap 1 tot en met 3 uit de “Notitie omgang GABI bij Sterke Lekdijk” [23].

Stap 1 (Edelman Joustra) heeft niet tot scope vermindering geleid, tenzij het talud wordt verflauwd naar 1:3,2. In Stap 2 is gekeken of er scope ontstaat vanuit andere mechanismen, zodat dit later in een nadere optimalisatie integraal opgepakt kan worden.

Binnen ICU is er weinig scope, waardoor alvast Stap 3 is uitgevoerd. Dit heeft geleid tot volledige goedkeuring op GABI op drie locaties na, namelijk dijkpaal 167, dijkpaal 168 en dijkpaal 170. In deze stap is het zichtjaar 2035 gehanteerd volgens de Notitie Omgang met GABI bij Sterke Lekdijk. Normaliter wordt voor een groene kering ontworpen voor een levensduur van 50 jaar, oftewel het zichtjaar 2073, wat bij andere mechanismen nog wel van toepassing is.

Voor de drie resterende dijkpalen geldt dat de afstand tot de norm minimaal is. In de zomer van 2022 is een laatste stap in concept uitgevoerd, waarbij met een faalkansanalyse inzicht is gekregen in de dominante (faal) gebeurtenissen voor GABI. Het resultaat is dat vanuit het Innovatiespoor van HDSR geen scope voor GABI is.

Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB)

Uit de beoordeling van GEKB blijkt dat 38 dijkpalen voldoen en 60 dijkpalen niet voldoen. Deze beoordeling is tot stand gekomen door twee aanvullende eisen uit het OI2014v4 in acht te nemen.

- 1) Minimale kleilaagdikte van 0,8 meter
- 2) Er moet worden voldaan aan het mechanisme GABI

Er wordt aangenomen dat DP106 tot en met DP203 een minimale kleilaag hebben van 0,4 meter op het binnentalud en op de kruin direct naast de wegverharding. Oftewel het resultaat van GEKB komt exact overeen met het resultaat uit de beoordeling van het mechanisme GABI op basis de Notitie GABI [23] en dit betekent concreet dat er geen veiligheidsopgave is voor het faalmechanisme GEKB. Overal

Steen

Voor de Steenbekleding is geen beoordeling uitgevoerd. In § 6.4 is toegelicht waarom dit geen invloed heeft op de waterveiligheid van de kering.

8.8 Voorland

Op basis van de drie deelfaalmechanismen die gebruikt zijn voor de analyse van het voorland, volgt geen scope voor het versterken met betrekking hiervan.

8.9 Niet-waterkerende objecten (NWO's)

In de Verkenningsfase met als einderesultaat het VKA is een begin gemaakt met de beoordeling van de Niet-Waterkerende Objecten met het uitvoeren van de Eenvoudige Toets en Gedetailleerde Analyse. De beschikbare informatie is nog niet overal voldoende om met voldoende zekerheid te bepalen of een NWO lokaal tot een maatwerkoplossing leidt. Het oordeel is daarom gebaseerd op (zeer) conservatieve aannames en vuistregels.

In aanloop naar de Planuitwerkingsfase zullen onderzoeken uitgevoerd worden om de juiste informatie te verkrijgen om met minder conservatisme de Gedetailleerde Analyse en eventueel later een faalpadanalyse uit te voeren. Dit kan zijn archief- of bureauonderzoek maar ook onderzoek in het veld. Doordat de

scope dan ook nog niet is vastgesteld kan dit in de Planuitwerkingsfase lokaal leiden tot een benodigde versterking. De keuze voor oplossingen wordt vervolgens per locatie gemaakt in afstemming met betrokken bewoners.

8.10 Reflectie

Reststerkte is voor het mechanisme Gras bekleding buitenwaarts (GEBU) toegepast. Dit betekent dat er voor andere faalmechanismen geen reststerkte toegepast mag worden. Reststerkte is ook toegepast bij de faalkansanalyse van STBU in dijkvak 1. Echter voldoet dijkvak 1 aan GEBU alvorens het toepassen van reststerkte in de gedetailleerde toets. Dit betekent dat de reststerkte op elke dijkpaal maximaal voor een faalmechanisme is toegepast.

Tabel 8-2: Alle aanbevelingen Veiligheidsanalyse n.a.v. het VKA.

Faalmechanisme	Aanbeveling
STBI, STBU	<p>Sterkteparameters</p> <p>Binnen het Technisch Team van HDSR is een definitieve keuze gemaakt voor de sterkteparameters voor macrostabiliteit. Deze zijn echter nog niet via een officiële weg vastgelegd. Zodra deze beschikbaar is nemen wij de literatuurverwijzing daarvoor op in deze rapportage.</p>
STBI	<p>STBI en BGT</p> <p>Voor STBI zijn geen BGT (Bruikbaarheidstoestand) berekeningen uitgevoerd. Dit leidt niet tot een waterveiligheidsopgave, maar een beheerdersopgave. Wel wordt aanbevolen om de handelingsperspectieven inzichtelijk te maken als STBI niet volgens de voorgeschreven BGT voldoet.</p> <p>Het Wiel</p> <p>Voor de locatie met het Wiel is een plan nodig in de aanloop naar de PU fase. Er dient nog afgestemd te worden wie en wanneer dit opgesteld wordt.</p>
STBU	<p>Voor de schaarlijk (tussen dijkpaal 106 en 107+060) is géén versterkingsopgave van toepassing, omdat is aangetoond dat een initieel buitenwaarts glijvlak niet tot dijkfalen of een overstroming leidt <u>mits het profiel tijdig (dus voor een volgend hoogwater) hersteld is</u>. Hiermee valt dit stuk schaarlijk wel onder de Zorgplicht van beheer van HDSR, waarbij een detectie en hersteltijd van 21 dagen als realistisch is beschouwd vanuit Zorgplicht.</p> <p>Er wordt aanbevolen dat het Assetteam met een default detectie en hersteltijd komt dat voldoende conservatief is. Mochten de bestaande faalpadanalyses flink afwijken van de detectie en hersteltijd dan kunnen effecten afgestemd worden met TM. Nieuwe afspraken rondom uitgangspunten, kosten en planning kunnen tegen die tijd afgestemd worden.</p>
STPH	<p>Een groot deel van de piping-opgave is uitgesteld aan de hand van de beslisboom piping. Op de uitgestelde trajecten dienen maatregelen worden getroffen in de vorm van monitoring en calamiteitsmaatregelen. De uitgestelde opgave moet in een volgende beoordelingsronde (2035) opnieuw worden beoordeeld. Een mogelijke afkeur zou de uitvoer van een versterking vereisen. Het gebruik van de beslisboom vereist daarom ook het ontwerp van een versterking om deze mogelijk in de toekomst alsnog uit te voeren.</p>
STPH	<p>Verwerken van de nog uit te voeren of op te leveren onderzoeken in het voorland t.p.v. MW2b, MW3 en MW4</p>

STPH	Beschouwen van de impact van mogelijk werkzaamheden van RWS in de voorhaven van de Prinses Irenesluis op de kans van optreden van piping of het maken van kortsluiting met het watervoerend pakket.
NWO's	<p>In aanloop naar de Planuitwerkingsfase dient verdere informatie ingewonnen te worden om de gedetailleerde analyse uit te kunnen voeren tot op een niveau met voldoende zekerheid over de scope (op dit moment is de waterveiligheidsscope dus niet integraal). Dit leidt tot minder conservatisme in de beoordeling van de NWO's en hun invloed op de waterveiligheid en daarmee naar verwachting tot een kleinere opgave van de versterking.</p> <p>Informatie m.b.t. kelderdieptes, funderingsdieptes, correcte data van stamdiameters bomen en de conditie van zowel bomen als gebouwen.</p> <p>Verder wordt er aanbevolen om de huidige dataset en kaarten in ArcGIS online mee te nemen naar de PU fase voor een verdere beoordeling. In de tussentijd kan informatie ingewonnen worden.</p> <p>De uitgevoerde Eenvoudige Toets (ET) en Gedetailleerde Analyse (GA) kunnen direct overgenomen worden in de PU fase. Daarvoor zijn geen aanpassingen nodig, tenzij voor bepaalde mechanismen uitgangspunten veranderen. Denk aan macrostabiliteit sterkteparameters.</p>

9 Literatuur

- [1] Strategische Nota van Uitgangspunten, 1497540-v3, versie 1.1: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 17 september 2019.
- [2] Technische uitgangspuntennotitie, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0019: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 22 november 2019.
- [3] WP 1.6.2. Technisch ontwerprapport VKA, 2023.
- [4] „Schematiseringshandleiding hoogte,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 28 november 2019.
- [5] Hydraulische Randvoorwaarden Sterke Lekdijk, aangepaste oplevering, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 28-05-2021.
- [6] Technische Uitgangspunten Notitie fase VKA, versie 9.0, Fugro, 31-05-2023.
- [7] Aanscherping Veiligheidsanalyse CUB, v2.0 incl.bijlagen, HDSR, 1 maart 2021.
- [8] Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016.
- [9] KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.v.m. golfoverslag OI2014v4, KPR, 8 maart 2018.
- [10] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en veiligheid, 2017.
- [11] Beoordelingsinstrumentarium 2017 WBI2017.
- [12] Fugro, „Verificatie schematiseringsfactor macrostabiliteit binnenwaarts en piping C1.8,” 2023.
- [13] POV Piping Portaal, POV Piping (HWB), 15-12-2020.
- [14] Factsheet Beslisboom Piping, meer nuance in de piping opgave, POV Piping (HWBP), 2019.
- [15] Aanbevelingen beslisboom piping voor planuitwerking SAS, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 31 maart 2022.
- [16] Schematiseringshandleiding Piping, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 28 mei 2021.
- [17] Geofysisch onderzoek voorlanden, Medusa, 10 oktober 2022.
- [18] Grondonderzoek maatwerklocaties, Inpijn-Blokpoel, september 2022.
- [19] Memo D-Geo Flow berekeningen, Fugro, april 2023.
- [20] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.
- [21] Invloed hoek van golfaanval op graserosie op dijken, Definitief v2.0, Deltares, 2019.
- [22] Erosie van een dijk na bezwijken van de steenzetting door golven, SBW-reststerkte; analyse Deltagootproeven, Deltares, 18 mei 2012.
- [23] Notitie omgang met GABI bij Sterke Lekdijk, 25-01-2022: HDSR.
- [24] Grondonderzoek Sterke Lekdijk Irenesluis-Culemborgse Veer (ICU)/ICU-A) Rapport betreffende stijghoogtemetingen en hystereses v1.0, Inpijn-Blokpoel, 16 juni 2021.
- [25] Rapportage proevenverzameling Culemborgse Veer - Beatrixsluis, SLD-RHD-TM-CUB-NA-TM-109: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 22 november 2019.
- [26] „Handreiking ontwerpen met overstromingskansen,” Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, OI2014 versie 4, Februari 2017.

- [27] Beoordeling binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen, C03011.000750: Sweco-Arcadis, 27-3-2019.
- [28] Veiligheidsoordeel Voorhavendijk, PR3845.10: Ter Horst, W. et al, HKV, november 2018.
- [29] Handreiking NWO's in de Veiligheidsanalyse van primaire waterkeringen in LBO1, Rijkswaterstaat WVL, 28 mei 2021.
- [30] Schematiseringhandleiding Bekleding, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 28 mei 2021.

Bijlage A Eindoordeel

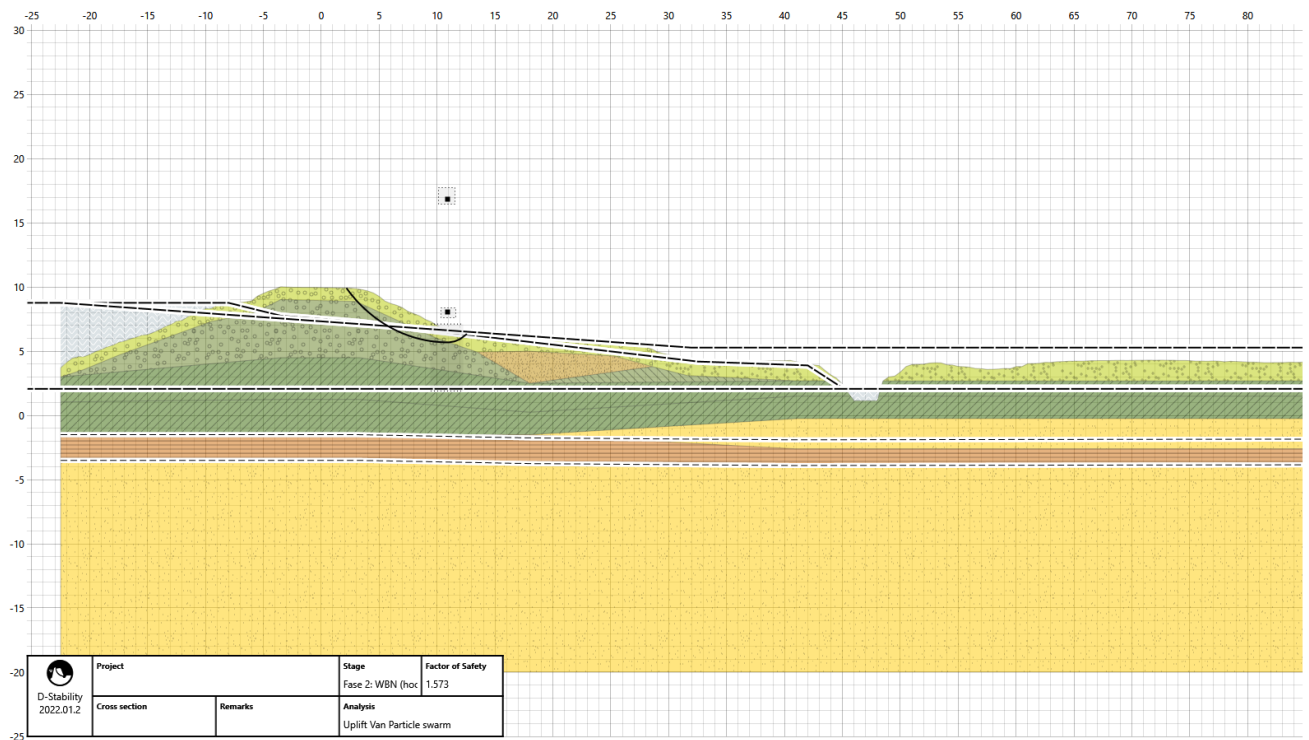
vak	Locatie	Dijkpaar	Piping opgave	STBI	STBU	GEBU	GABI	NWO	eindoordeel NKO
1			106	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
1			107	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
2a			108	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
2a			109	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
2a			110	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2a			111	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2a			112	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2a			113	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2a			114	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2a			115	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
2a			116	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
2b	6		117	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
2b	6		118	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
2c			119	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra onderzoek nodig
2c			120	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra onderzoek nodig
2c			121	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra onderzoek nodig
2c			122	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
2c			123	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
2c			124	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
2c			125	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
2c			126	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2c			127	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2c			128	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2c			129	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
2c			130	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			131	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			132	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			133	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			134	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			135	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			136	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
3			137	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			138	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			139	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
3			140	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
4			141	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
4			142	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
4			143	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
4			144	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
4	4		145	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
4	4		146	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
5a	4		147	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
5a	4		148	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
5a	4		149	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
5a			150	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
5a			151	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboompiping)
5a			152	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
5a			153	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
5a			154	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
5b	3		155	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
5b	3		156	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
5b	3		157	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
5b	3		158	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
5b	3		159	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
5b	3		160	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave

vak	Locatie	Dijkpaal	Piping opgave	STBI	STBU	GEBU	GABI	NWO	eindoordeel NKO
6a			161	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6a			162	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6a			163	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6a			164	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6a			165	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6a			166	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6b			167	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6b			168	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6b			169	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6b			170	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6b			171	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6c	2b		172	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6c	2b		173	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6c	2b		174	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6d			175	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6d			176	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6d			177	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase geen opgave
6d			178	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			179	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			180	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
6d			181	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			182	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			183	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			184	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			185	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			186	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
6d			187	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
7			188	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
7			189	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
7			190	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)
7			191	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
7			192	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
7			193	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
7			194	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
8a	1a		195	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		196	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		197	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		198	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		199	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		200	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		201	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase opgave
8a	1a		202	Voldoet Niet	Voldoet Niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase extra voorland onderzoek nodig
8b			203	Uitgesteld	Voldoet	Voldoet	Voldoet	Voldoet	n.t.b. PU fase uitstel (toepassen beslisboomgeving)

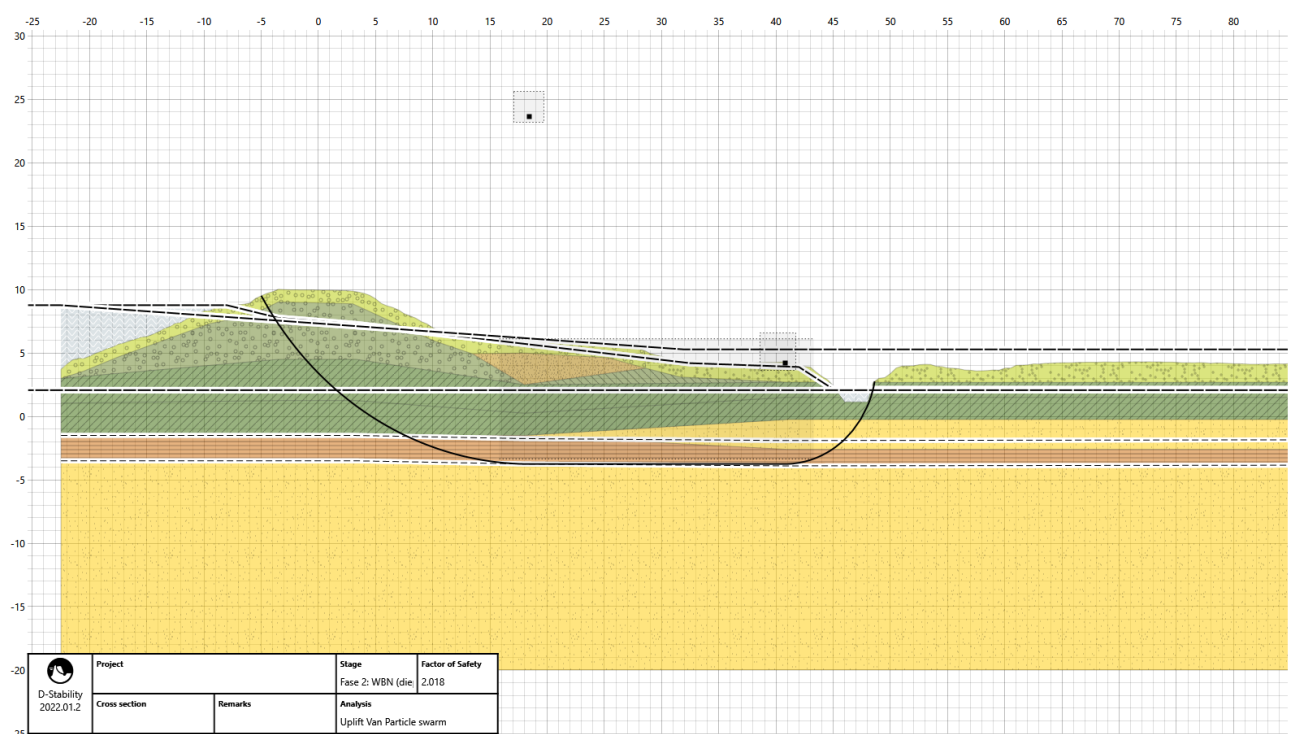
Bijlage B Stabiliteitsberekeningen STBI

B.1 Dijkvak 1

Dijkpaal 106 (hoog glijvlak)

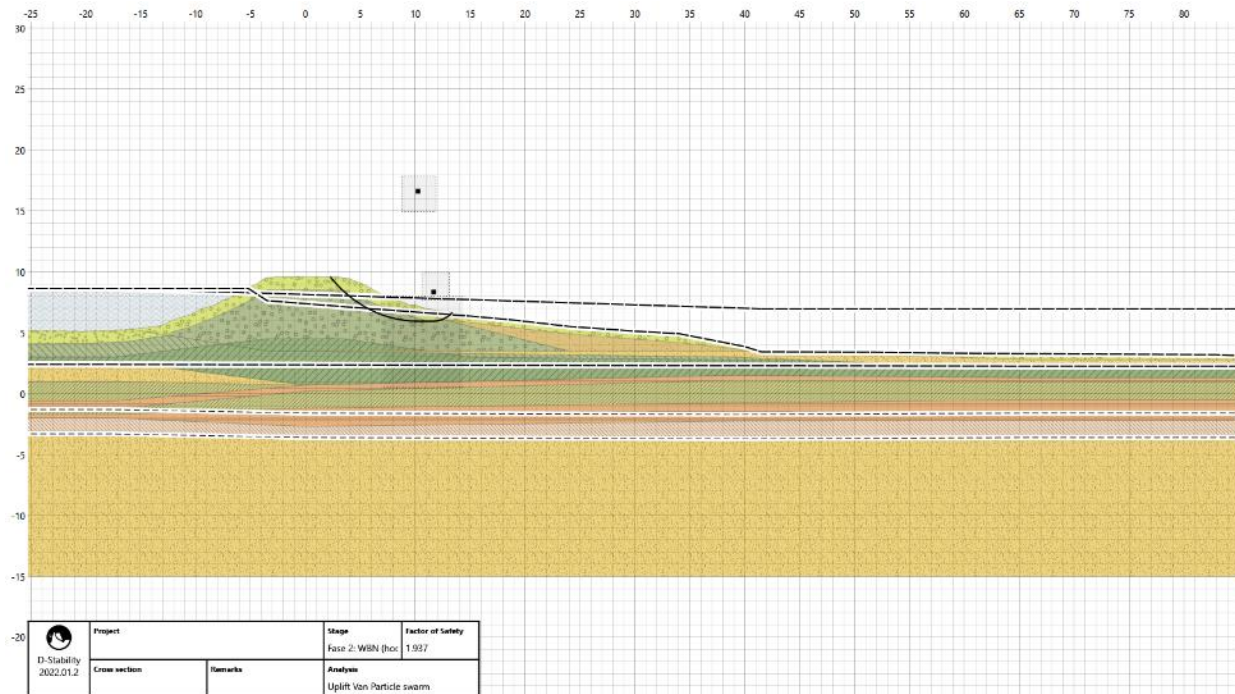


Dijkpaal 106 (diep glijvlak)

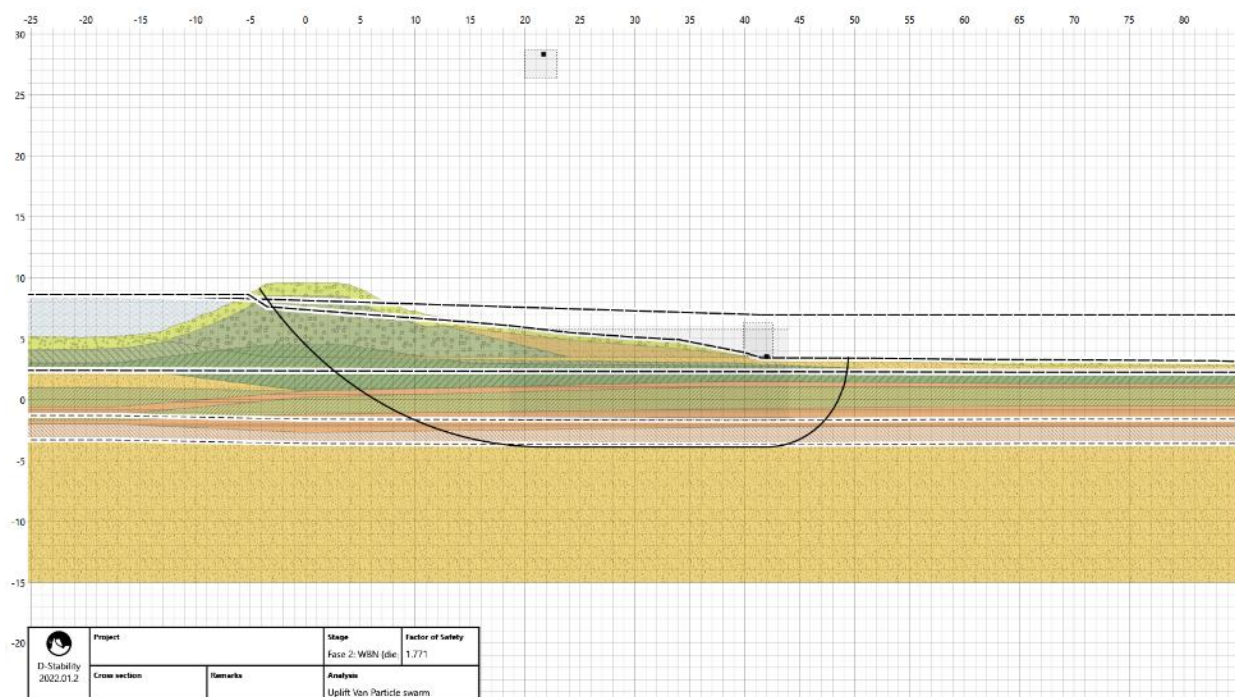


B.2 Dijkvak 2a

Dijkpaal 113 (hoog glijvlak)

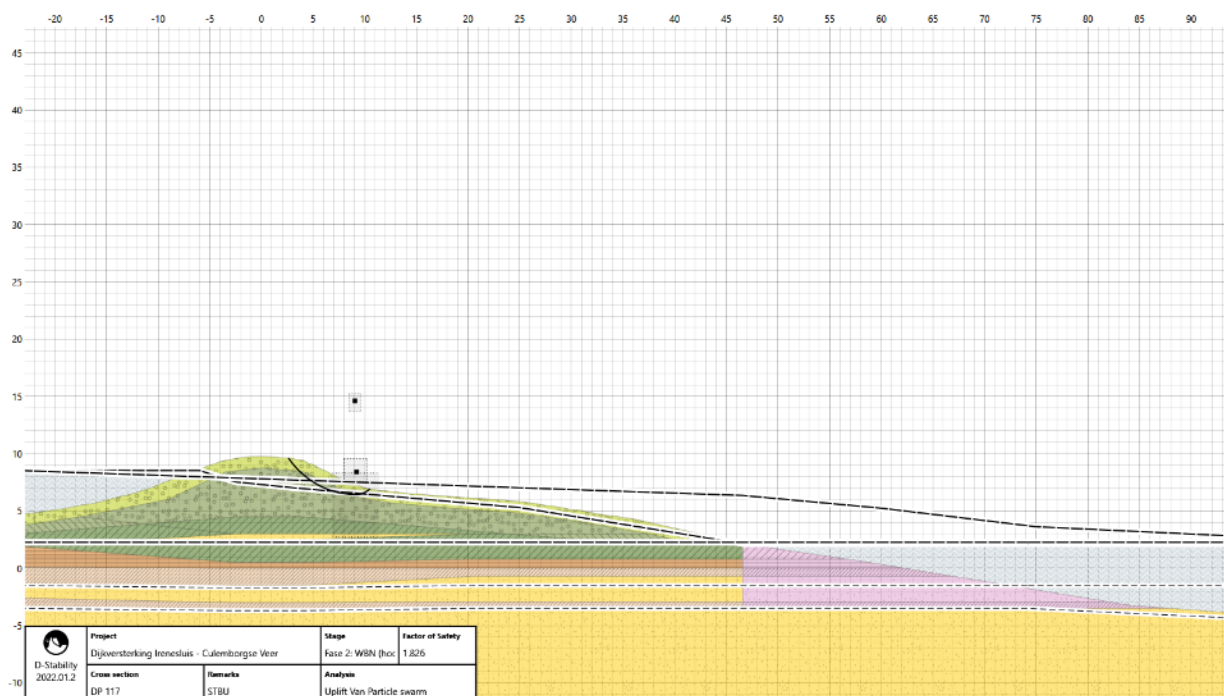


Dijkpaal 113 (diep glijvlak)

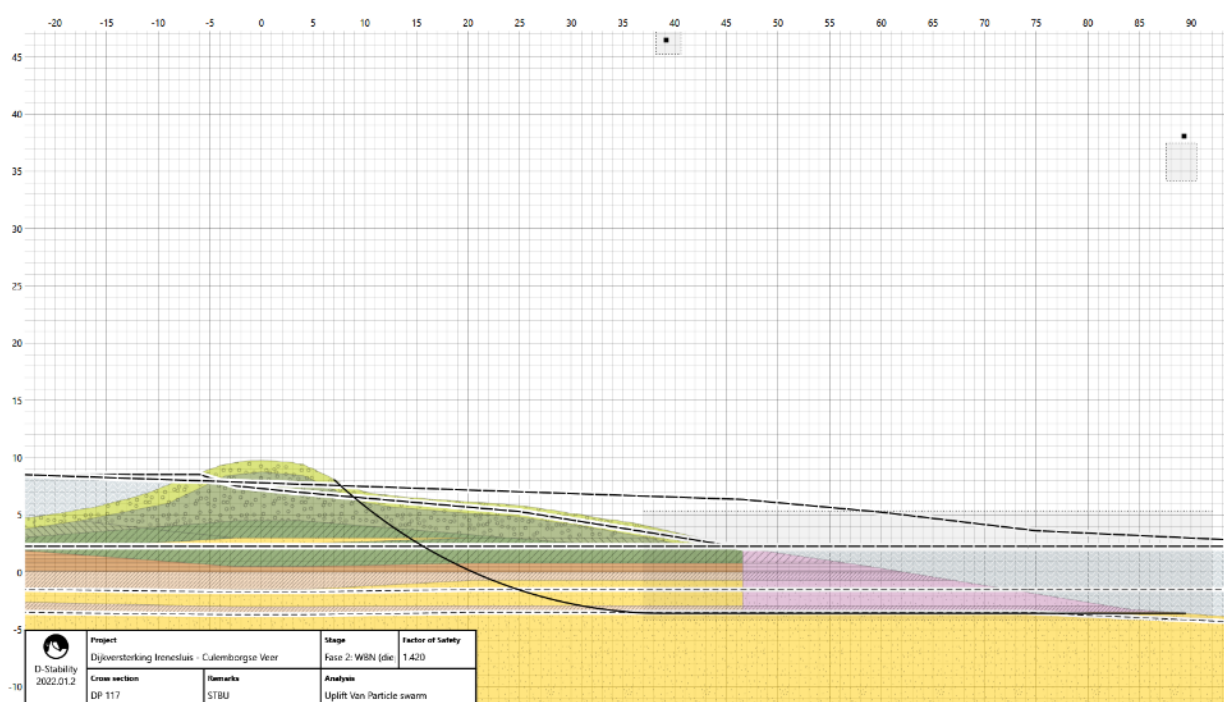


B.3 Dijkvak 2b (Maatwerklocatie: het Wiel)

Dijkpaal 117 (hoog glijvlak)

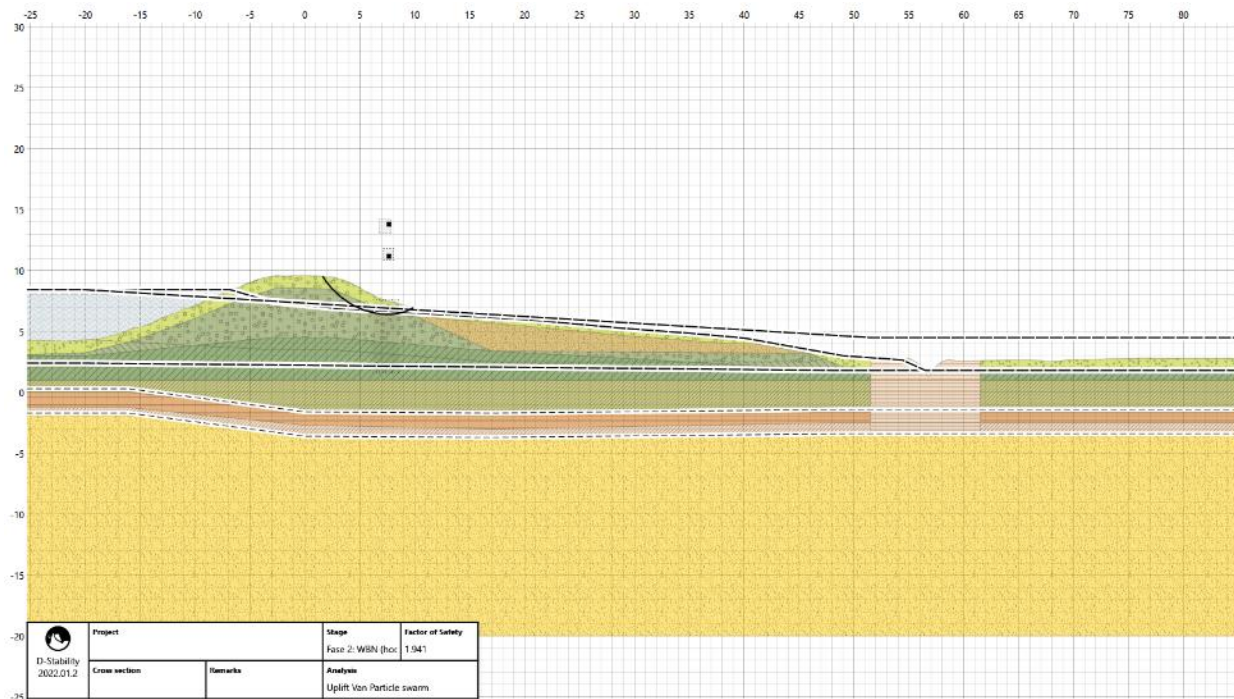


Dijkpaal 117 (diep glijvlak)

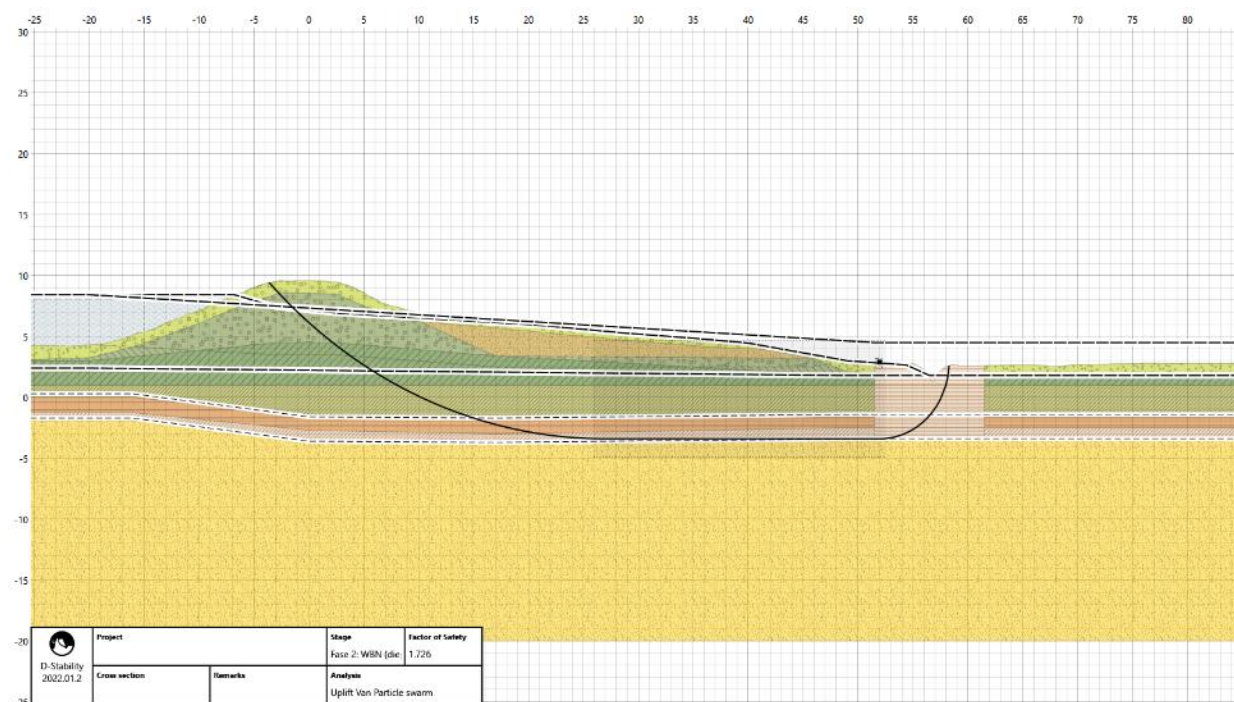


B.4 Dijkvak 2c

Dijkpaal 126 (hoog glijvlak)

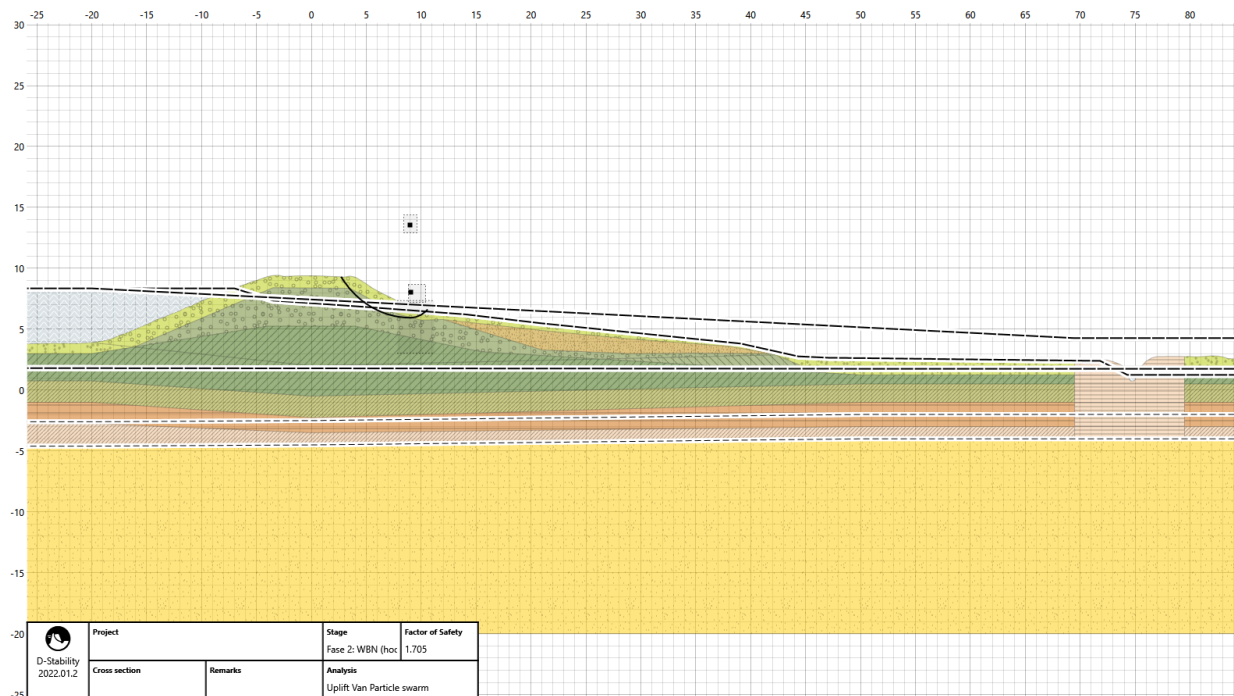


Dijkpaal 126 (diep glijvlak)

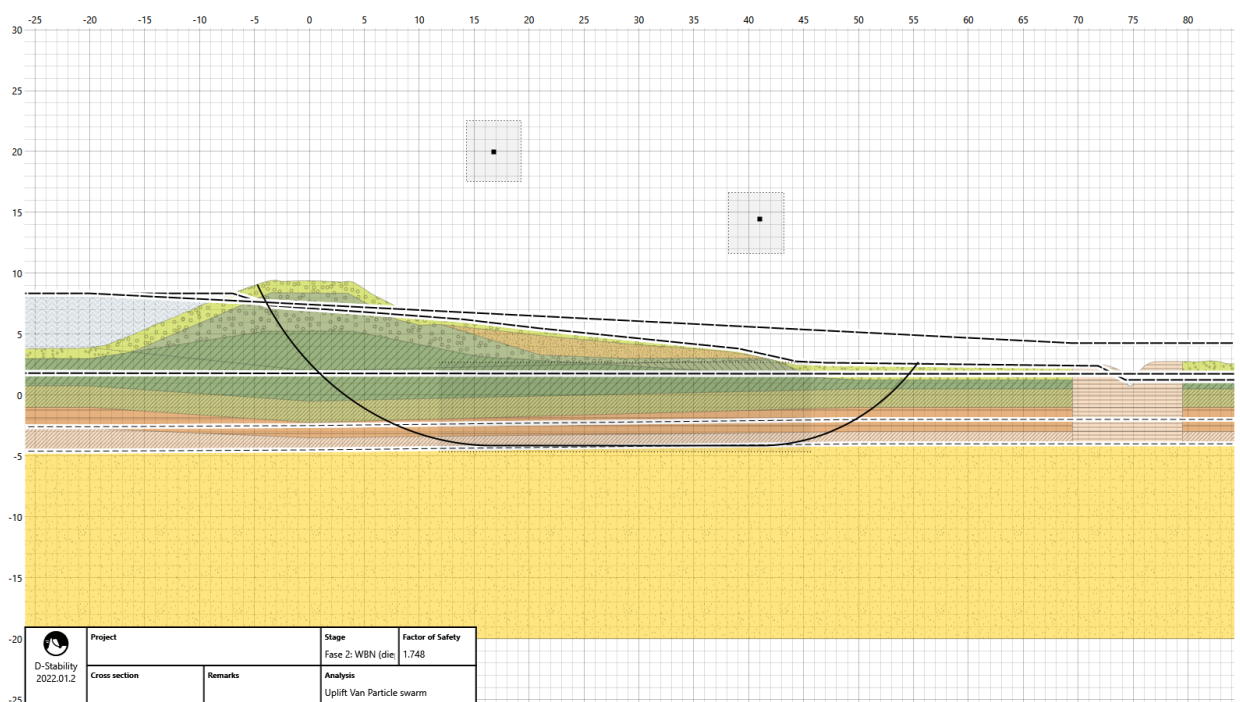


B.5 Dijkvak 3

Dijkpaal 136 (hoog glijvlak)

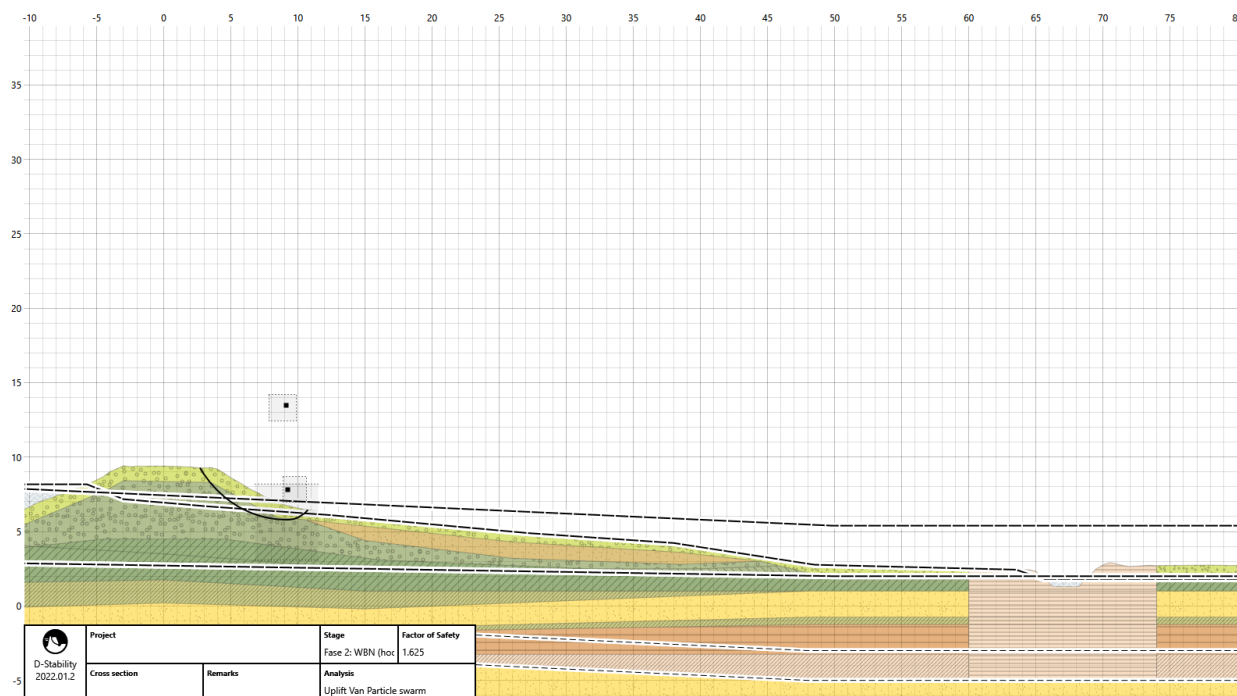


Dijkpaal 136 (diep glijvlak)

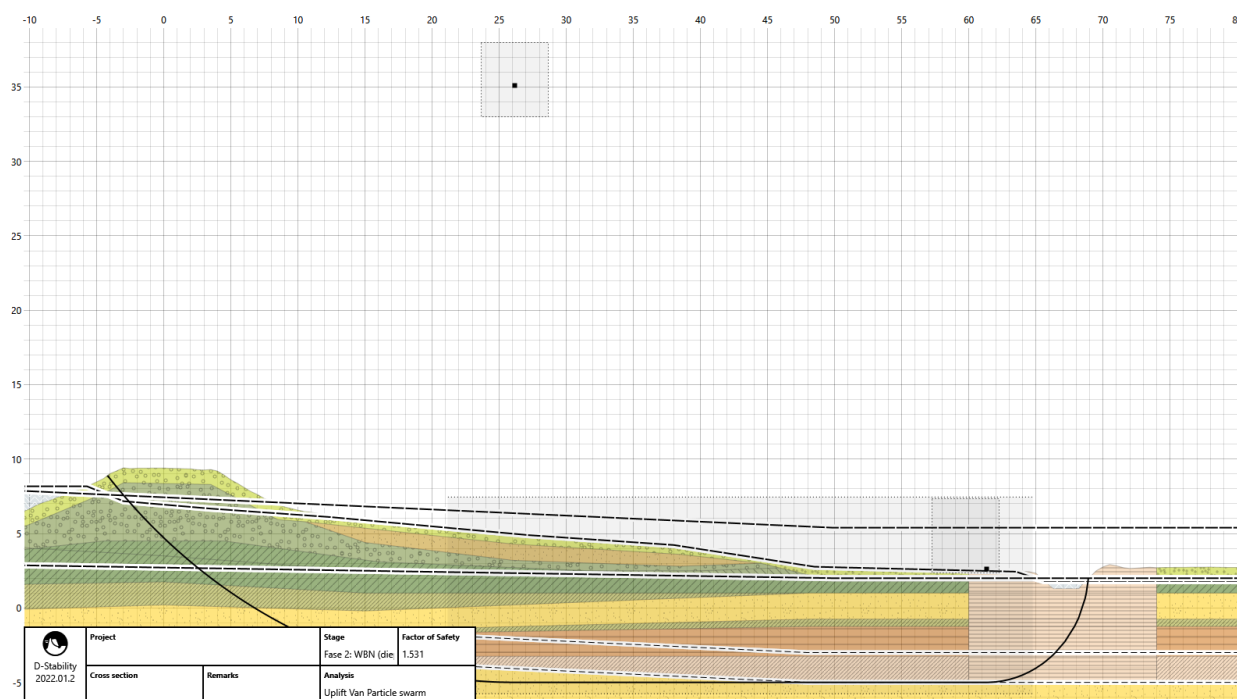


B.6 Dijkvak 4

Dijkpaal 144 (hoog glijvlak)

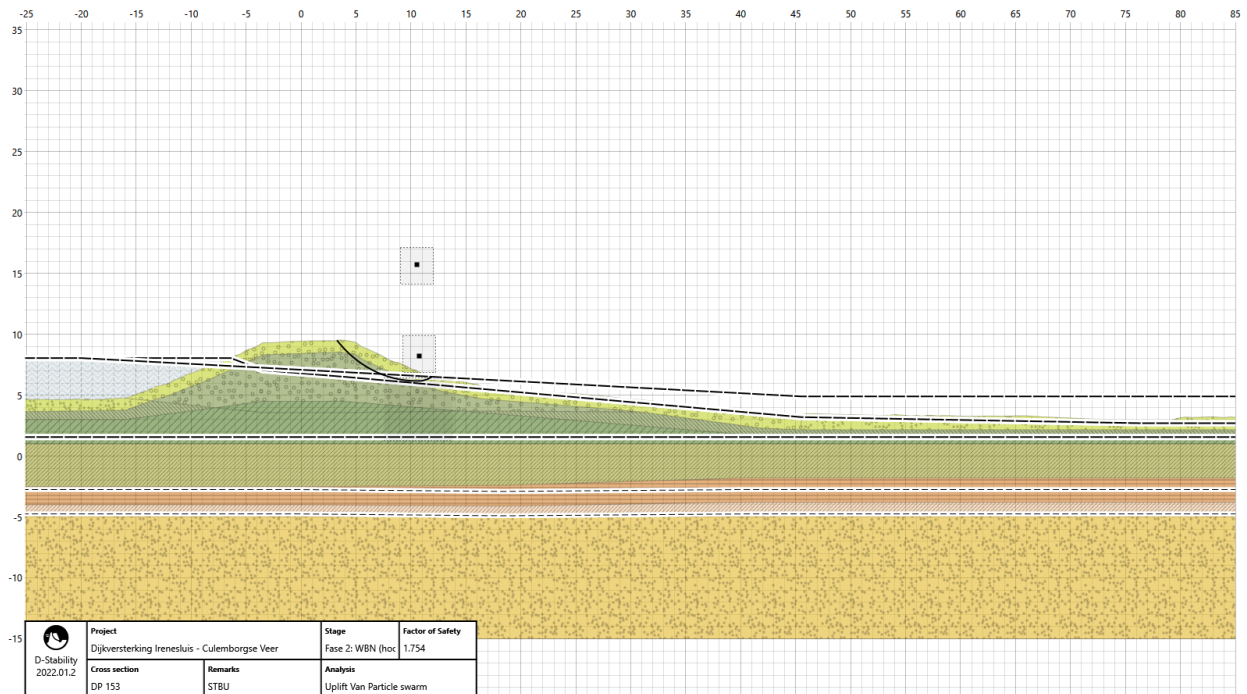


Dijkpaal 144 (diep glijvlak)

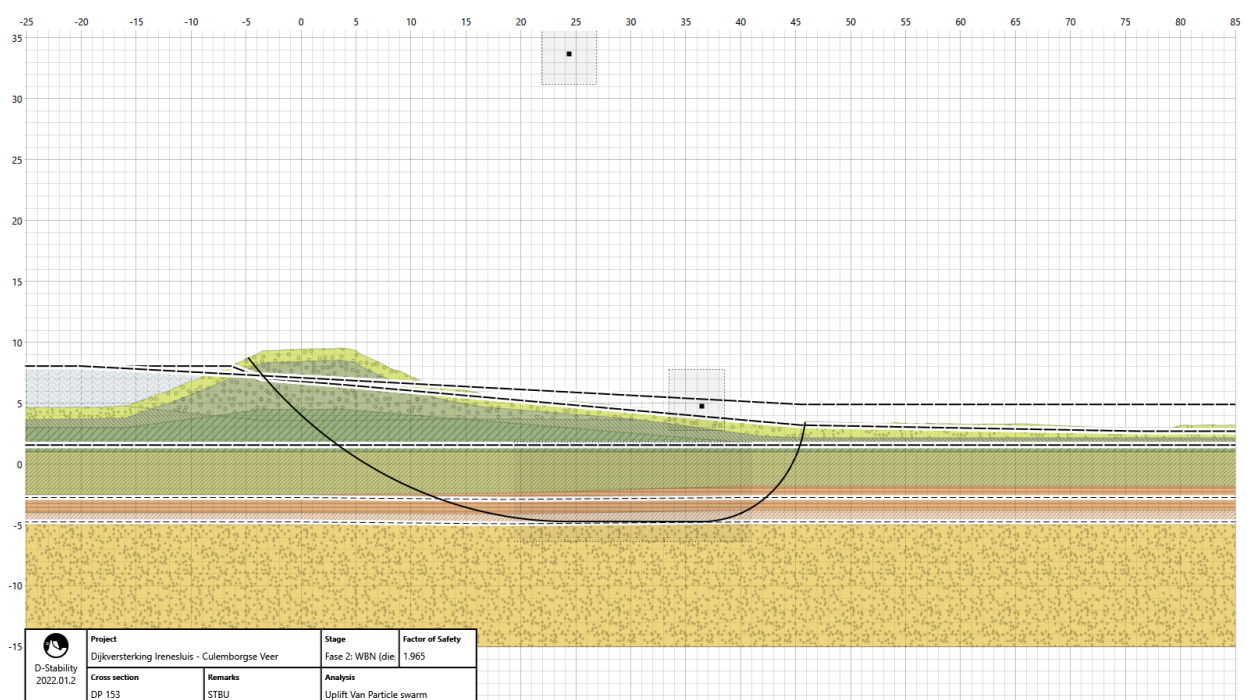


B.7 Dijkvak 5a

Dijkpaal 153 (hoog glijvlak)

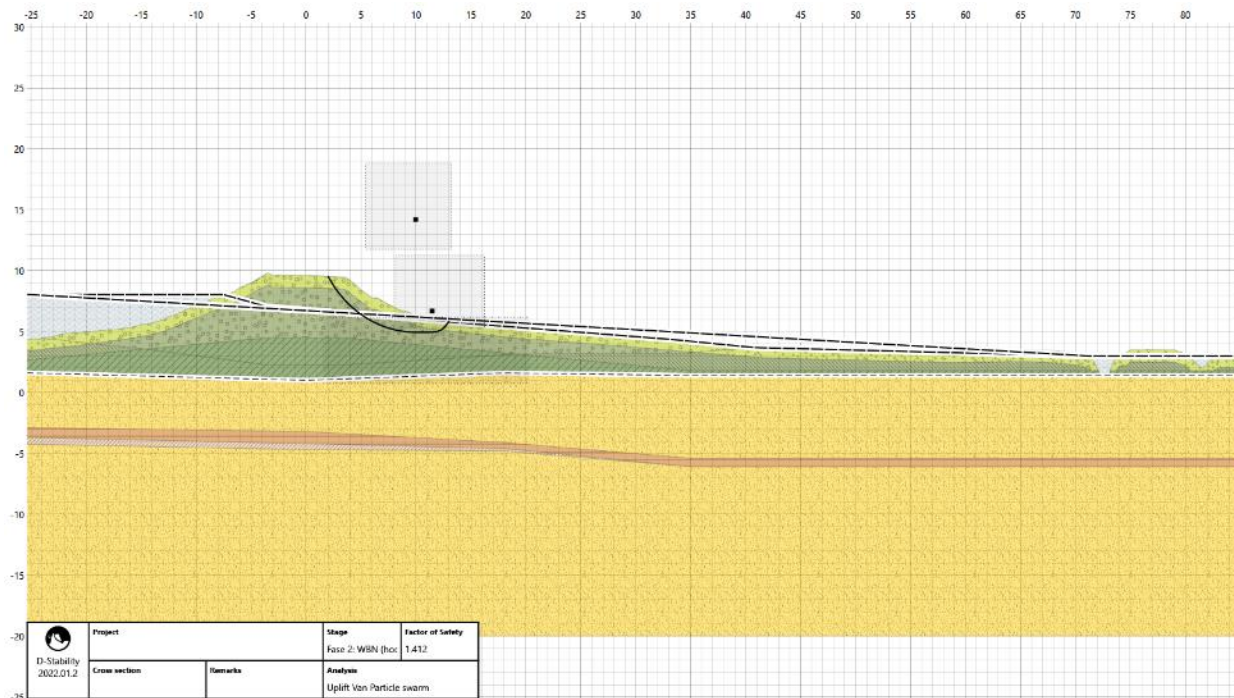


Dijkpaal 153 (diep glijvlak)

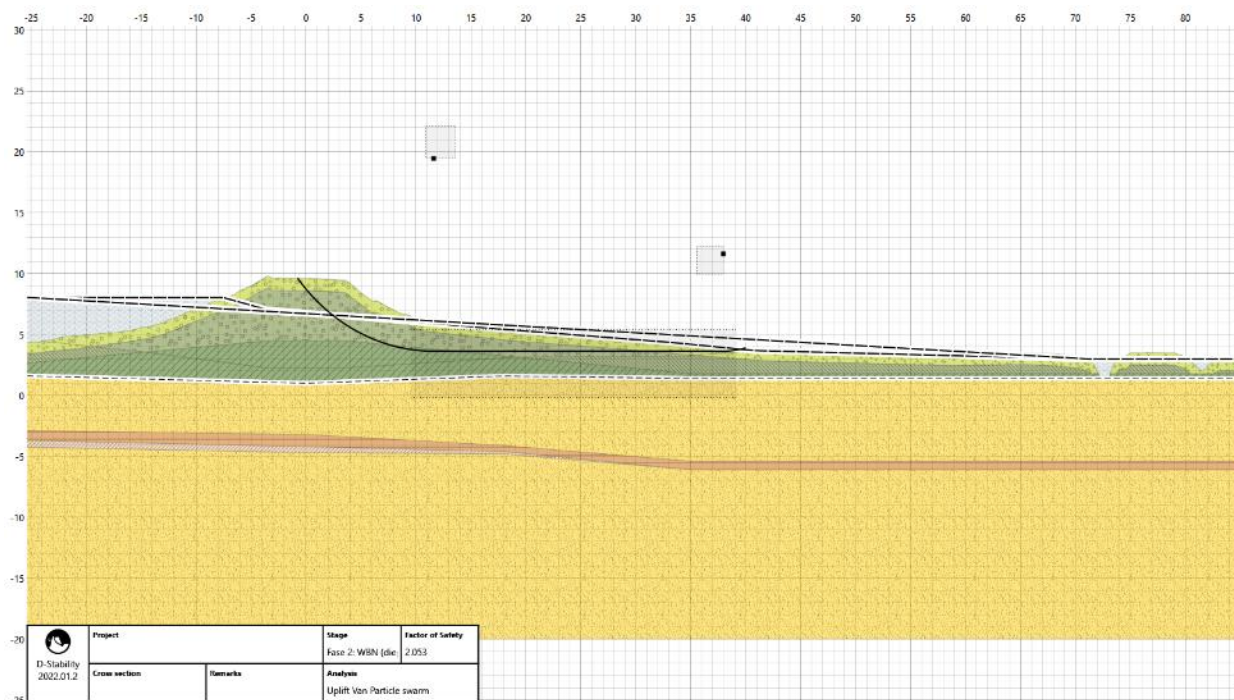


B.8 Dijkvak 5b

Dijkpaal 156 (hoog glijvlak)

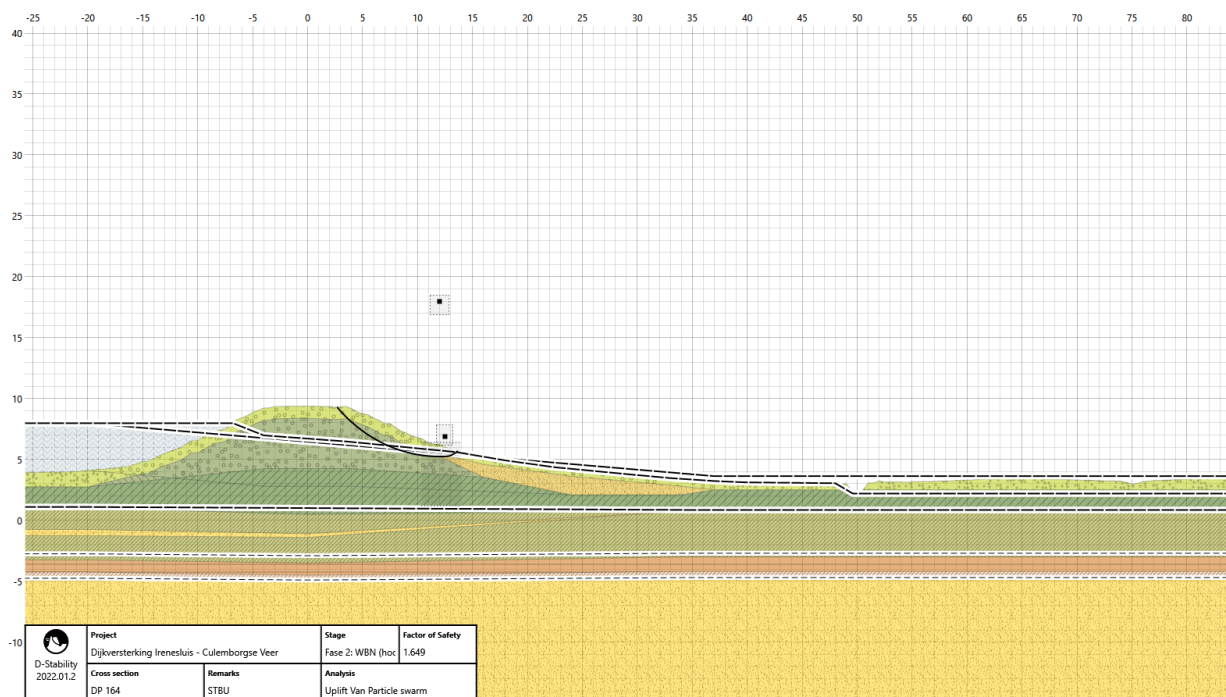


Dijkpaal 156 (diep glijvlak)

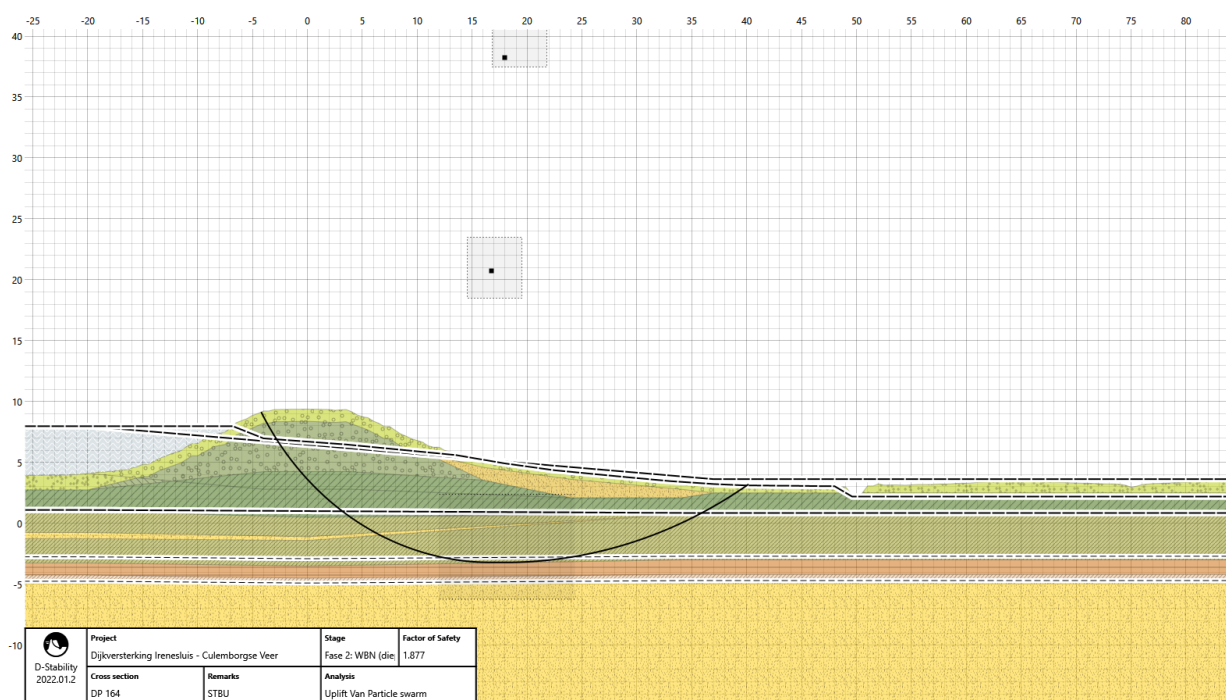


B.9 Dijkvak 6a

Dijkpaal 164 (hoog glijvlak)

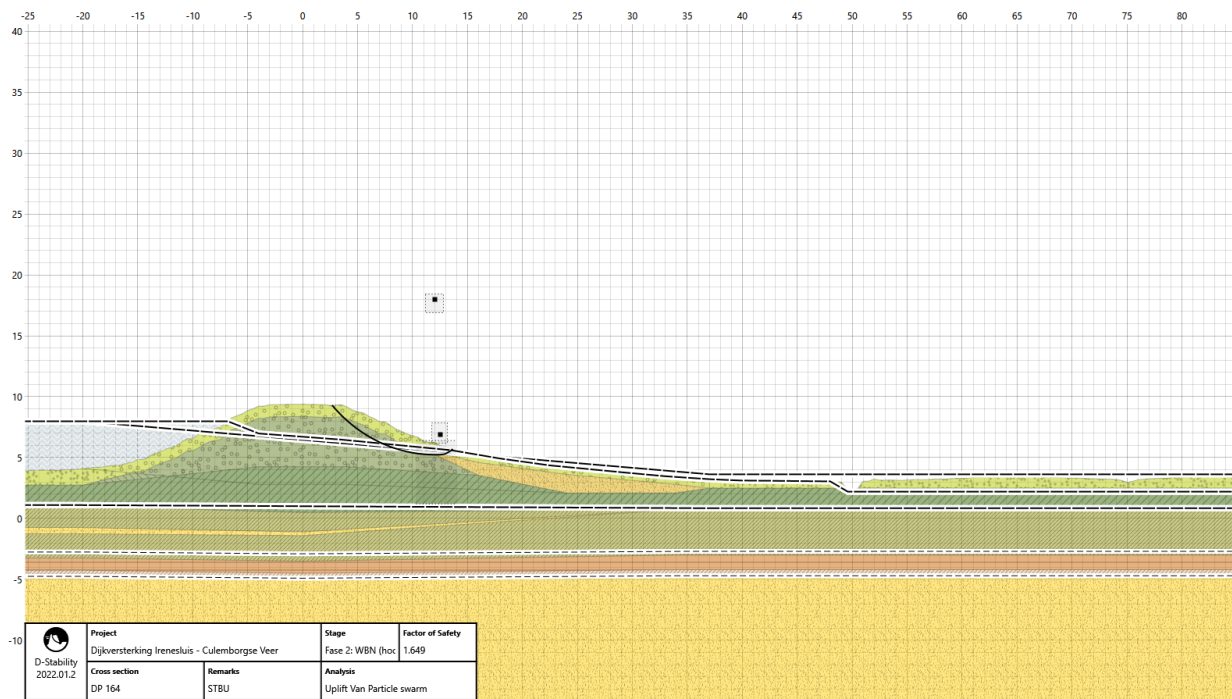


Dijkpaal 164 (diep glijvlak)

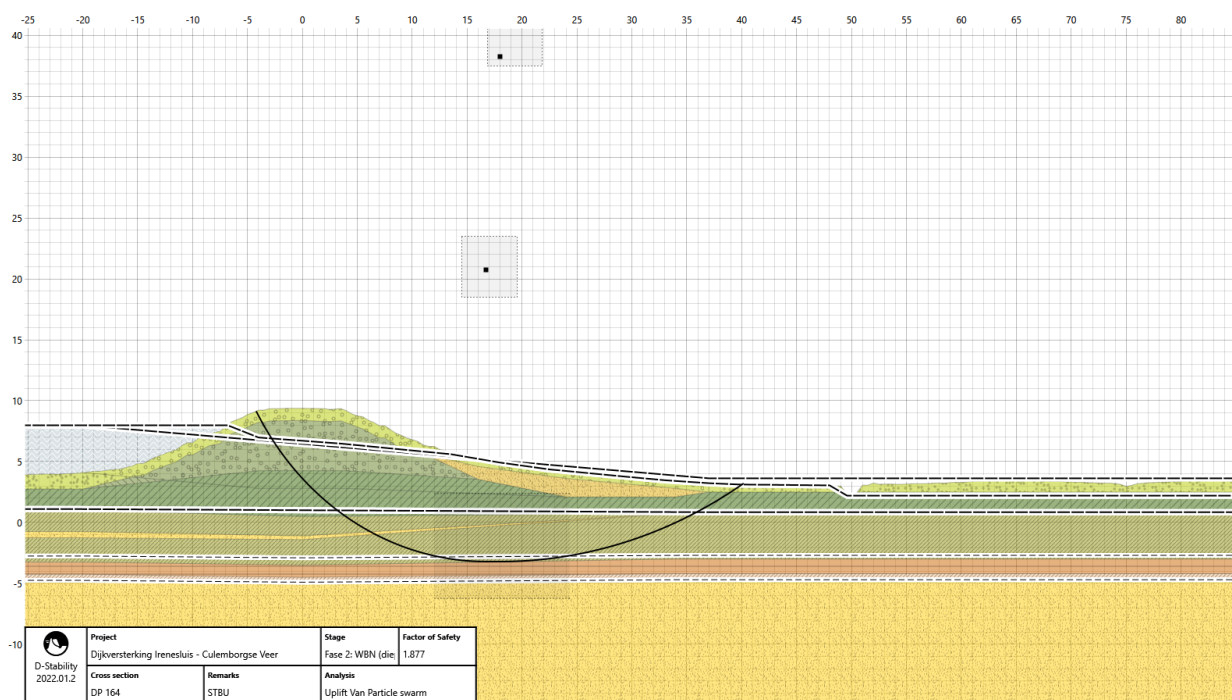


B.10 Dijkvak 6b

Dijkpaal 166 (hoog glijvlak)

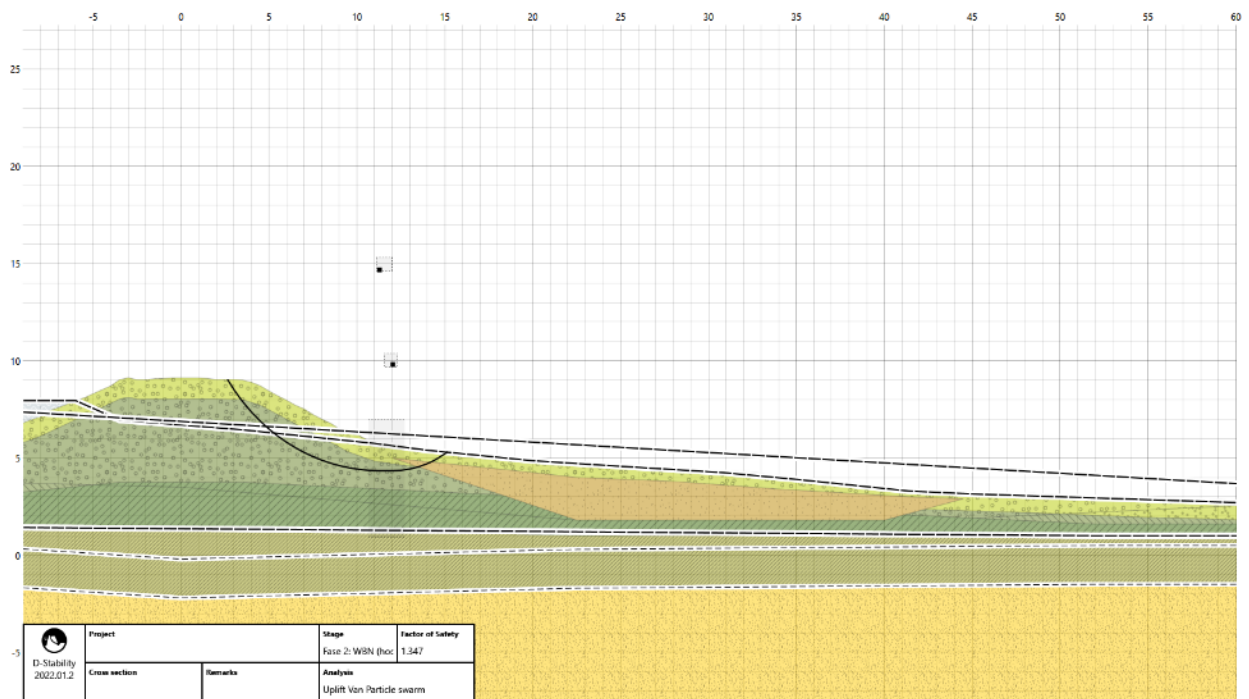


Dijkpaal 166 (diep glijvlak)

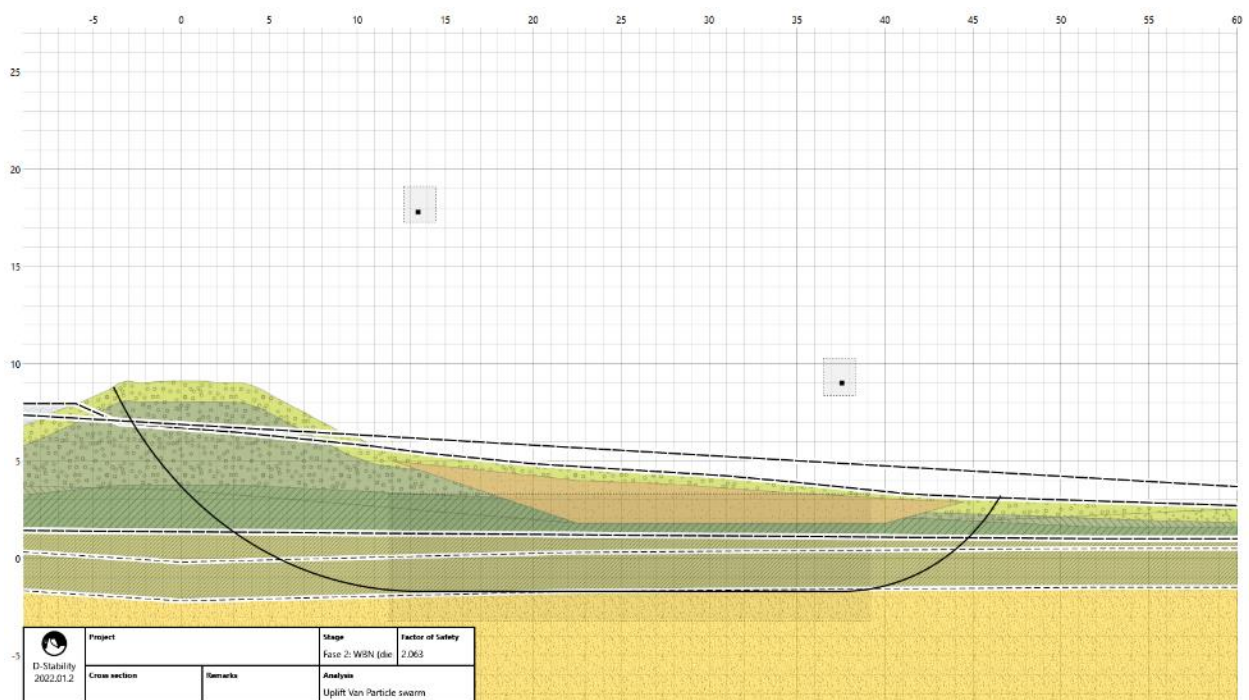


B.11 Dijkvak 6c

Dijkpaal 172 (hoog glijvlak)

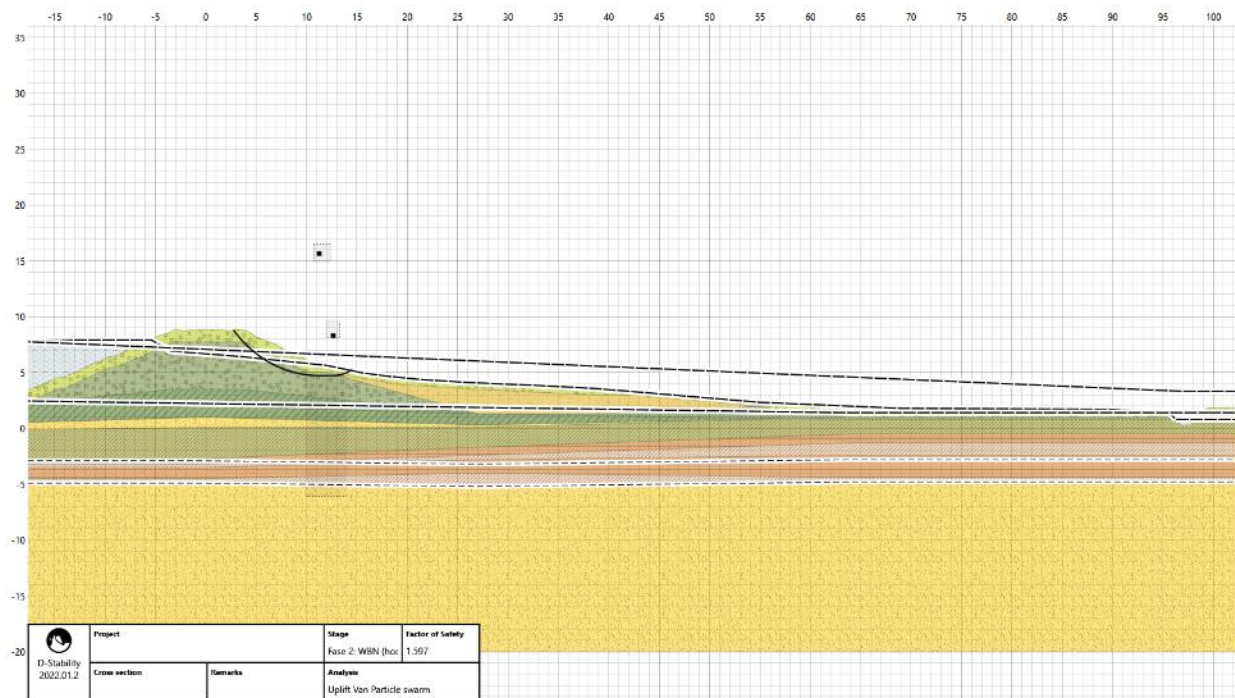


Dijkpaal 172 (diep glijvlak)

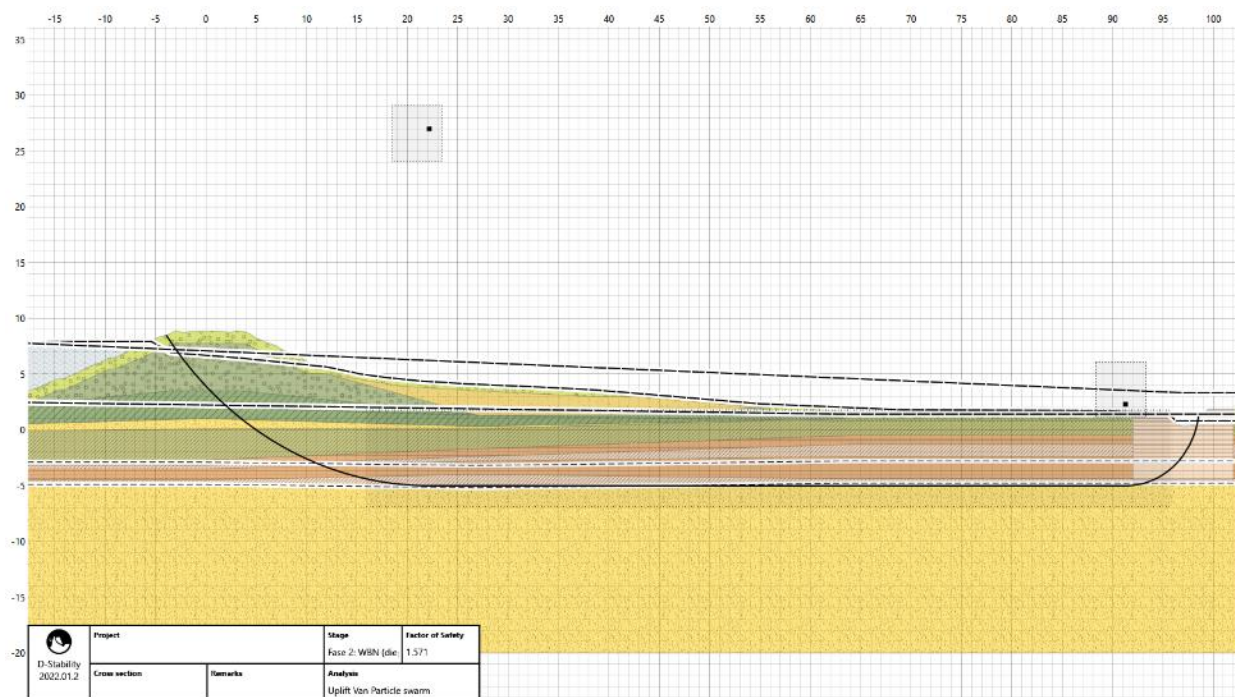


B.12 Dijkvak 6d

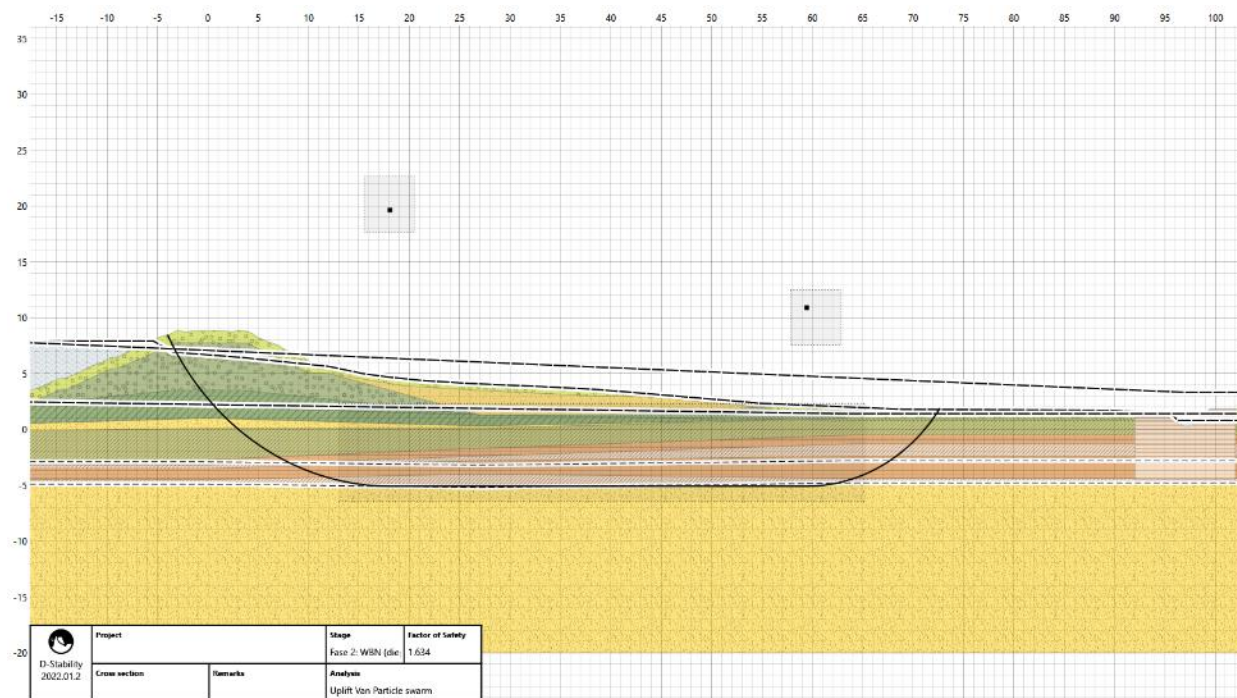
Dijkpaal 183 (hoog glijvlak)



Dijkpaal 183 (diep glijvlak, maatgevend)



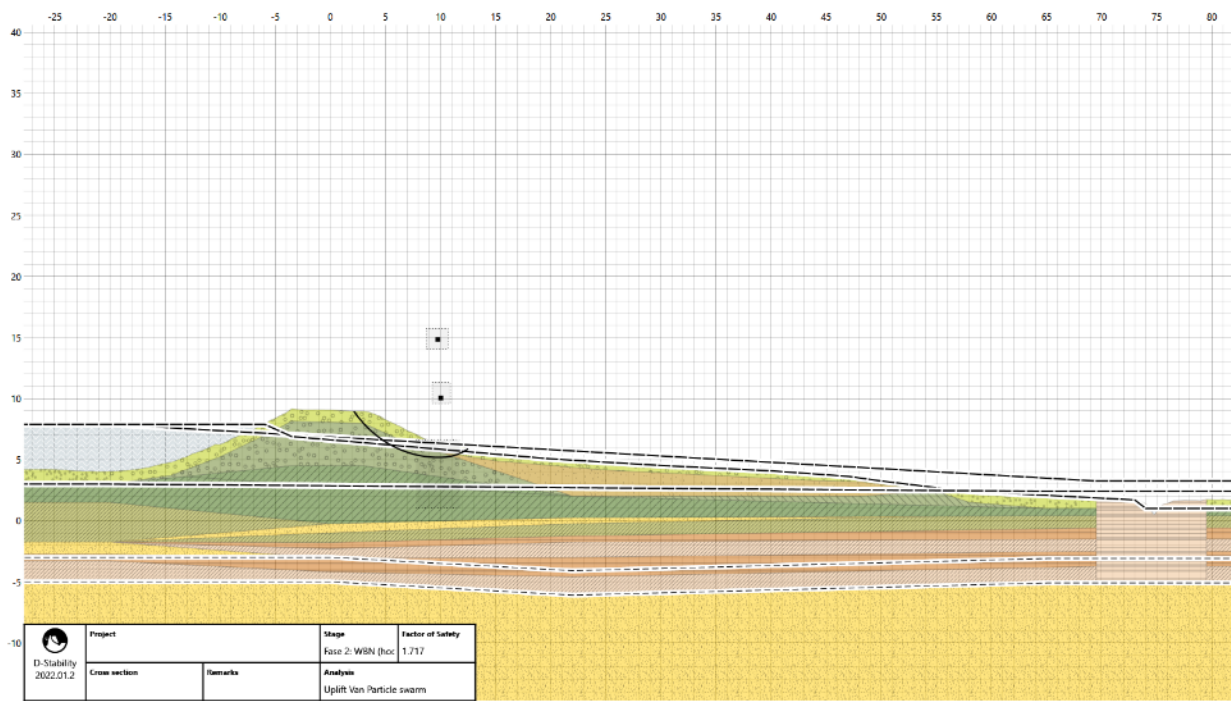
Dijkpaal 183 (diep glijvlak, minder maatgevend)



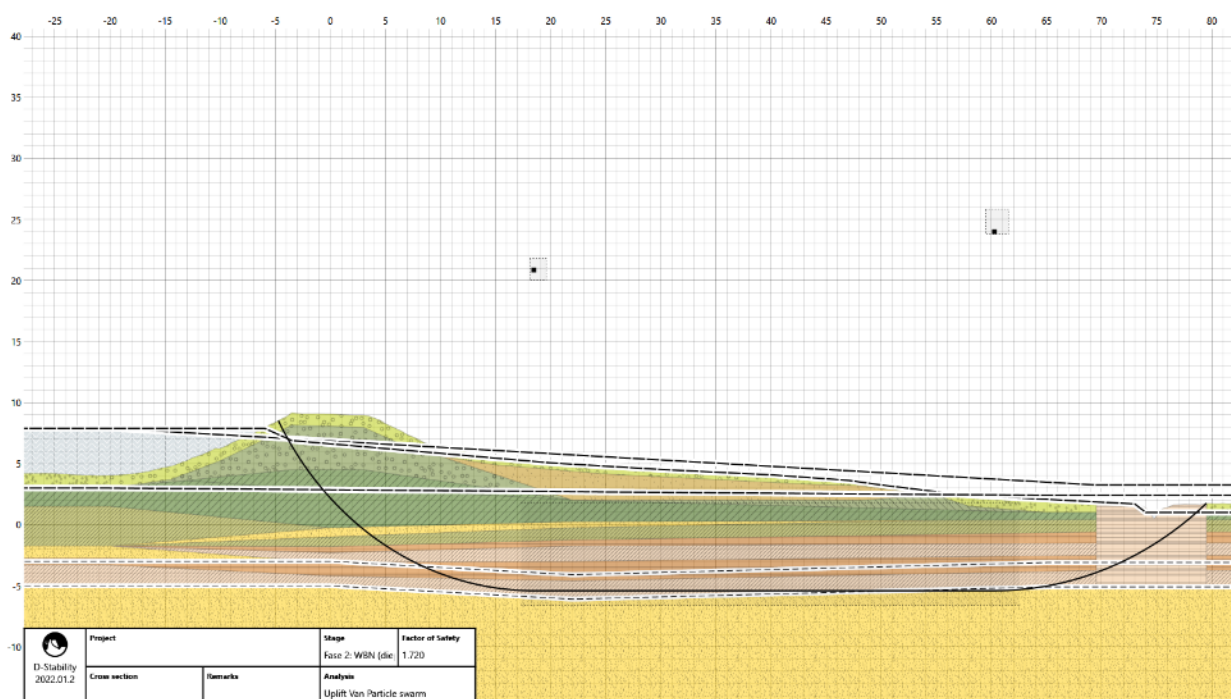
Hier kun je kanttekeningen plaatsten of er meerdere opbarstlocatie zijn die tussen de binnenteen (BIT) of sloot liggen. Deze berekening geeft een indicatie van de stabiliteitsfactor zonder sterkte reductie tussen bijvoorbeeld $x = 60$ tot $x = 74$ (twee maal deklaagdikte van ongeveer 7 meter).

B.13 Dijkvak 7

Dijkpaal 190 (hoog glijvlak)

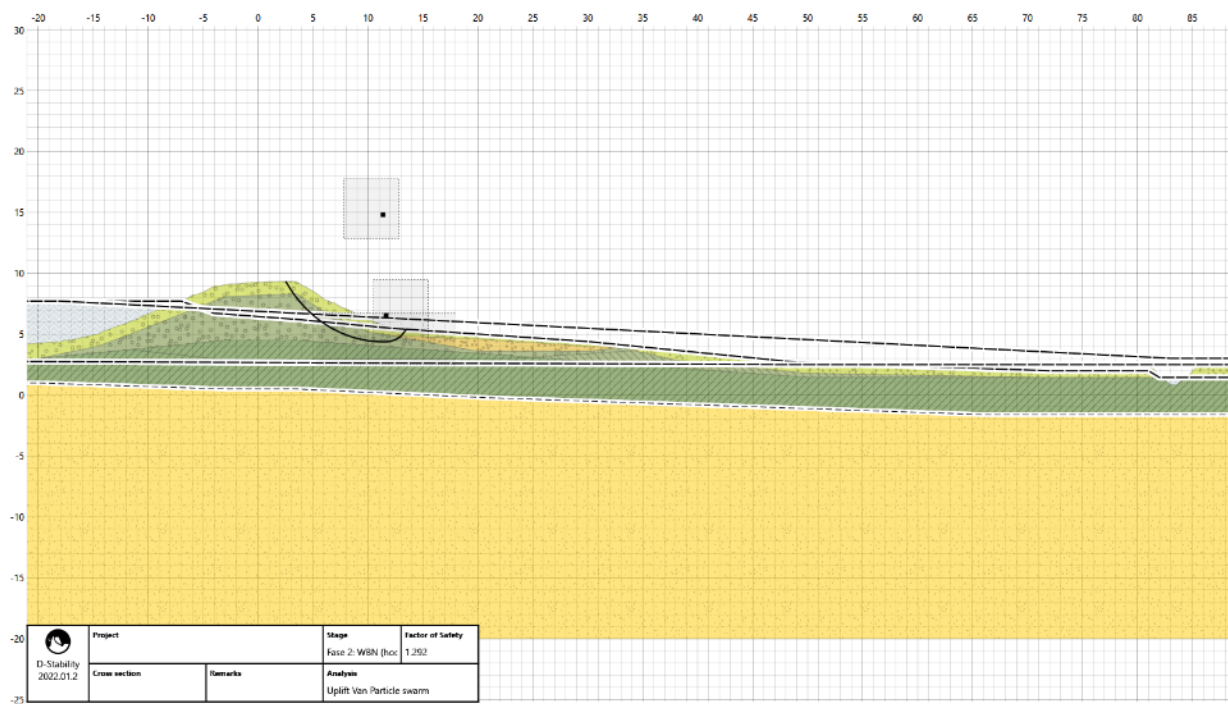


Dijkpaal 190 (diep glijvlak)

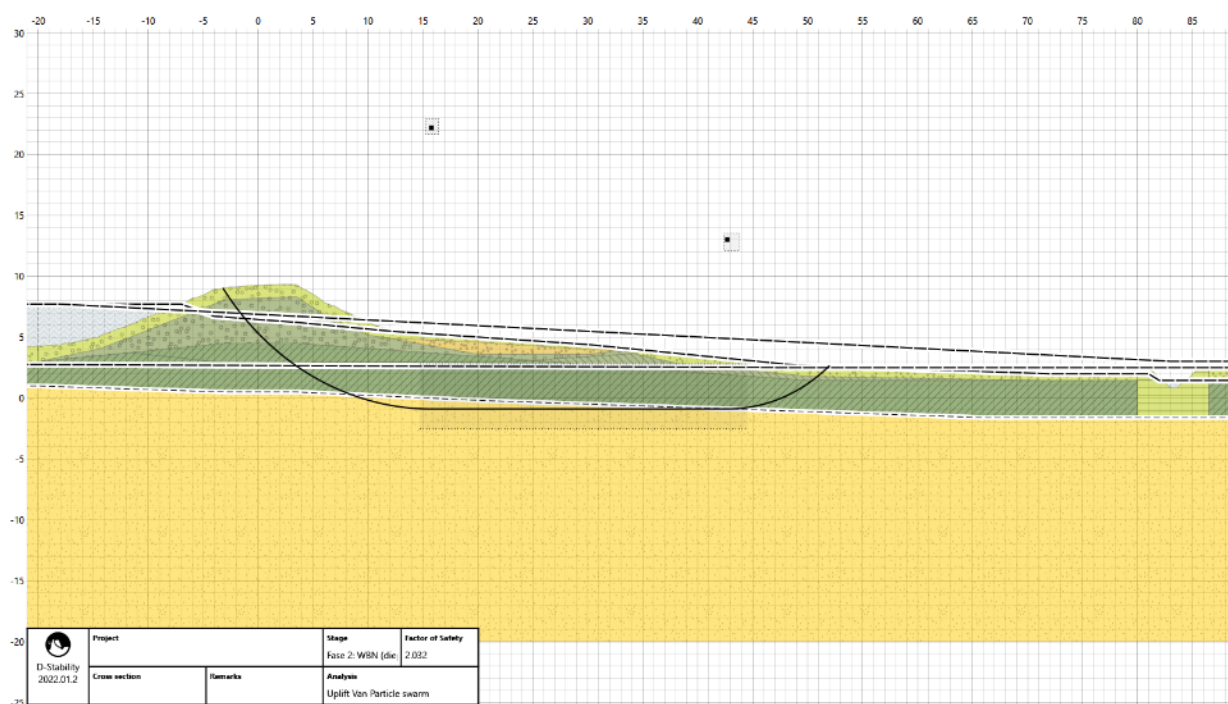


B.14 Dijkvak 8a

Dijkpaal 196 (hoog glijvlak)

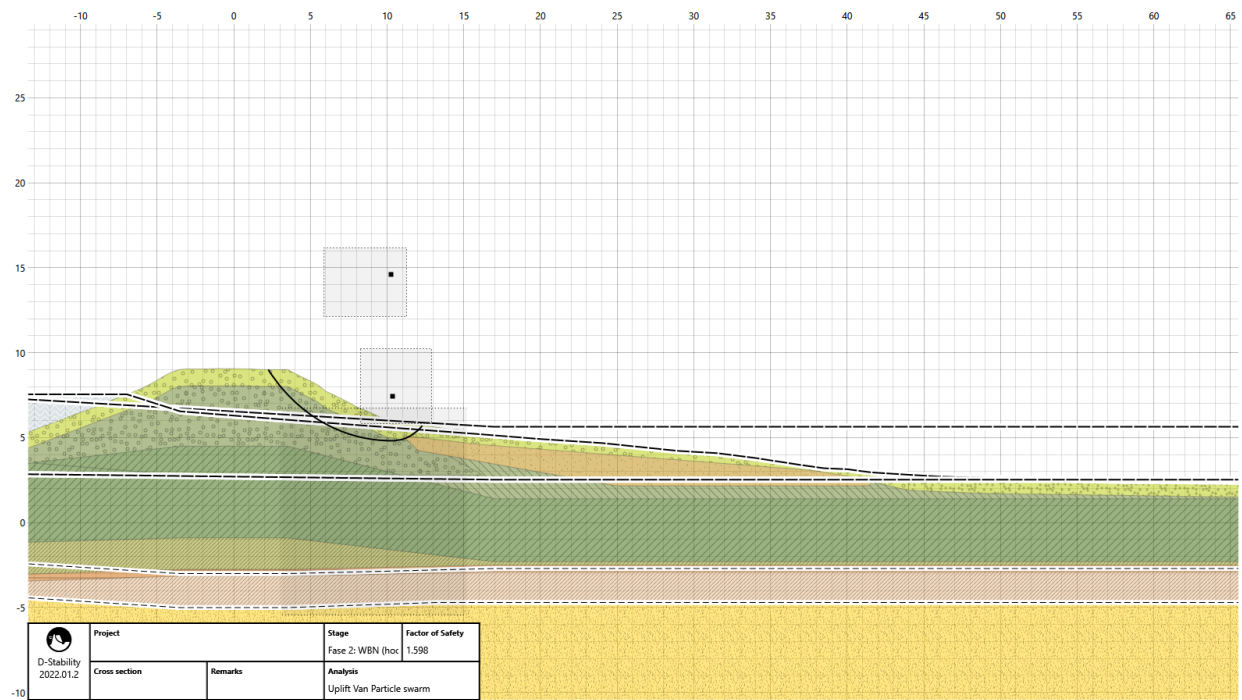


Dijkpaal 196 (diep glijvlak)

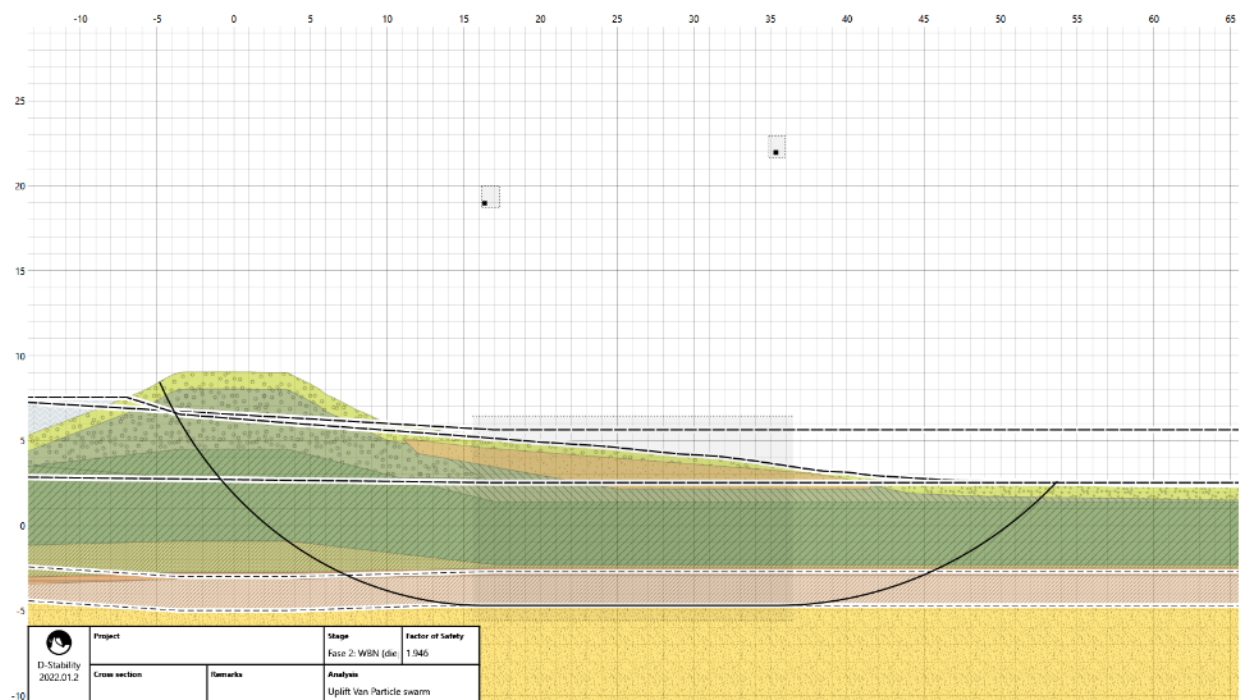


B.15 Dijkvak 8a

Dijkpaal 203 (hoog glijvlak)



Dijkpaal 203 (diep glijvlak)

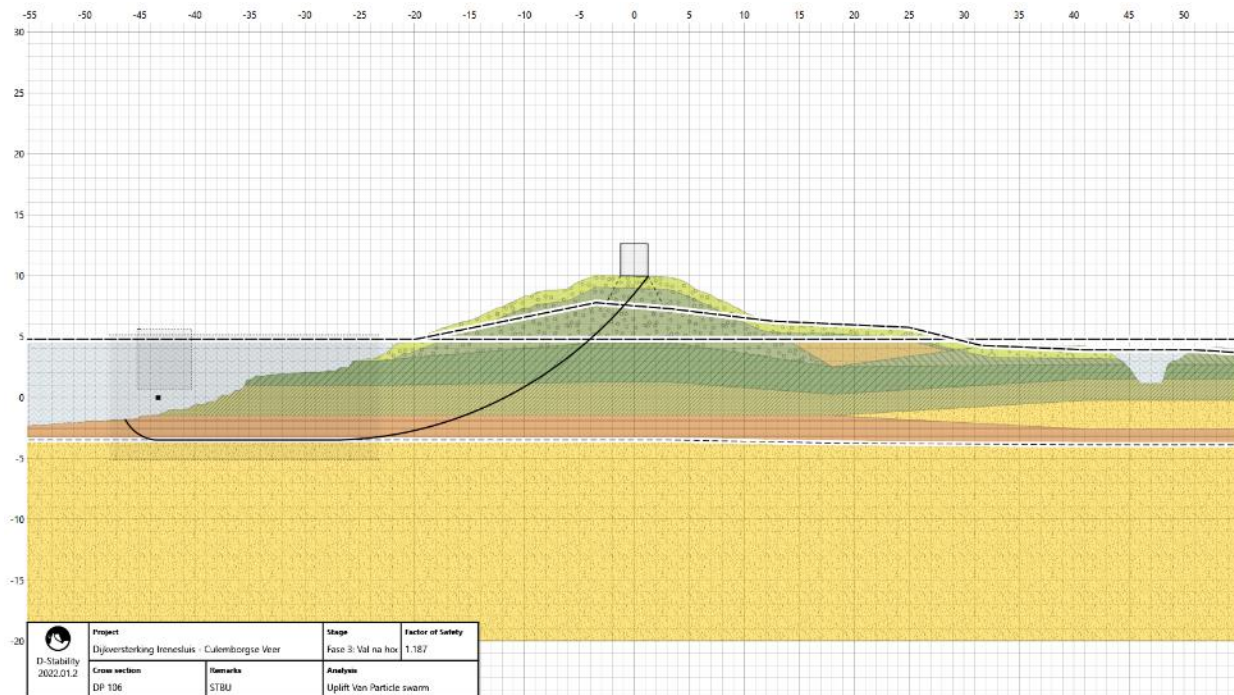


Bijlage C Berekeningsresultaten STPH

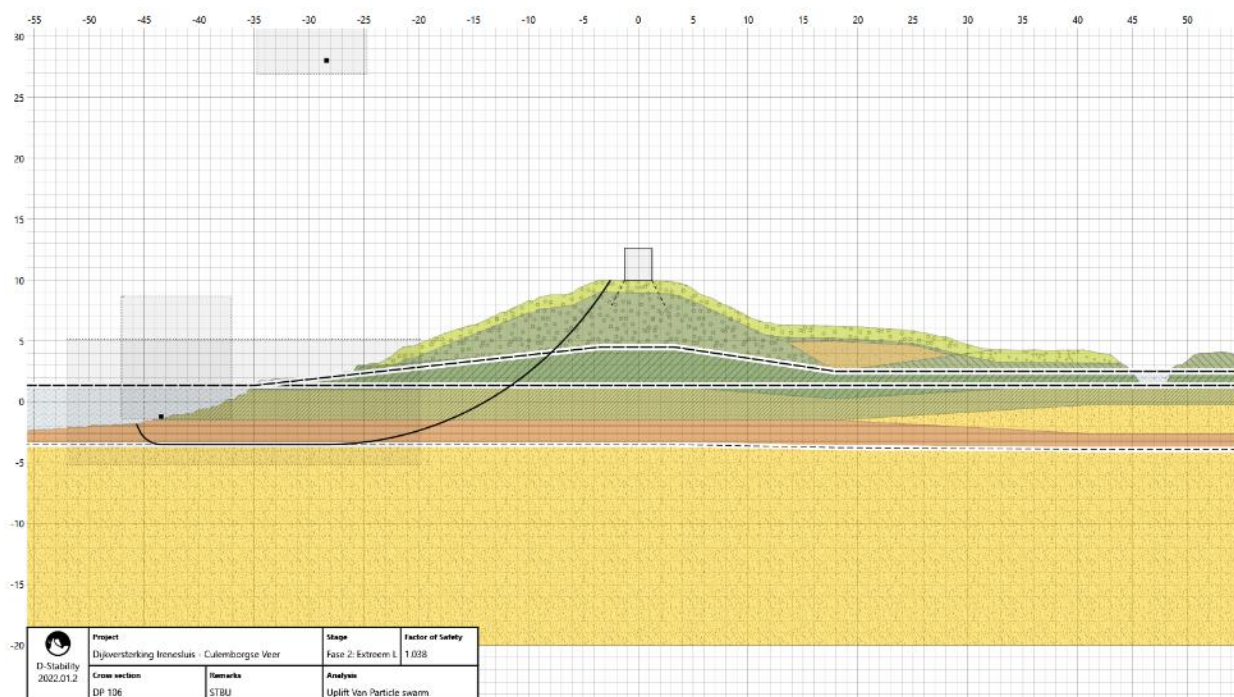
Bijlage D Stabiliteitsberekeningen STBU

D.1 Dijkvak 1

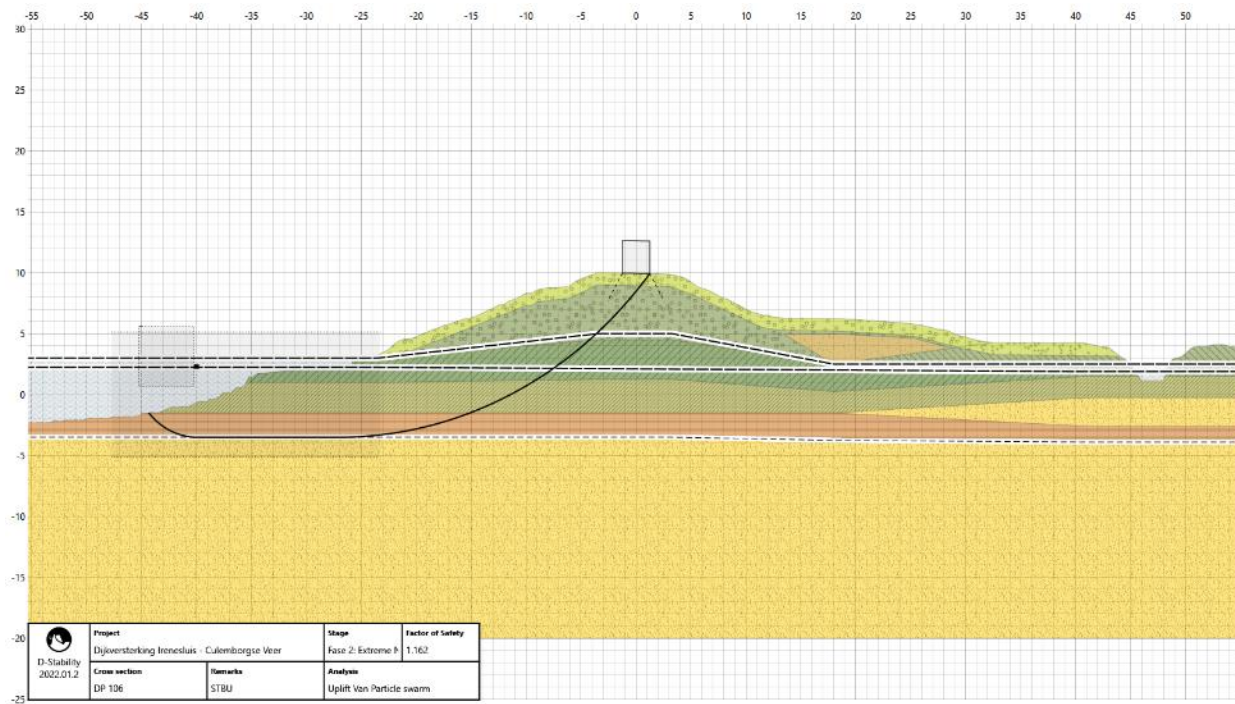
Dijkpaal 106 (Val na hoogwater)



Dijkpaal 106 (Extreem laag water)

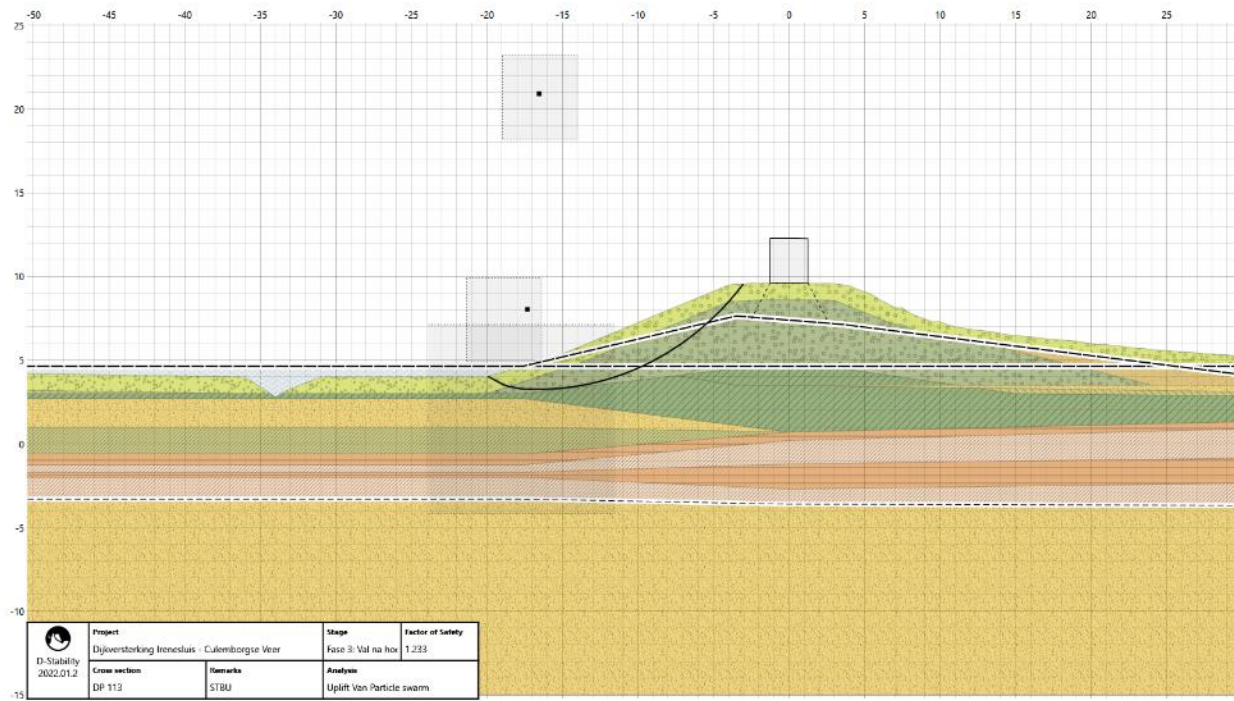


Dijkpaal 106 (Extreme neerslag)



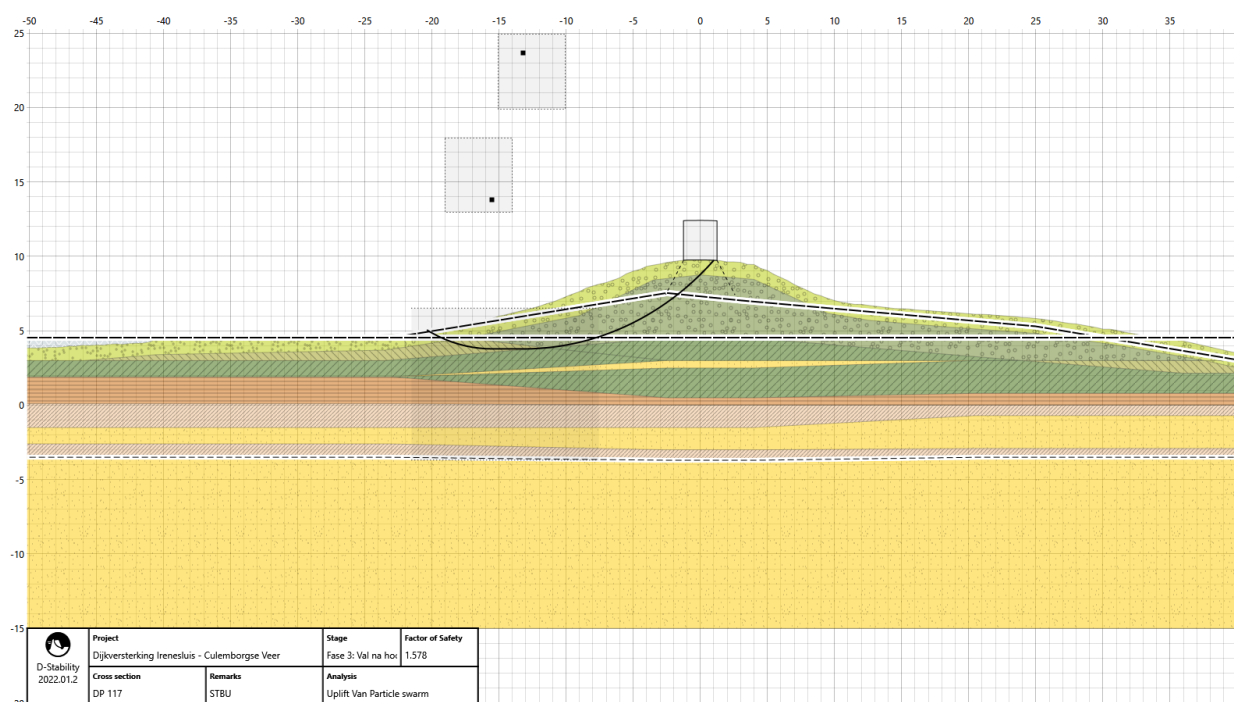
D.2 Dijkvak 2a

Dijkpaal 113 (Val na hoogwater), geometrie buitendijks obv dijkpaal 111)



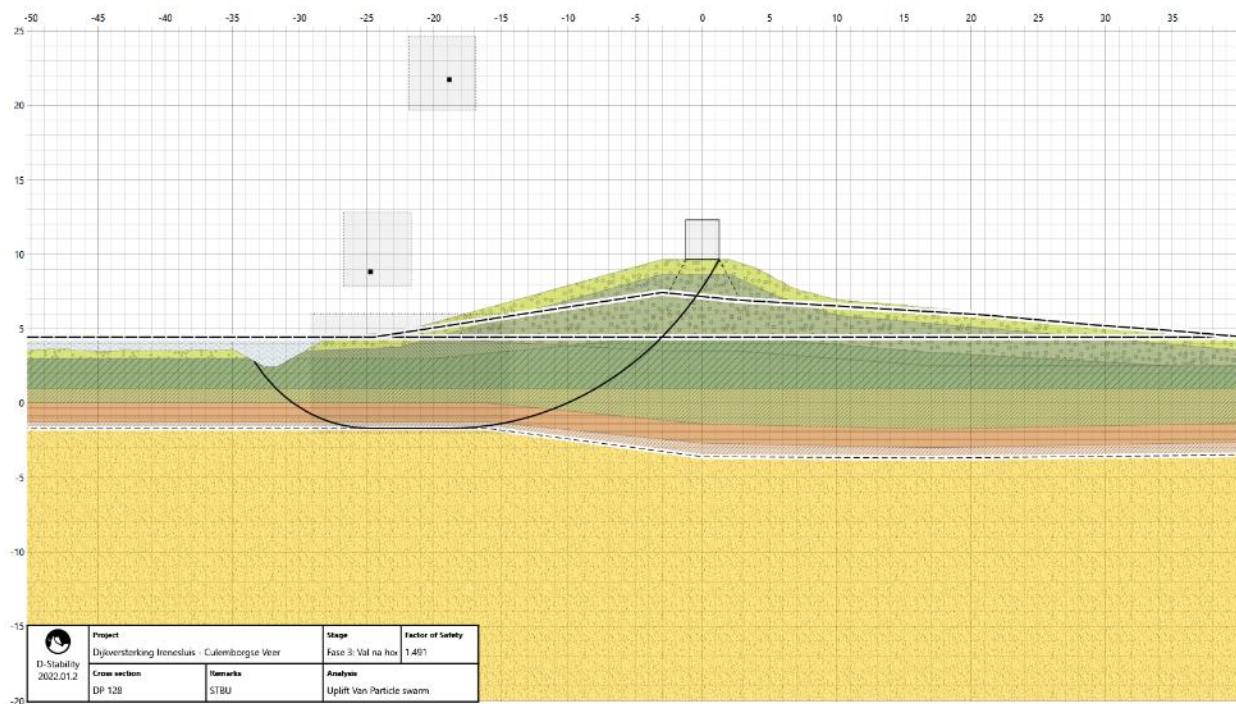
D.3 Dijkvak 2b

Dijkpaal 117 (Val na hoogwater)



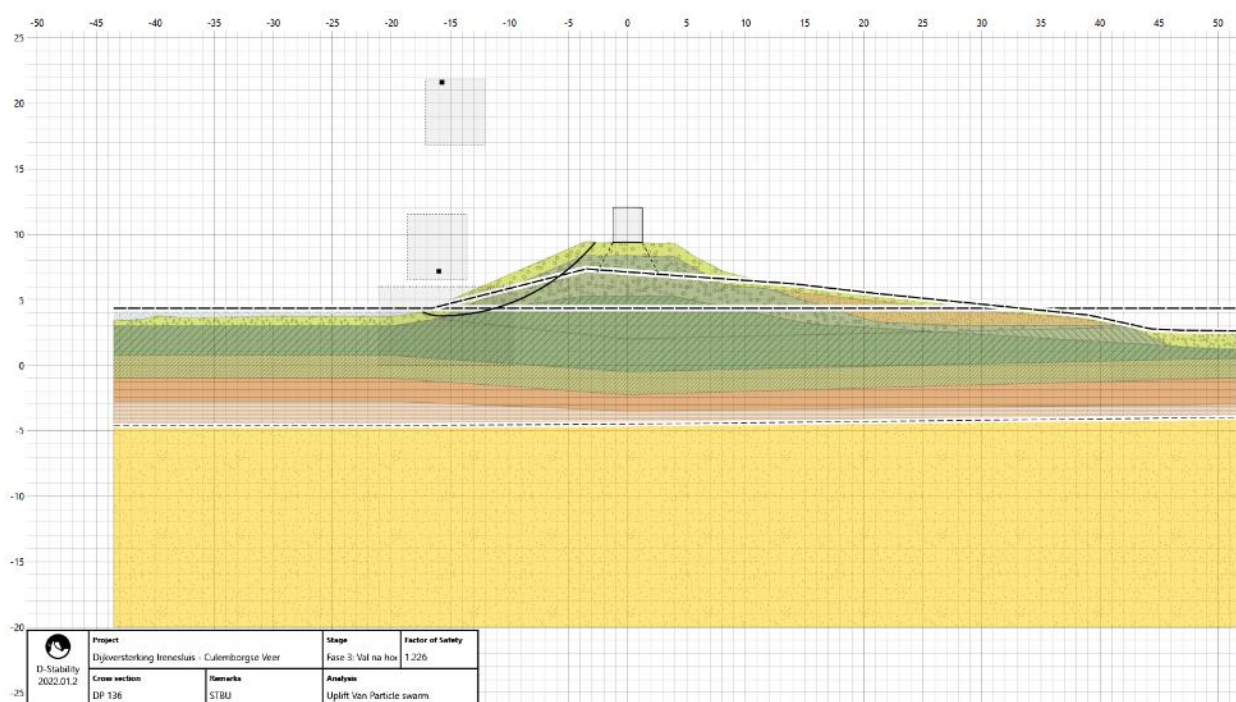
D.4 Dijkvak 2c

Dijkpaal 128 (Val na hoogwater)



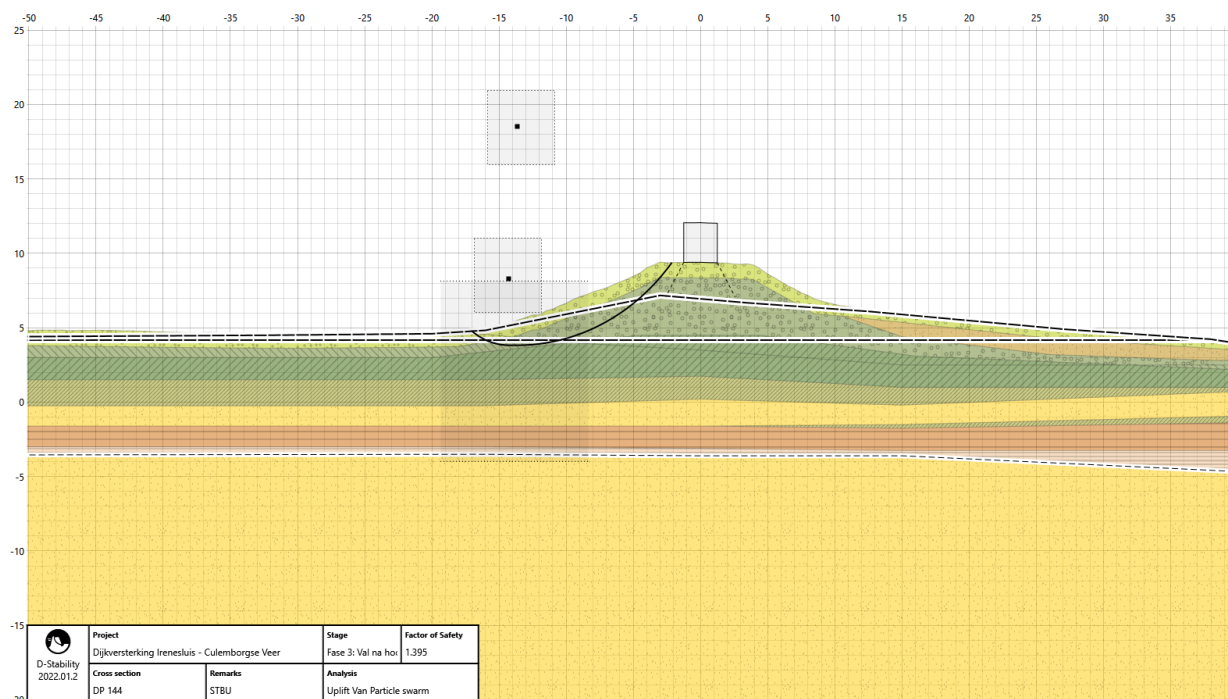
D.5 Dijkvak 3

Dijkpaal 136 (Val na hoogwater)



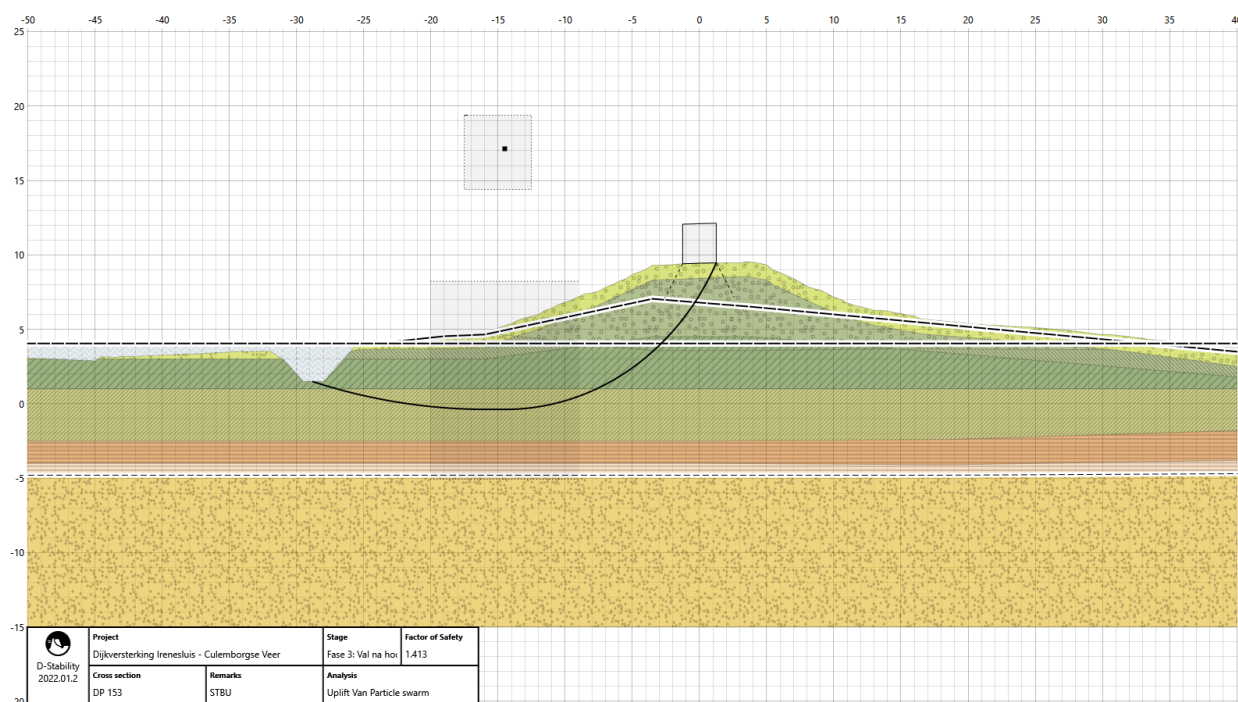
D.6 Dijkvak 4

Dijkpaal 144 (Val na hoogwater)



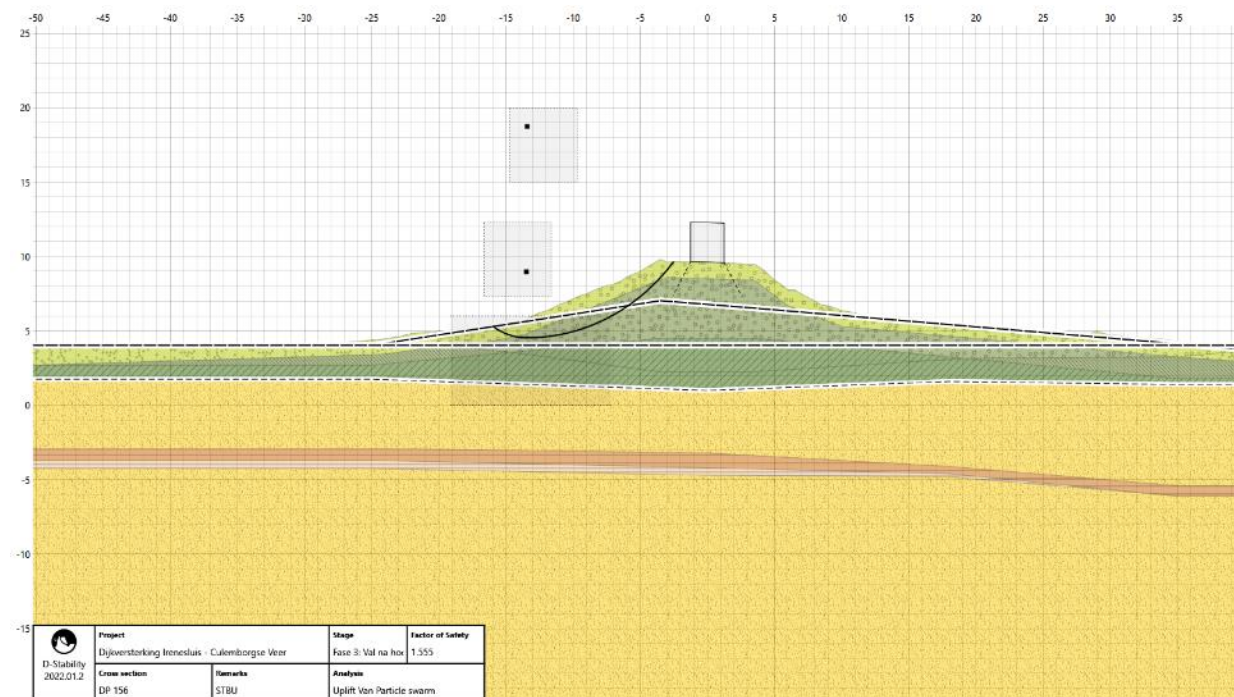
D.7 Dijkvak 5a

Dijkpaal 153 (Val na hoogwater, met geometrie van dijkpaal 152 i.v.m. sloot)



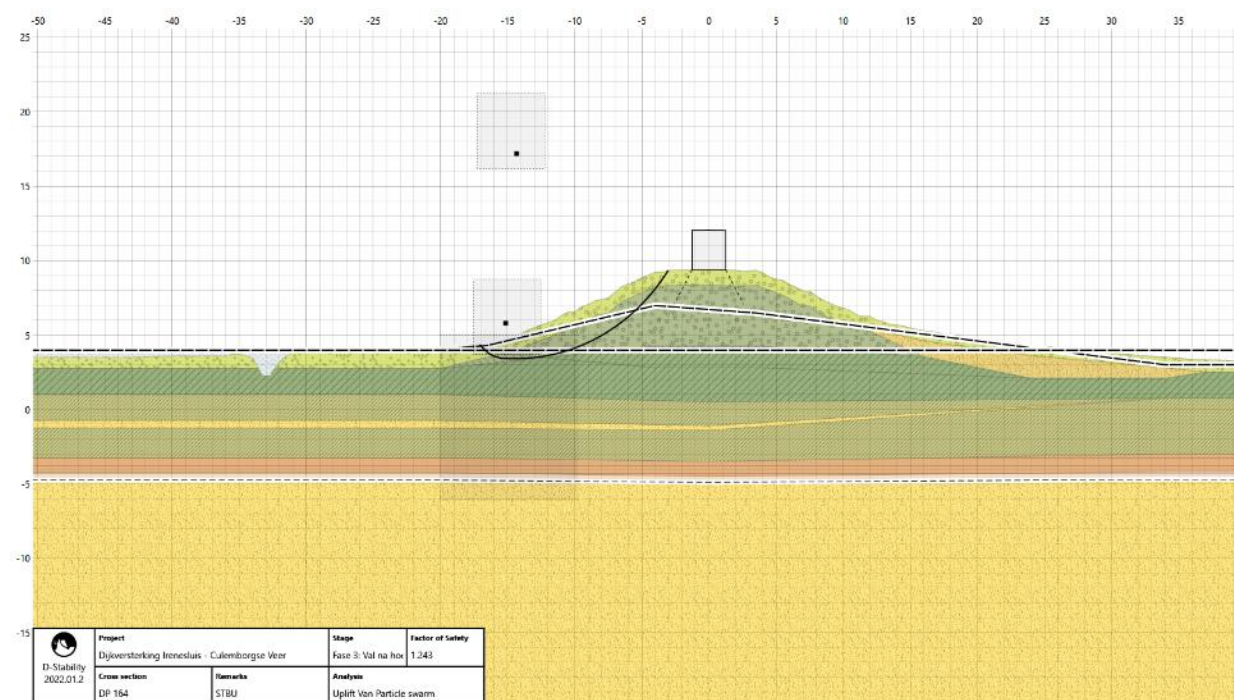
D.8 Dijkvak 5b

Dijkpaal 156 (Val na hoogwater)



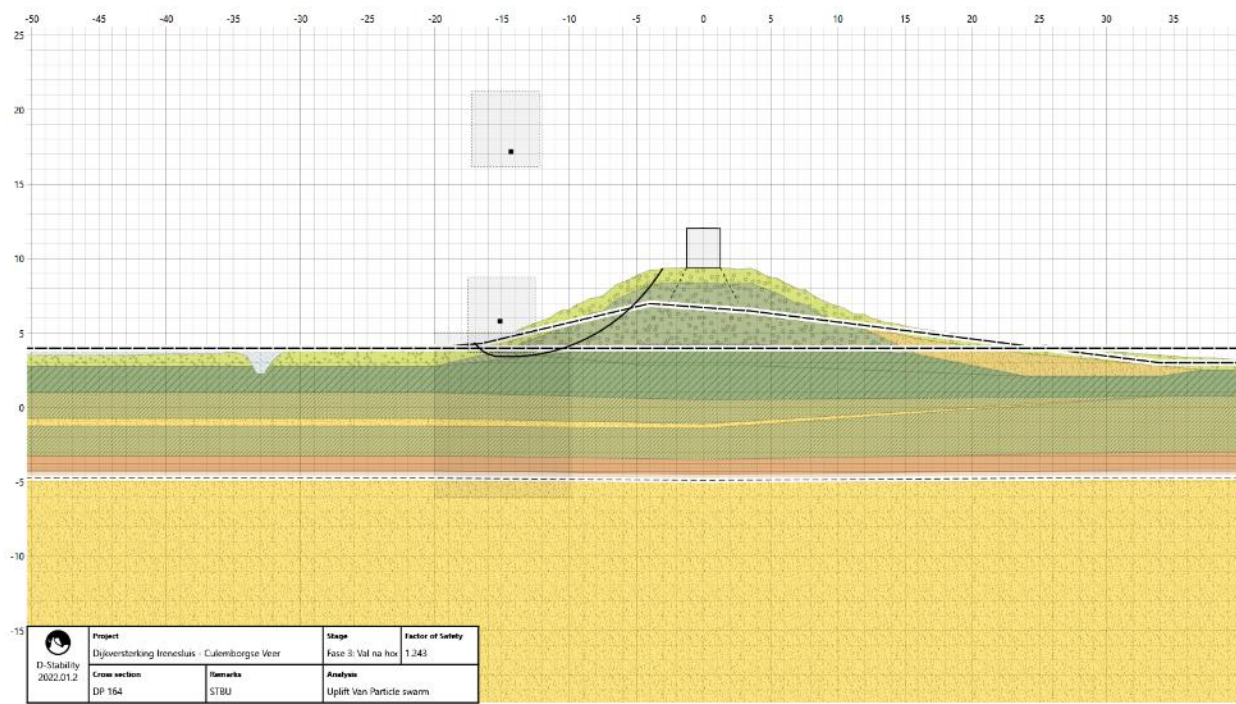
D.9 Dijkvak 6a

Dijkpaal 164 (Val na hoogwater)



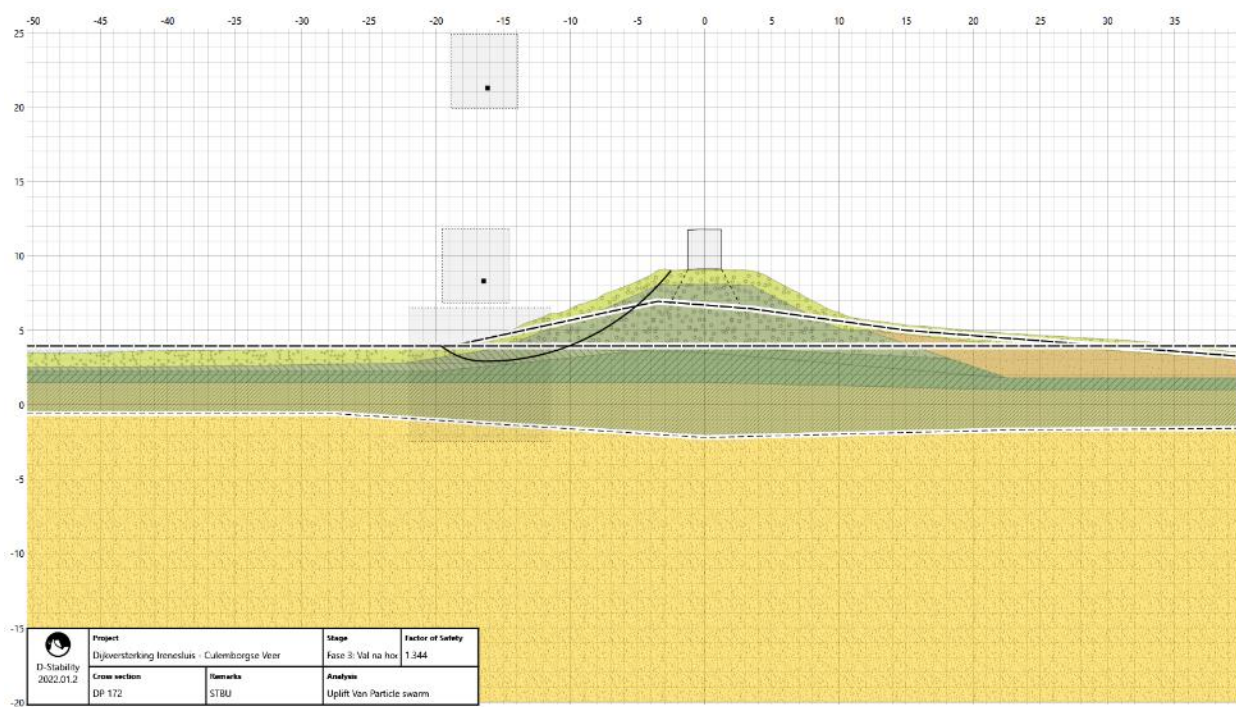
D.1 Dijkvak 6b

Dijkpaal 166 (Val na hoogwater), kopie van dijkvak 6a, dijkpaal 164



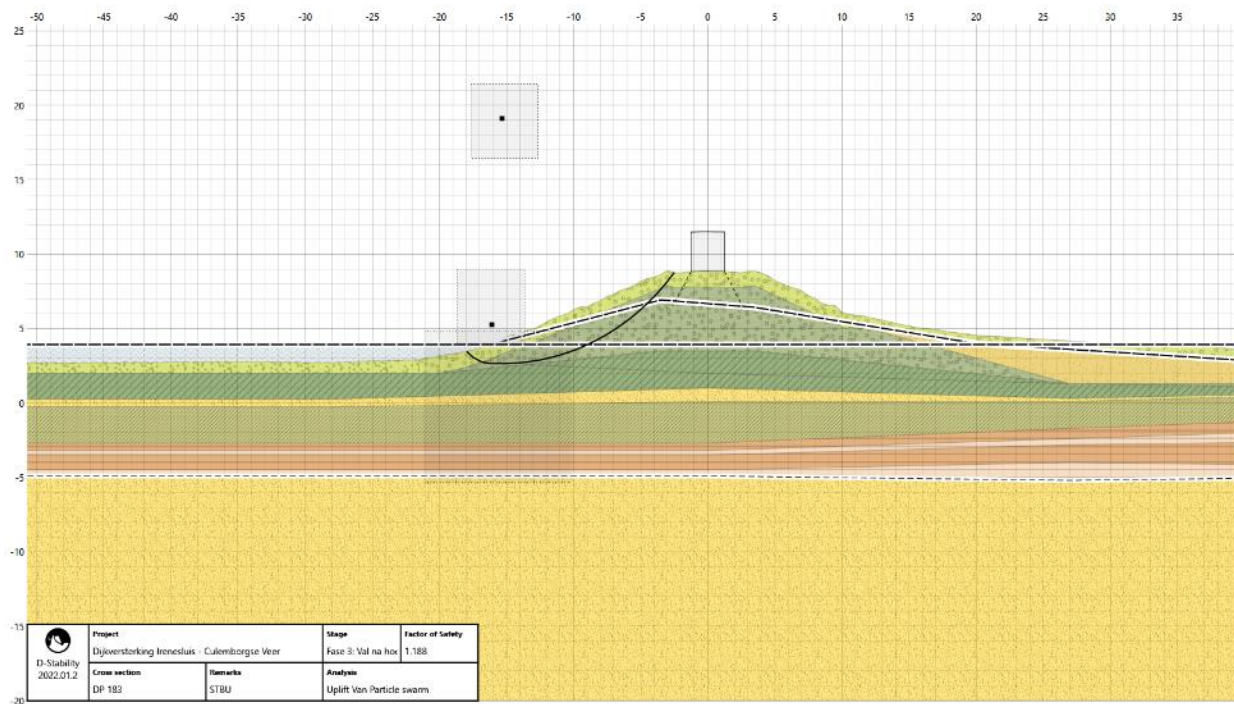
D.2 Dijkvak 6c

Dijkpaal 172 (val na hoogwater)



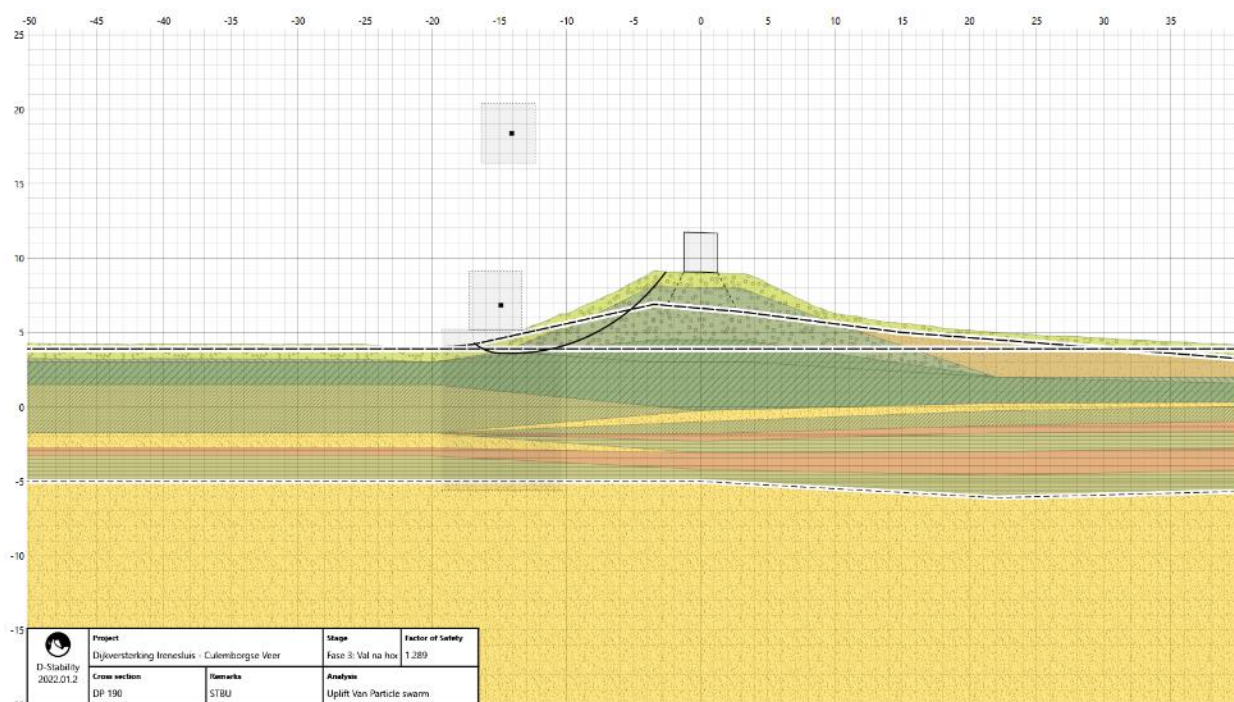
D.3 Dijkvak 6d

Dijkpaal 183 (val na hoogwater)



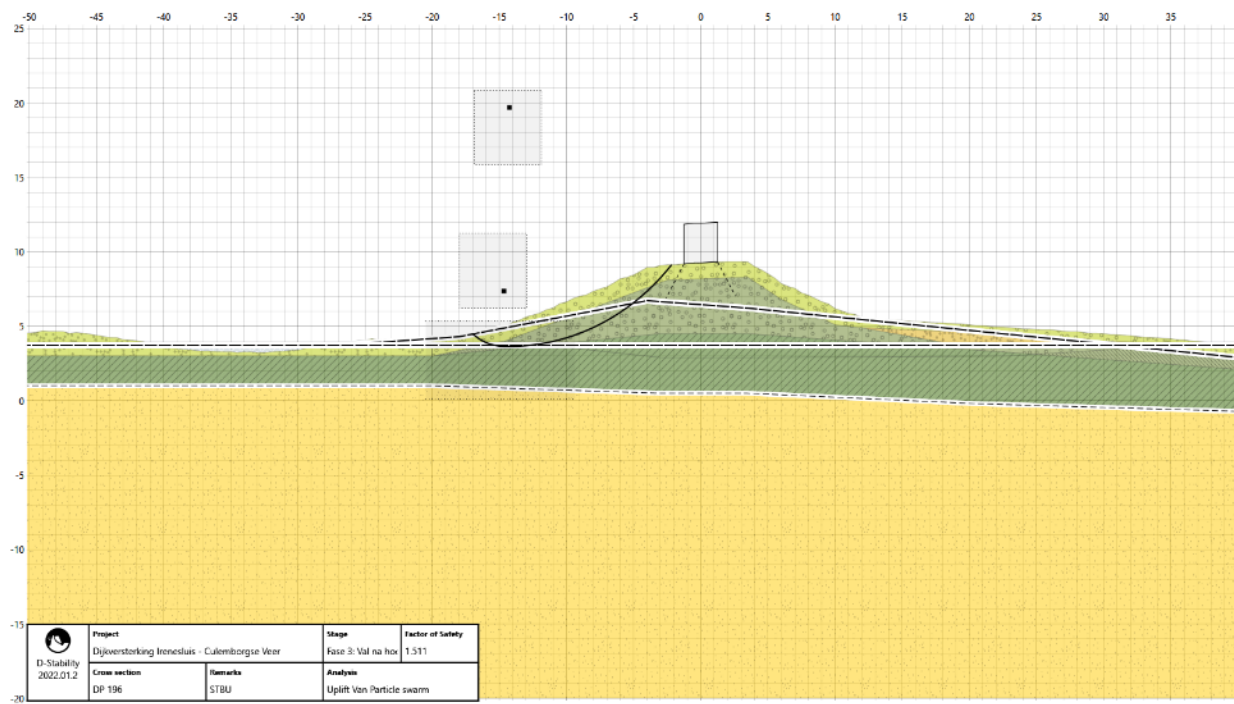
D.4 Dijkvak 7

Dijkpaal 190 (val na hoogwater)



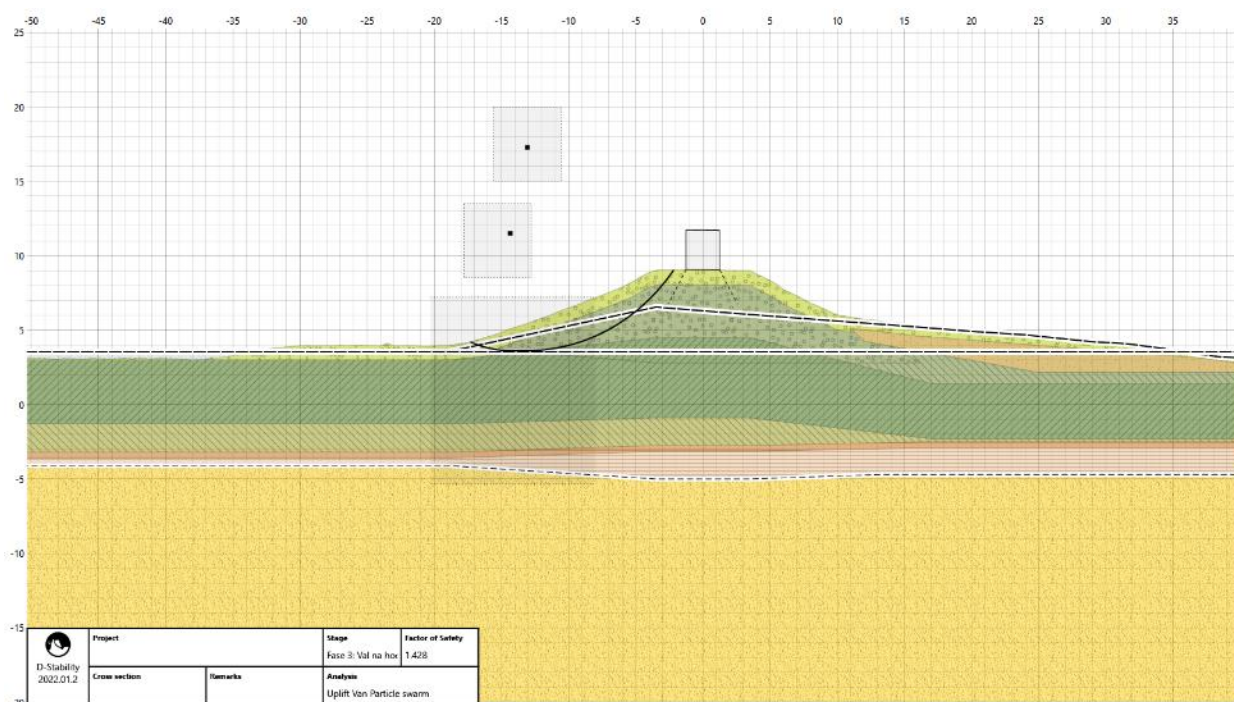
D.5 Dijkvak 8a

Dijkpaal 196 (val na hoogwater)



D.6 Dijkvak 8b

Dijkpaal 203 (val na hoogwater)



Bijlage E Faalpadanalyse STBU

Na het falen van STBU is er géén sprake van dijkfalen of kans op een overstroming omdat er op dat moment een relatief lage waterstand aanwezig is. Om STBU te beoordelen aan de hand van de overstromingskans benadering moet er ook gekeken worden naar de vervolgmecanismen nadat er een buitenwaarts glijvlak is opgetreden.

In deze bijlage is de methode van de faalpadanalyse uitgewerkt voor verschillende belastingsituaties:

- Val na hoogwater
- Extreme neerslag
- Extreem laagwater

Daarnaast is in deze bijlage navolgbaar gemaakt hoe er per gebeurtenis tot kanswaarden is gekomen. Denk aan de kans op tijdig herstel en met name de kansen voor de vervolgmecanismen tijdens verschillend hydraulische belastingen binnen gebeurtenis 6 (de laatste van het faalpad) die uiteindelijk tot een overstroming kunnen leiden.

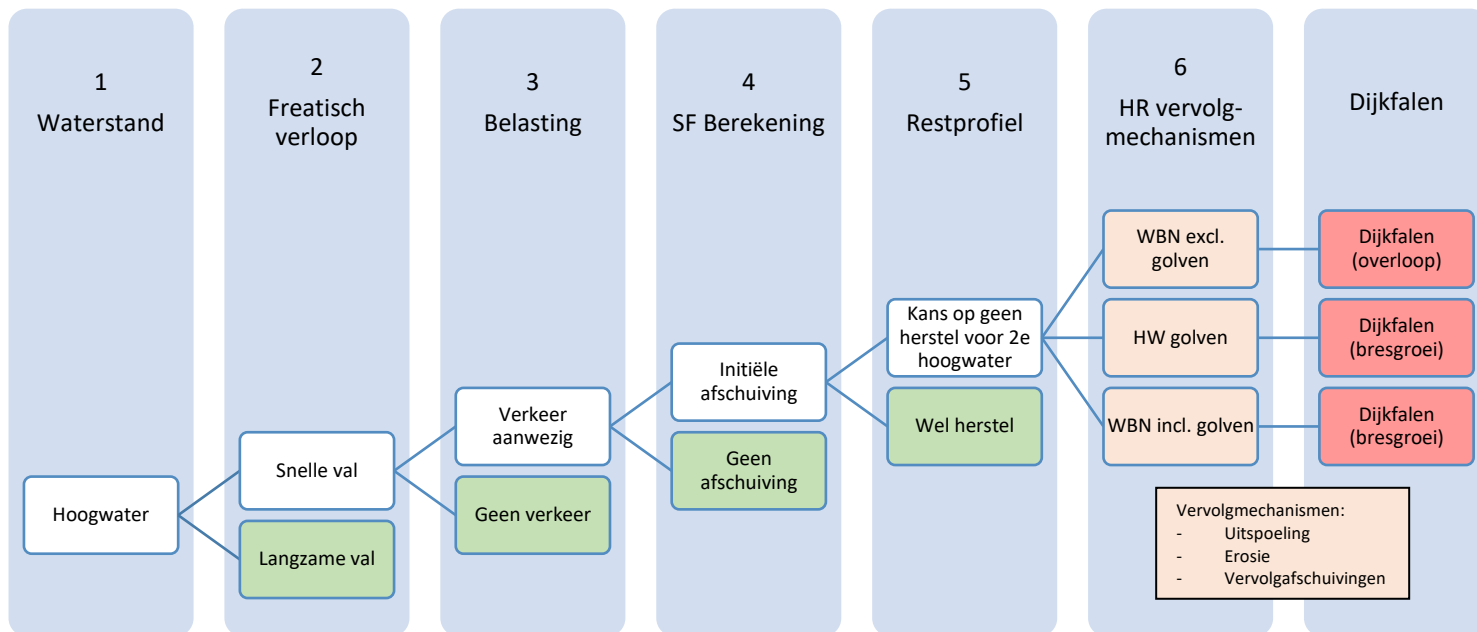
In deze paragraaf is de faalkansanalyse voor STBU uitgewerkt. Hiervoor worden een aantal termen gebruikt, waarvoor de definitie vanuit de waterveiligheid is weergegeven.

Tabel 9-1: Terminologie faalkansanalyse STBI volgens het BOI [25]

Term	Definities*
Faalpad	Een faalpad beschrijft een lineaire opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot een overstroming (BOI).
Gebeurtenissenboom	Start met een initiërende gebeurtenis, eindigt met mogelijke uitkomsten met meestal een ongewenste uitkomst (overstroming). Daartussen staan alle gebeurtenissen die kunnen opvolgen en relevant zijn voor het wel of niet optreden van ongewenste uitkomst (BOI).
Faalkans	De waarschijnlijkheid van het optreden van de initiërende gebeurtenis is uitgedrukt als frequentie of kans per tijdseenheid (voor overstromingsrisico's wordt in de regel gewerkt met de tijdseenheid jaar). of De waarschijnlijkheid van het optreden van de overige gebeurtenissen is uitgedrukt als een conditionele kans. Deze is conditioneel op alle voorgaande gebeurtenissen.

Voor het uitvoeren van een faalpadanalyse is een methodiek op 1 juni met HDSR afgestemd, waarbij gebruik is gemaakt van twee andere faalpadanalyses voor een "snelle val na hoogwater" die zijn uitgevoerd voor twee andere deel- dijktrajecten en waterschappen. Namelijk SAFE en SAS (liggen tegenover elkaar aan de Lek). De methodiek is opgenomen als bijlage in de TUN [2]. In Tabel 5-3 zijn een aantal termen en definities weergegeven.

Alle faalpadanalyses zijn volgens de gebeurtenissenboom (zie Figuur 5-1) uitgevoerd:



Figuur 9-1: Gebeurtenissenboom voor STBU faalpadanalyse

Gebeurtenissen

Nr.	Gebeurtenis	Toelichting/ bron
1	Buitenwaterstand	- Bij Extreemlaagwater met T=10 - Bij extreme neerslag = streefpeil (NAP +3,0 m)
2	Freatisch verloop	- Zie SNvU
3	Belasting	- Verkeersbelasting van toepassing (zie SNvU)
4	Stabiliteitsberekening	- De stabiliteitsfactor kan met Bijlage III omgerekend worden naar faalkans
5	Kans géén tijdig herstel voor 2 ^e hw	- Bij géén tijdig herstel zijn nieuwe HR bepaald voor het restprofiel dat ontstaat bij gebeurtenis 4). Nieuwe kerende hoogte, taluds, etc.
6	Vervolgmechanismen die tot dijkfalen (overstroming) leiden	1. WBN exclusief golven → kan zich uiten in overloop, waarbij direct dijkfalen optreedt. 2. Hoogwater (bijv. T=10 tot T=1.000) met sterke wind → vervolgmechanismen buitentalud 3. WBN inclusief golven → vervolgmechanismen binnentalud

a.

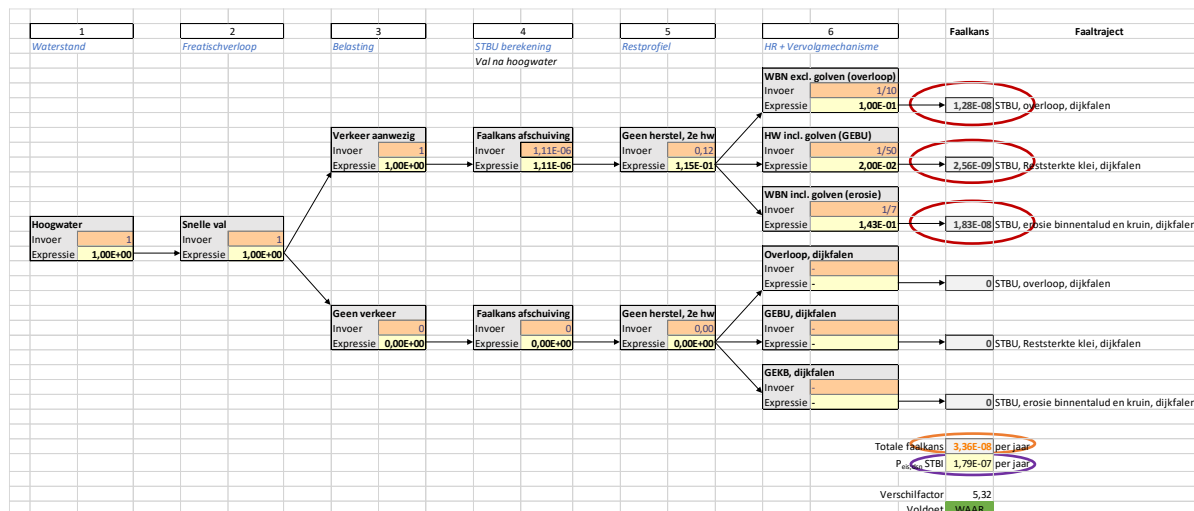
Voor elk dijkvak wat niet voldoet aan de semi-probabilistische methode van STBU is een faalpadanalyse uitgevoerd. Voor elke gebeurtenis 1-6 is een kans ingevoerd waarbij het product leidt tot een faalkans voor een enkel pad (= scenario). Voor STBU zijn er maar drie paden, namelijk 6a, 6b en 6c. De sommatie van deze drie paden leidt tot de totale faalkans van STBU.

Vervolgens is deze totale faalkans getoetst aan de doorsnede-eis van het mechanismen macrostabiliteit met $P_{eis;dsn} = 1,79E-07$ dat overeenkomt met de 4% faalkansruimte voor dit normtraject.

In de gebeurtenissenboom zijn 6 achtereenvolgende gebeurtenissen weergegeven, waarvoor elk een kans of frequentie is ingevuld. Dit heeft geleid tot drie verschillende faalpaden (A-C) die uiteindelijk tot dijkfalen (overstroming) leiden, namelijk:

Voor gebeurtenissen 1, 2 en 3 zijn de kansen/ frequenties "1" ingevuld. Dit kan alsnog exacter bepaald worden, maar ook binnen de faalkansanalyse wordt er eerst van grof naar fijn gerekend.

In Figuur 9-2 staat een gebeurtenissen- faalkansenboom, bestaande uit gebeurtenissen en bijbehorende kansen. In totaal zijn er voor drie verschillende faalpaden de **faalkansen bepaald**. De sommatie leidt tot de **totale faalkans** welke vergeleken wordt met de **beoordelingseis**, in dit geval de doorsnede-eis van STBU.



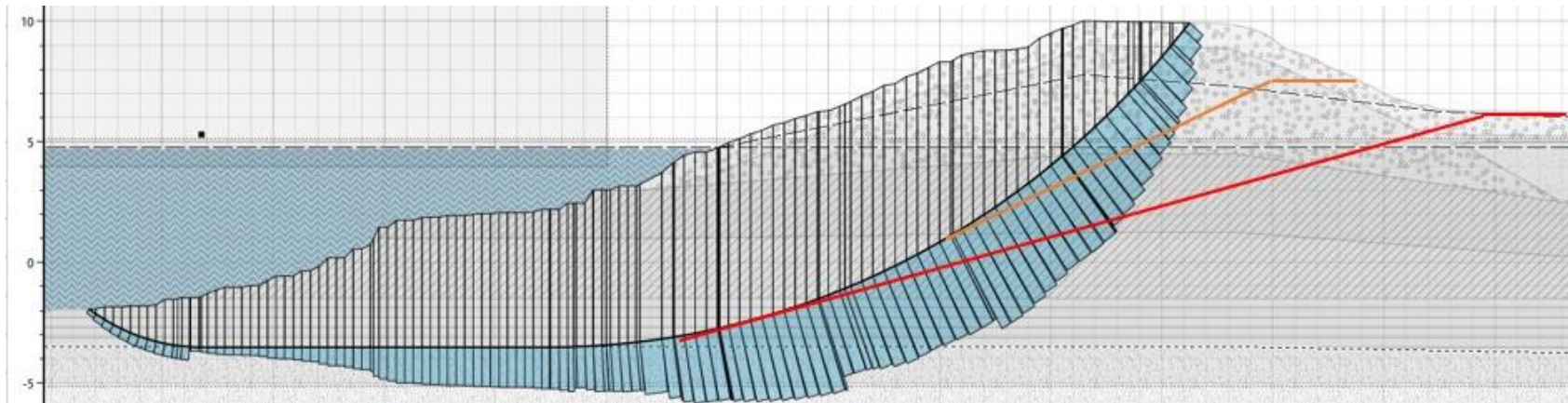
Figuur 9-2: Gebeurtenissenboom macro-instabiliteit (buitenwaarts) bij dijkkpaal 106

Het verschil tussen de totale faalkans en beoordelingseis is ruim factor 5. In deze faalkansanalyse is aangetoond dat een initieel buitenwaarts glijvlak als gevolg van een val na hoogwater niet tot dijkkfalen (overstroming) zal leiden. Wel vraagt dit om een actie vanuit HDSR (zorgplicht) om te voorkomen dat vervolgmechanismen niet tot dijkkfalen leiden. Dit is opgenomen in de conclusie.

Restprofiel dijkpaal 106

In gebeurtenis 4 ontstaat er een restprofiel nadat er een afschuiving heeft plaatsgevonden. Indien geen tijdig herstel plaatsvindt kunnen (nieuwe) hydraulische belastingen tot vervolgmecanismen leiden. De kans op de vervolgmecanismen (dus gebeurtenis 6a, 6b en 6c) is bepaald in Hydra-NL met een aangepast profiel (het restprofiel na afschuiven).

Na de initiële afschuiving als gevolg van een val na hoogwater, resteert er een restprofiel. De oranje lijn is een talud van 1:2, de rode lijn is een talud van 1:3.



Hydraulische randvoorwaarden Restprofiel (buiten waterstanden t.b.v. overloop)

ID	Locatie	Terugkeertijd [jaar]	2050	2100	2073
1	044-01_0113_1_LE_km0929	10	7,356	7,696	7,51
2	044-01_0113_1_LE_km0929	30	7,834	8,123	7,97
3	044-01_0113_1_LE_km0929	100	8,18	8,379	8,27
4	044-01_0113_1_LE_km0929	300	8,378	8,533	8,45
5	044-01_0113_1_LE_km0929	1000	8,531	8,63	8,58
6	044-01_0113_1_LE_km0929	3000	8,628	8,753	8,69
7	044-01_0113_1_LE_km0929	10000	8,752	8,815	8,78
8	044-01_0113_1_LE_km0929	30000	8,778	8,881	8,83

Paarse waarden = invoer gebeurtenissenboom

Hydraulische randvoorwaarden Restprofiel (kans op overslag)

Bij 1 op 2 talud bij restkruinhoogte van 1:2				2050		2100
	HBN	T gekozen	HBN	T	HBN	T
HBN	0,1	7,5	0,1	10	0,1	7,5
HBN	1	7,5	1	11	1	7,5
HBN	5	7	5	7,5	5	7
HBN	10	7	10	7,5	10	7

Golfcondities buitenwaarts t.b.v. reststerkte (vervolgmechanisme) bij restprofiel

							Zichtjaar	2073		
ID	Locatie	X-coördinaat	Y-coördinaat	Waterstands-niveau [m+NAP]	Terugkeertijd [jaar]	Belastingniveau [m+NAP]/Golfparameter [m]/[s]/Sterkte bekleding [-]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]	Golfrichting [°]	Golfinval [°]
3	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	2,5	2,22E+05	1,29	0,84	3,12	90	52,3
104	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	3	2,22E+05	1,3	0,84	3,13	90	52,3
205	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	3,5	2,22E+05	1,31	0,85	3,14	90	52,3
306	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	4	2,22E+05	1,32	0,85	3,15	90	52,3
407	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	4,5	2,22E+05	1,33	0,86	3,16	90	52,3
508	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	5	2,22E+05	1,34	0,86	3,17	90	52,3
609	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	5,5	2,22E+05	1,1446	0,7646	3,0046	90	52,3
710	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	6	2,22E+05	0,9784	0,6692	2,8484	90	52,3
811	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	6,5	2,22E+05	0,933	0,6492	2,813	90	52,3
912	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	7	2,22E+05	0,8876	0,6238	2,7676	90	52,3
1013	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	7,5	2,22E+05	0,8122	0,5538	2,8868	90	52,3
1114	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	8	2,22E+05	0,6868	0,4884	2,7206	90	52,3
1215	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	8,5	2,22E+05	0,4614	0,383	2,1444	90	52,3
1316	044-01_0113_1_LE_km0929	150817	441868	9	2,22E+05	0				

E.1 Dijkpaal 106 – Faalpaden STBU bij Extreem laagwater en extreme neerslag

Uit gebeurtenis 4 volgt een stabiliteitsfactor welke omgerekend is naar een beta en de bijbehorende faalkans. Vervolgens is deze faalkans opgenomen in de faalkansenboom, waarbij in eerste instantie conservatief is gerekend met de vervolgemechanismen met een kans van 1. Wanneer er niet werd voldaan is genuanceerd gerekend, namelijk locatie specifieke Hydraulische Belastingen op basis van het restprofiel.

Locatie Faalkansanalyse – Extreme neerslag	Safety $F_{d;l}$ [-]	Schem. F γ_b [-]	Model f. γ_d [-]	Stabf. $F_{d;i/d}$ [-]	Beta b_i [-]	Faalkans bij scenario $P_{f;i}$ [1/jaar]	Terugkeertijd à invoer faalkansanalyse $T =$
Dijkpaal 106 VKA	1,16		1,06	1,09	4,56	2,53E-06	395.218

Locatie Faalkansanalyse – Extreem laagwater	Safety $F_{d;l}$ [-]	Schem. F γ_b [-]	Model f. γ_d [-]	Stabf. $F_{d;i/d}$ [-]	Beta b_i [-]	Faalkans bij scenario $P_{f;i}$ [1/jaar]	Terugkeertijd à invoer faalkansanalyse $T =$
Dijkpaal 106 VKA	1,04		1,06	0,98	3,81	7,02E-05	14.250

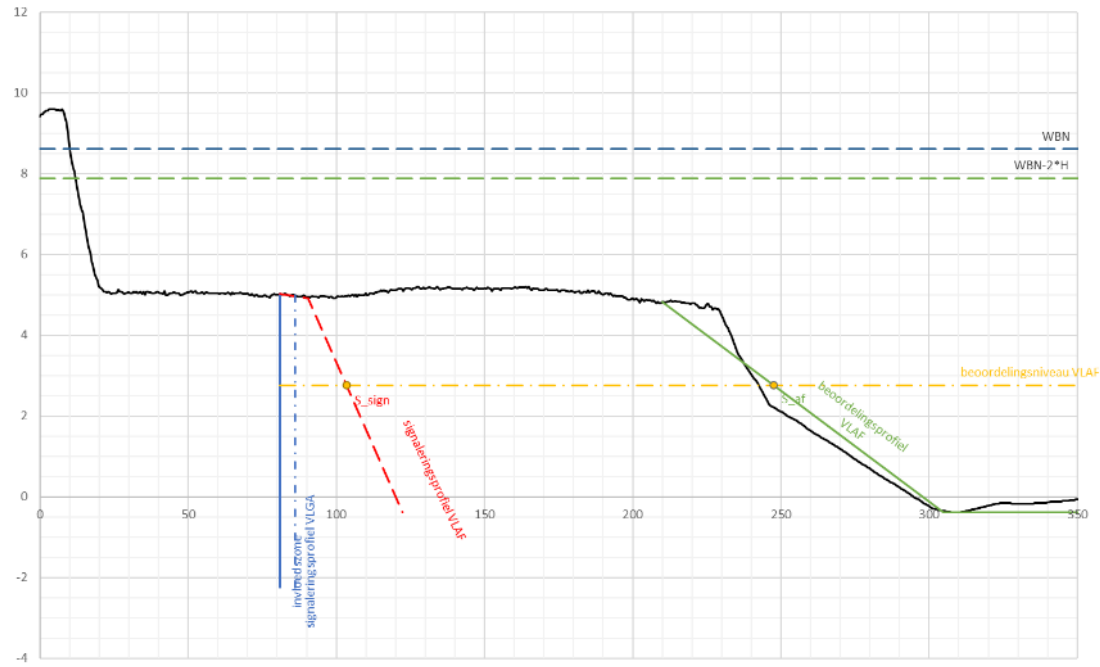
Dijkvak	Dijkpaal	1	2	3	4	5	6 - a	6 - b	6 - c
		<i>Waterstand</i>	<i>Freatisch verloop</i>	<i>Belasting</i>	<i>STBU berekening</i> <i>Val na hoogwater</i>	<i>Restprofiel</i> <i>kans geen herstel</i>	<i>Vervolgmech. A</i> <i>Overloop_h</i>	<i>Vervolgmech. B</i> <i>erosie_GEBU</i>	<i>Vervolgmech. C</i> <i>erosie_GEKB</i>
extreme neerslag		Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 2,53E-06 Expres-sie 2,53E-06	Invoer 0,12 Expres-sie 1,15E-01	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00
1	DWP106								
extreem laagwater		Invoer 0,1 Expres-sie 1,00E-01	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 7,02E-05 Expres-sie 7,02E-05	Invoer 0,12 Expres-sie 1,15E-01	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00
1	DWP106								
extreme neerslag		Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 2,53E-06 Expres-sie 2,53E-06	Invoer 0,12 Expres-sie 1,15E-01	Invoer 1/10 Expres-sie 1,00E-01	Invoer 1/50 Expres-sie 2,00E-02	Invoer 1/7 Expres-sie 1,43E-01
1	DWP106								
extreem laagwater		Invoer 0,1 Expres-sie 1,00E-01	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 1 Expres-sie 1,00E+00	Invoer 7,02E-05 Expres-sie 7,02E-05	Invoer 0,12 Expres-sie 1,15E-01	Invoer 1/1000 Expres-sie 1,00E-03	Invoer 1/50 Expres-sie 2,00E-02	Invoer 1/648 Expres-sie 1,56E-01

1	DWP106	Expres- sie	1,00E-01	Expres- sie	1,00E+00	Expres- sie	1,00E+00	Expres- sie	7,02E-05	Expres- sie	1,15E-01	Expres- sie	1,00E-03	Expres- sie	2,00E-02	Expres- sie	1,54E-03
---	--------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------	----------------	----------

Bijlage F Beoordelingen voorland

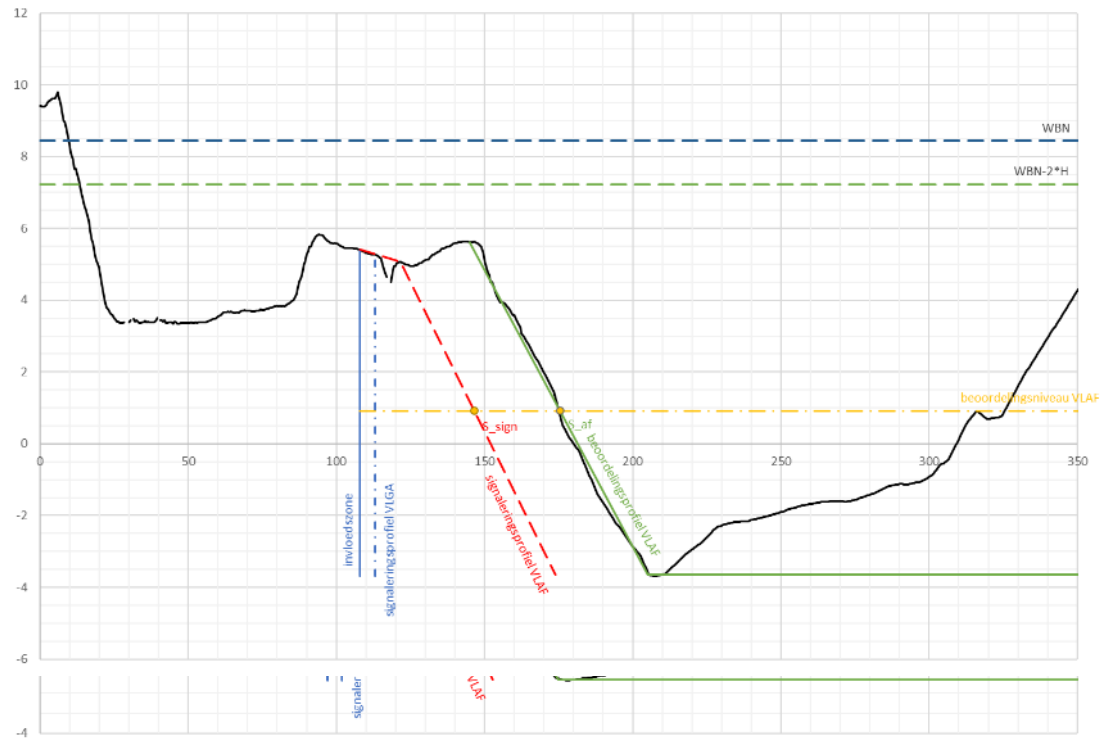
F.1 Dijkpaal 114

Beoordeling Voorland dijkpaal 114



F.2 Dijkpaal 124

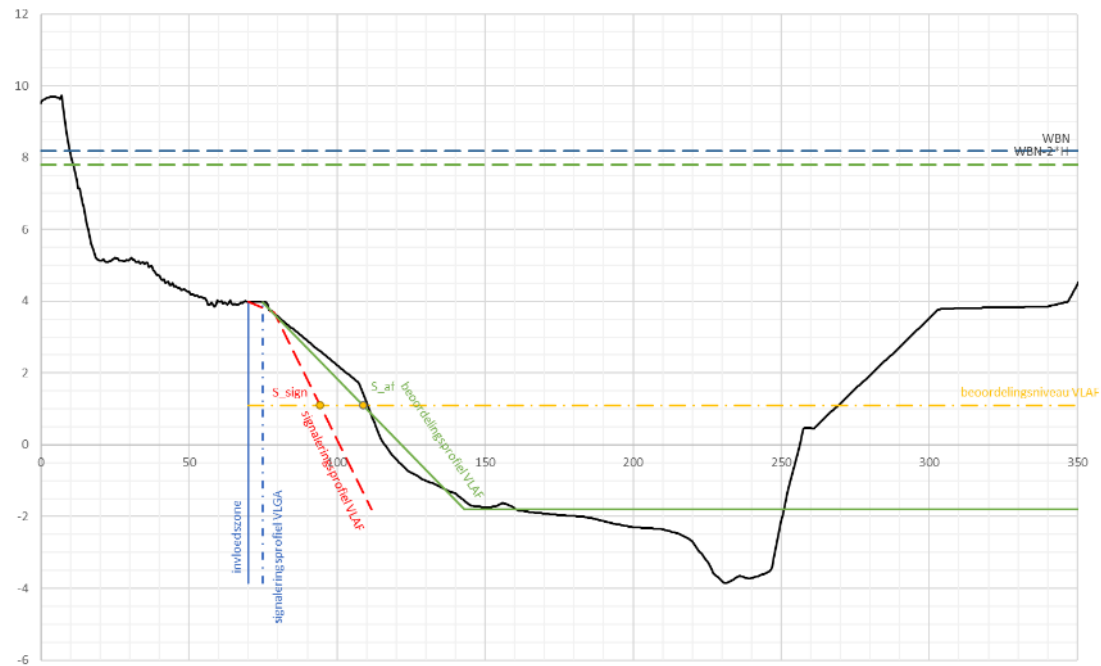
Beoordeling Voorland dijkpaal 124



F.3 Dijkpaal 133

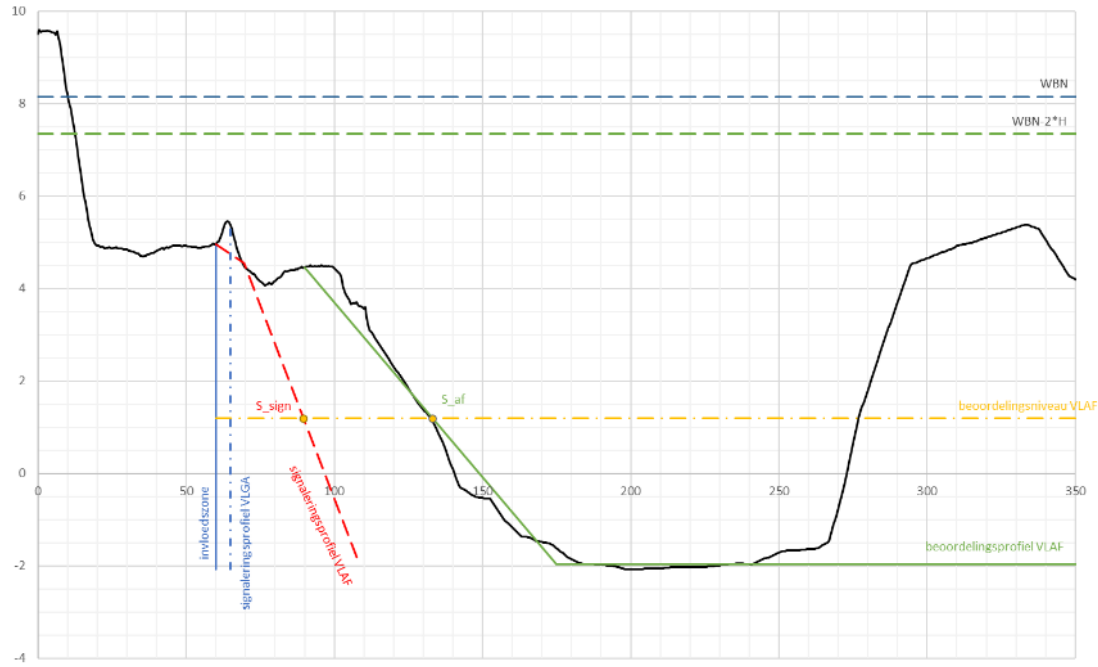
F.4 Dijkpaal 143

Beoordeling Voorland dijkpaal 143

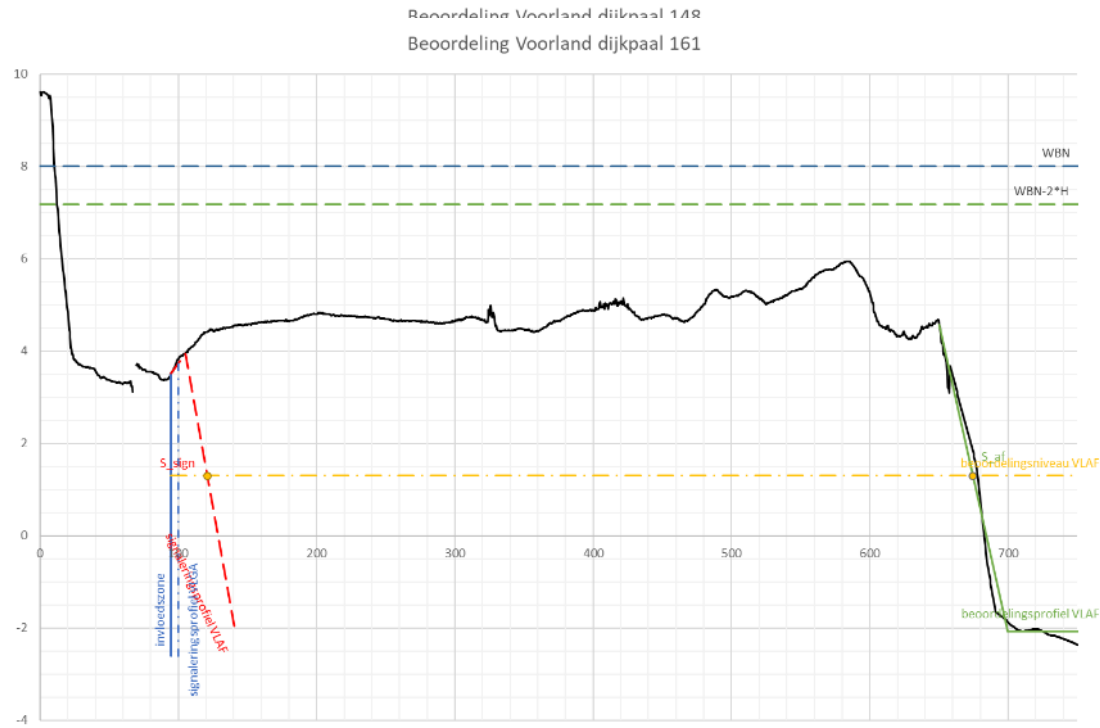


F.5 Dijkpaal 146

Beoordeling Voorland dijkpaal 146



F.6 Dijkpaal 148

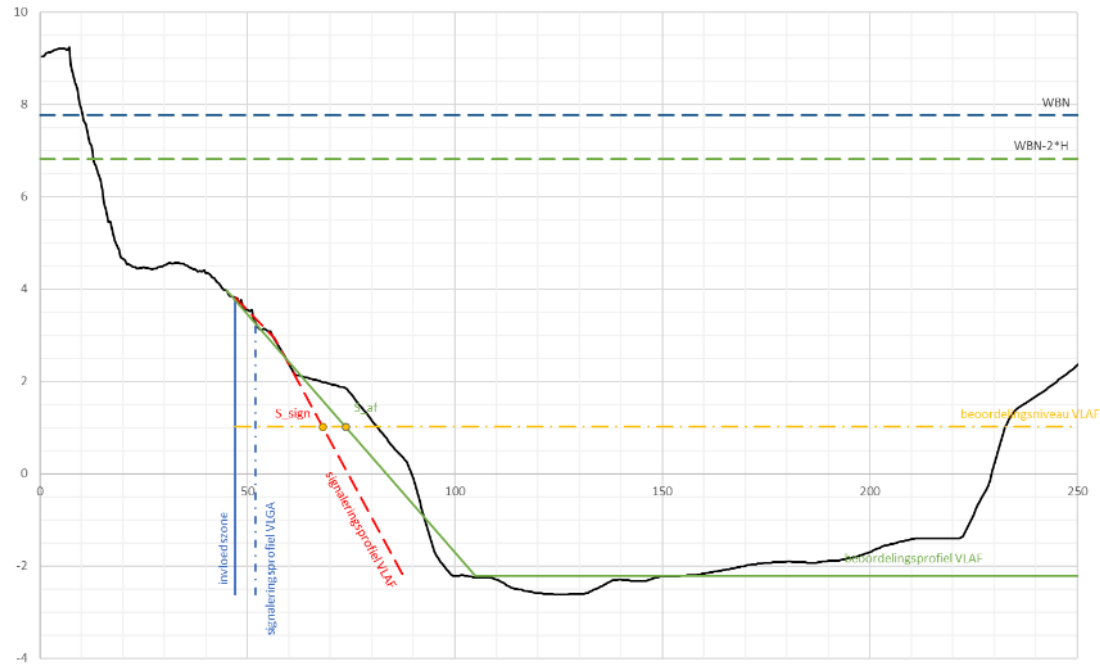


F.7 Dijkpaal 161

F.8 Dijkpaal 177

Beoordeling Voorland dijkpaal 177

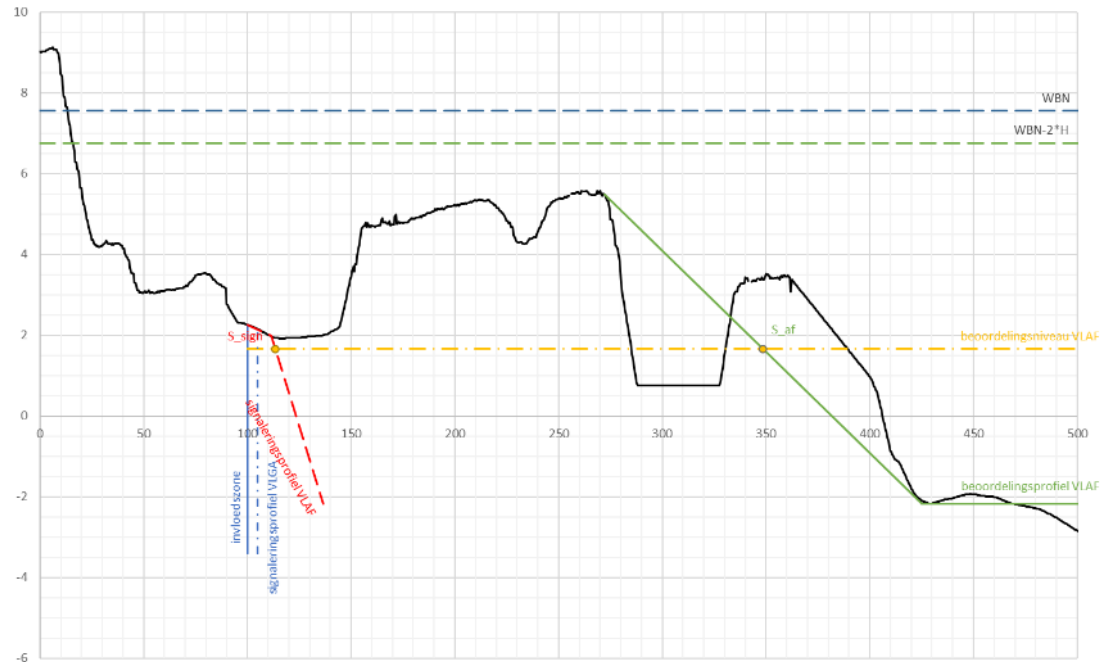
Beoordeling Voorland dijkpaal 194



F.9 Dijkpaal 194

F.10 Dijkpaal 203

Beoordeling Voorland dijkpaal 203



Bijlage G Gevoeligheidsanalyse POP

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op de geoptimaliseerde STBI sommen; DP106, DP113, DP156(diep), DP172(Diep), DP190 en DP196. De hoge en lage POP-waarden zijn bepaald aan de hand van “deskundig oordeel” en is opgesomd in het eerste tabel van Figuur G-1. De gevoeligheid is bepaald ten opzichte van de alternatieve POP-waarden gebruikt in het NKO. Er zijn 4 scenario's verondersteld waarin steeds het aantal lagen waarin de POP-waarde verhoogd/verlaagd wordt, toeneemt (tabellen 2&3 in Figuur G-1). Hiermee kan de gevoeligheid per laag benaderd worden. De toename vindt plaats van ondiep naar diep.

Voor de sommen gelden de uitgangspunten van het NKO, waarbij alleen de POP-waarde is veranderd. De resultaten zijn gevisualiseerd aan de hand van een Tornado Chart, een balkgrafiek met de oorsprong op de veiligheidsfactor voor “Pop-waarde gebruikt” en de dikte het verschil van de scenario’s. De resultaten en eventuele opmerkingen zijn opgenomen in de volgende paragrafen.

Laag	Pop waarde laag	Pop waarde, gebruikt	Pop waarde hoog
Klei dijksmateriaal ongedraineerd	17	20	23
Klei zwaar ongedraineerd	17	20	23
Klei licht ongedraineerd	13	15	17
Veen ongedraineerd	7	10	13
Klei licht onder veen		8	

Lage waarden

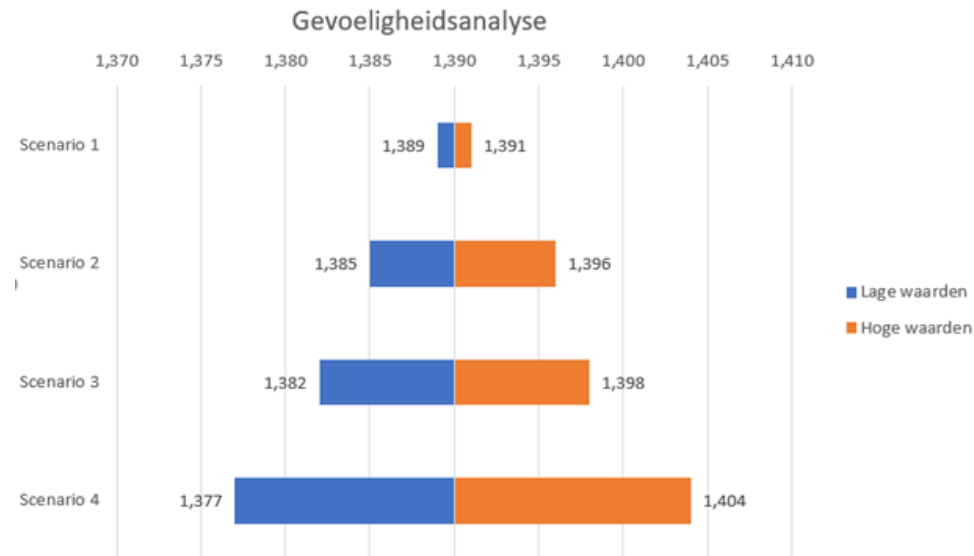
Laag	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Klei dijksmateriaal ongedraineerd	17	17	17	17
Klei zwaar ongedraineerd	20	17	17	17
Klei licht ongedraineerd	15	15	13	13
Veen ongedraineerd	10	10	10	7
Klei licht onder veen	8	8	8	8

Hoge waarden

Laag	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Klei dijksmateriaal ongedraineerd	23	23	23	23
Klei zwaar ongedraineerd	20	23	23	23
Klei licht ongedraineerd	15	15	17	17
Veen ongedraineerd	10	10	10	13
Klei licht onder veen	8	8	8	8

Figuur G-1: POP-waarden gebruikt in de gevoeligheidsanalyse.

DP190

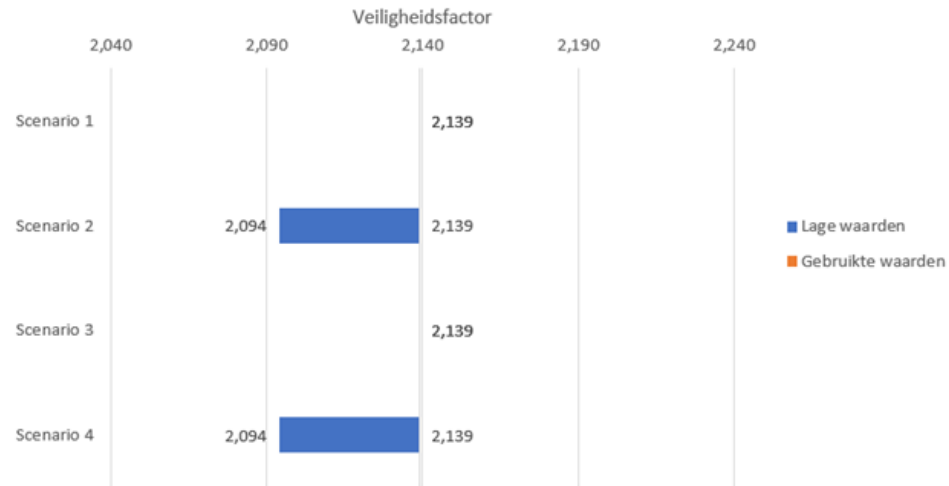


Een verlaging van alle POP-waarden (scenario 4) resulteert in 0.013 (0.9%) reductie in veiligheidsfactor. Scenario voldoet met 1.377 aan de eis van 1.37.

De grafiek is symmetrisch. Dit impliceert dat een eenzelfde verhoging en verlaging van de POP-waarden dezelfde verhoging of verlaging van de veiligheidsfactor veroorzaakt. Daarom is er voor de andere dwarsprofielen een analyse met alleen de lage waarden voldoende bevonden.

DP106

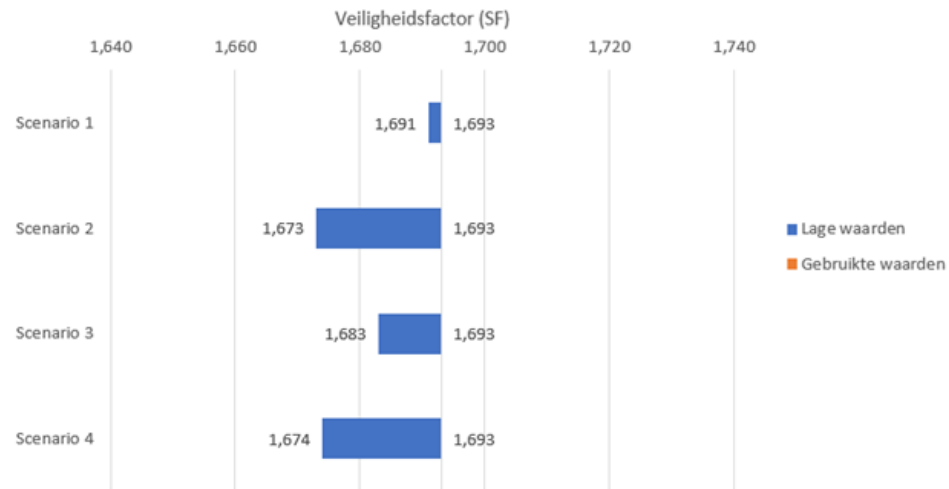
Gevoeligheidsanalyse DP106



Klei, zwaar ongedraineerd is de enige laag waar het glijvlak door loopt. Scenario's 1&3 zijn niet uitgevoerd, omdat er geen Dijkmateriaal ongedraineerd en Klei licht ongedraineerd is geschematiseerd. De verlaging van de POP waarde resulteerde in een reductie van 0.045 (2,1%) in veiligheidsfactor.

DP113

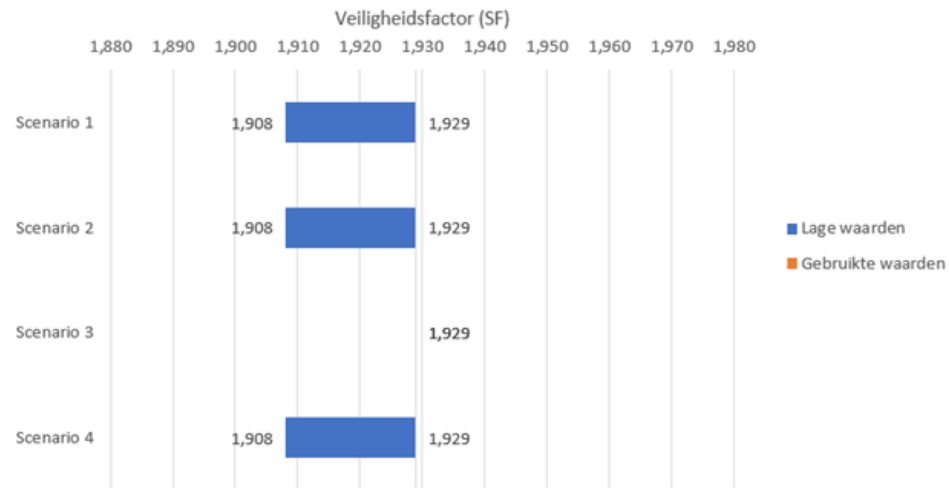
Gevoeligheidsanalyse DWP 113



In scenario 2 is het glijvlak met de laagste veiligheidsfactor bepaald. Deze heeft een verschil van 0.020 (1.2%) ten opzichte van de som met de waarden gebruikt in het NKO.

DP156 (diep)

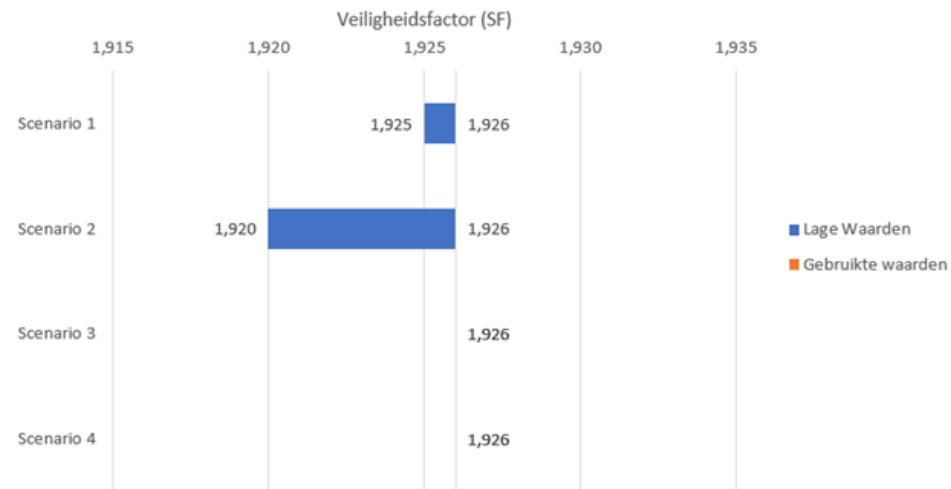
Gevoeligheidsanalyse DWP156



Dijksmateriaal ongedraineerd is de enige SHANSEP laag waar het glijvlak door loopt. Scenario 3 is niet beschouwd, omdat klei licht ongedraineerd niet is geschematiseerd. De verlaging van de POP-waarde resulteerde in een reductie van 0.021(1.1%) in veiligheidsfactor.

DP172(Diep)

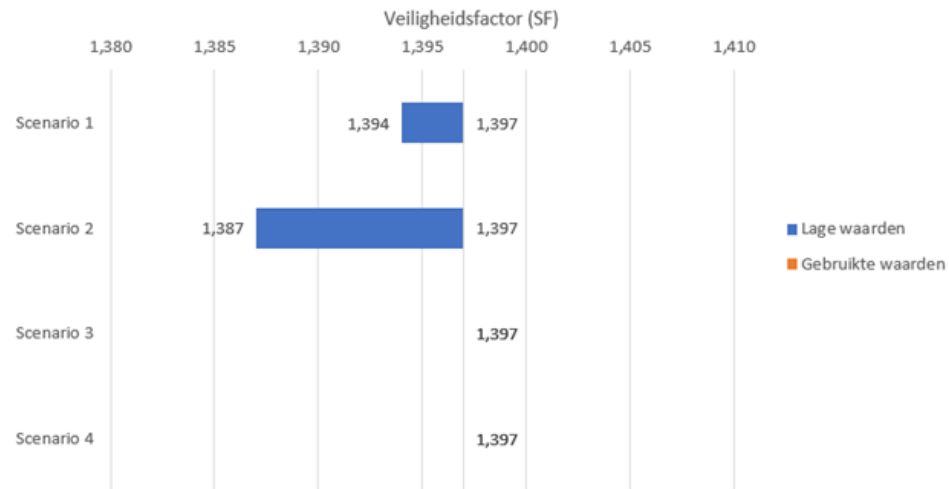
Gevoeligheidsanalyse DWP 172



Scenario's 3&4 zijn niet beschouwd, omdat veen ongedraineerd en Klei licht ongedraineerd niet voorkomen in de schematisatie. De reductie van de POP-waarden resulteert in een reductie van 0.006(0,3%) in veiligheidsfactor.

DP196 (diep)

Gevoeligheidsanalyse DWP 196



Scenario's 3&4 zijn niet beschouwd, omdat veen ongedraineerd en Klei licht ongedraineerd niet voorkomen in de schematisatie. De reductie van de POP-waarden resulteert in een reductie van 0.01(0,7%) in veiligheidsfactor.

Bijlage H Resultaten reststerkte analyse GEBU

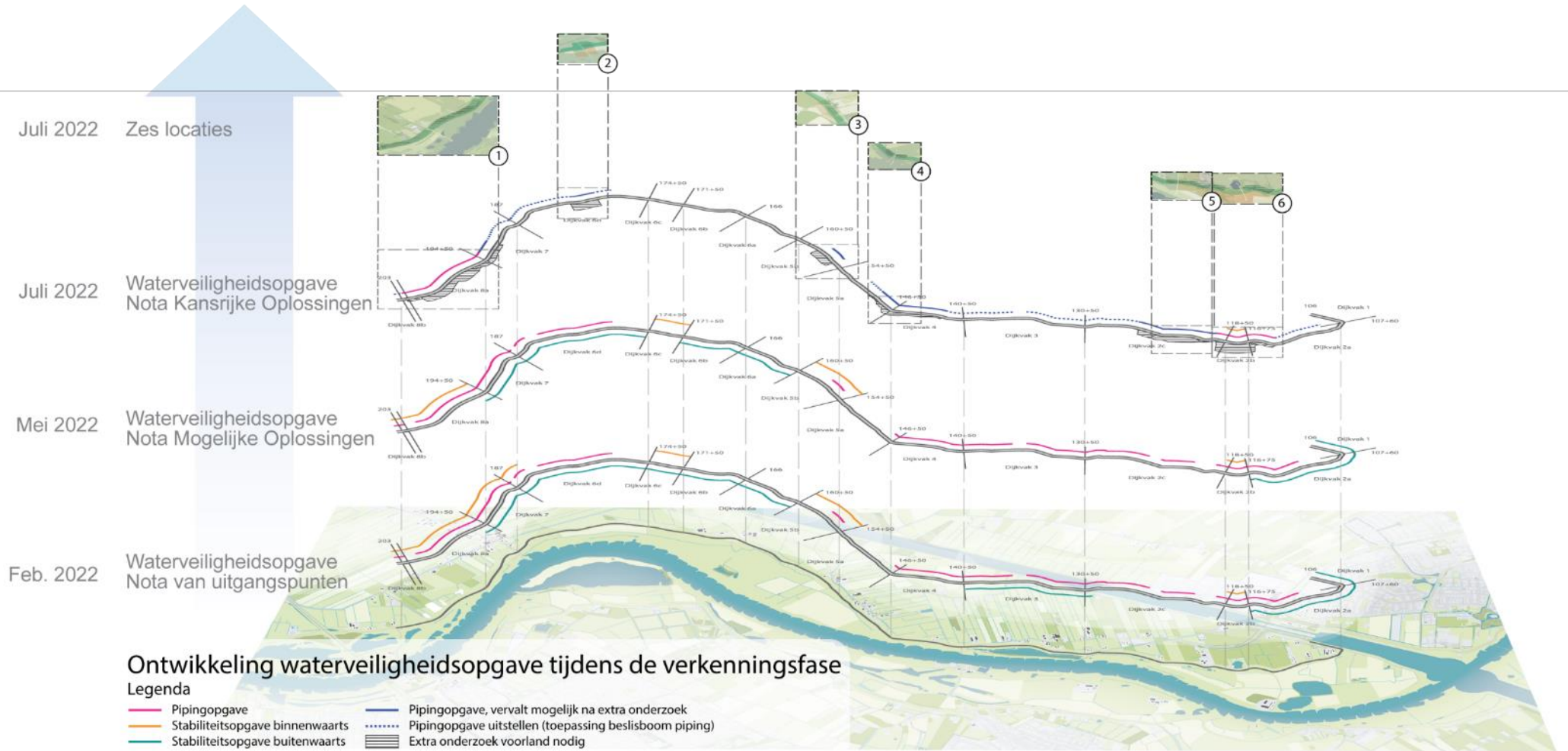
Dwarsprofiel	Waterstand [mNAP]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]	Haakse In-schaaringslengte [m]	Restbreedte [m]	Kruin Breedte [m]	Talud Buiten
117	8	0.74	3.31	0.39	6.8	7	4.32
118	7.5	0.84	3.51	0.77	2.9	5	3.53
119	8	0.81	3.51	0.68	1.5	4	3.67
120	7.5	0.85	3.55	0.97	1.3	5	3.09
121	7.5	0.95	3.78	0.93	1.9	4.5	3.78
122	7.5	0.82	3.49	0.74	2.2	4.5	3.49
123	7.5	0.82	3.47	0.79	4.3	7	3.33
124	7	1.08	3.62	1.52	1.9	7	2.80
125	7.5	0.93	3.73	0.69	4.9	5.5	4.40
126	7.5	0.95	3.75	1.20	1.7	6	3.13
127	7	0.92	3.69	1.42	0.8	6	2.59
128	7	0.92	3.68	1.21	2.1	6	2.96
129	6.5	1.003	3.4722	1.24	0.6	7.5	2.94
130	7.5	0.69	3.19	0.57	4.6	7	3.06
131	7	0.89	3.61	1.05	4.3	7.5	3.12
132	7	0.89	3.6	0.96	4.0	6.5	3.31
133	7	0.88	3.59	0.98	5.7	8.5	3.21
134	7.5	0.88	3.59	1.09	3.2	7.5	2.97
135	7	0.9	3.62	1.10	4.3	8	3.05
136	7	0.9	3.61	1.01	4.3	7.5	3.23
137	7	0.9	3.61	1.19	2.8	7	2.87
138	7	0.87	3.56	1.02	4.1	7.5	3.05
139	7	0.84	3.49	0.90	4.6	7.5	3.16

140	7	0.86	3.52	0.94	14.9	18	3.16
141	7	0.8	3.39	0.77	5.8	8	3.23
142	7.5	0.77	3.33	0.79	4.3	7.5	2.97
143	7.5	0.77	3.33	0.82	3.6	7	2.91
144	7	0.78	3.32	0.72	4.2	6.5	3.21
145	7	0.76	3.29	0.70	4.8	7	3.13
146	7	0.75	3.24	0.74	4.4	7	2.92
147	6.5	1.02	3.87	1.57	2.6	7.5	2.79
148	7	0.93	3.7	1.07	3.9	7	3.29
149	7	0.95	3.75	1.28	4.8	9	2.97
150	7	0.93	3.73	1.12	5.2	8.5	3.22
151	7	0.94	3.76	1.21	4.0	8	3.10
152	7	0.89	3.62	0.92	5.6	8	3.43
153	6.5	1.02	3.93	1.51	3.4	8	2.94
154	6.5	1.02	3.51	0.25	3.2	8	7.00
155	6.5	1.01	3.49	1.51	2.0	7.5	2.53
156	6.5	1.08	3.65	1.55	2.2	7	2.79
157	6.5	1.15	4.1	1.76	2.0	7	3.02
158	6.5	1.18	4.16	1.71	2.9	7.5	3.18
159	6.5	1.18	4.15	1.99	2.0	8	2.79
160	6.5	1.22	4.23	1.98	2.6	8.5	2.93
161	7	0.85	3.54	0.94	4.2	7	3.16
162	7	0.97	3.83	1.13	4.1	7	3.43
163	6.5	1.08	4.02	1.50	1.7	6	3.20
164	6.5	1.15	4.11	1.52	2.4	6.5	3.37
165	6.5	1.15	4.11	2.17	0.3	7.5	2.48
166	6.5	1.21	4.22	1.81	2.0	7.5	3.13
167	6.5	1.21	4.22	1.88	1.0	7	3.03
168	6.5	1.04	3.91	1.72	3.5	9.5	2.65
169	6.5	1.05	3.92	1.47	2.4	7	3.08

170	6.5	1.07	3.98	1.43	2.4	6.5	3.26
171	6.5	1.08	3.99	1.48	2.7	7	3.21
172	6.5	1.07	3.96	1.43	2.7	7	3.24
173	6.5	1.06	3.94	1.31	3.0	6.5	3.42
174	6.5	1.06	3.94	1.41	2.9	7	3.23
175	6.5	1.02	3.89	1.44	4.9	9.5	3.03
176	6.5	0.98	3.46	1.20	3.5	7.5	2.95
177	7	0.85	3.59	0.89	4.1	7	3.31
178	7	0.75	3.41	0.65	4.7	7	3.38
179	7	0.75	3.4	0.72	3.7	6.5	3.15
180	6.5	0.84	3.24	0.91	3.2	6.5	2.87
181	7	0.71	3.31	0.65	7.8	10.5	3.06
182	8	0.33	2.02	0.06	5.3	7	3.44
183	7	0.67	3.25	0.54	4.0	6.5	3.09
184	8	0.26	2.05	0.23	3.8	6	3.58
185	7	0.65	3.23	0.46	5.1	7	3.25
186	7	0.65	3.23	0.43	7.3	9	3.36
187	5	0.79	3.16	0.21	4.3	8.5	5.99
188	7	0.62	3.13	0.39	5.5	7	3.21
189	7.5	0.54	2.57	0.13	6.5	7.5	3.47
190	7	0.6	3.07	0.36	5.0	6.5	3.13
191	7	0.61	3.11	0.35	5.0	6.5	3.29
192	7	0.59	3.07	0.30	6.1	7	3.34
193	6	0.72	3.02	0.72	4.7	7.5	2.62
194	6.5	0.66	2.85	0.48	4.5	6.5	2.81
195	6.5	0.66	2.84	0.46	4.2	6	2.87
196	5.5	0.88	3.32	0.89	4.7	6	3.15
197	5.5	0.88	3.32	1.03	4.3	7	2.84
198	6	0.79	3.15	0.73	4.8	6.5	3.05
199	7.5	0.37	2.14	0.02	4.8	6	2.94

200	6.5	0.65	2.82	0.48	4.4	6.5	2.73
201	6.5	0.77	3.08	0.78	3.0	6	2.76
202	6.5	0.74	3.32	0.73	4.2	6.5	2.98
203	6.5	0.74	3.33	0.71	4.6	7	3.06

Bijlage I Ontwikkeling veiligheidsscope in de tijd



Bijlage J Ontwikkeling pipingscope in de tijd

w.v.p. = watervoerend pakket

t.z.l. = tussen zandlaag

t.t. oordeel = tussentijdse oordeel

Oordeel STPH									
Dijk- paal	reguliere beoordeling + voorlandonderzoek			beslisboom piping (H1&H2)			Dgeo-flow		
	w.v.p.	t.z.l.	subtotaal	w.v.p.	t.z.l.	subtotaal	w.v.p.	t.z.l.	eindoordeel
106	voldoet	-	voldoet			voldoet			voldoet
107	voldoet	-	voldoet			voldoet			voldoet
108	voldoet	-	voldoet			voldoet			voldoet
109	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
110	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
111	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
112	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
113	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
114	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
115	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
116	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
117	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
118	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
119	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
120	voldoet	voldoet	voldoet			voldoet			voldoet
121	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
122	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
123	voldoet	-	voldoet			voldoet			voldoet
124	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.

125	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
126	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
127	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
128	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
129	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	f.w.n.m.	f.w.n.m.		f.w.n.m.
130	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	f.w.n.m.	f.w.n.m.		f.w.n.m.
131	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
132	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
133	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
134	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
135	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
136	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
137	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
138	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
139	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
140	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
141	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
142	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
143	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
144	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet
145	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
146	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
147	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
148	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
149	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
150	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
151	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
152	voldoet	voldoet	voldoet			voldoet		voldoet
153	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
154	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.

155	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
156	voldoet	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
157	voldoet	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
158	voldoet	voldoet	voldoet			voldoet		voldoet
159	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
160	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
161	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
162	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
163	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
164	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
165	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
166	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
167	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
168	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
169	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
170	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
171	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
172	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
173	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
174	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
175	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
176	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
177	voldoet	-	voldoet			voldoet		voldoet
178	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
179	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet	voldoet
180	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet	voldoet
181	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
182	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
183	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.
184	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.		f.w.n.m.

185	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
186	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
187	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
188	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
189	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
190	voldoet niet	-	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
191	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
192	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet	f.w.n.m.
193	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet	f.w.n.m.
194	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.
195	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
196	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
197	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
198	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
199	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
200	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
201	voldoet niet	-	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet
202	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	f.w.n.m.	voldoet niet	voldoet niet		voldoet niet	voldoet niet
203	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	f.w.n.m.		f.w.n.m.			f.w.n.m.