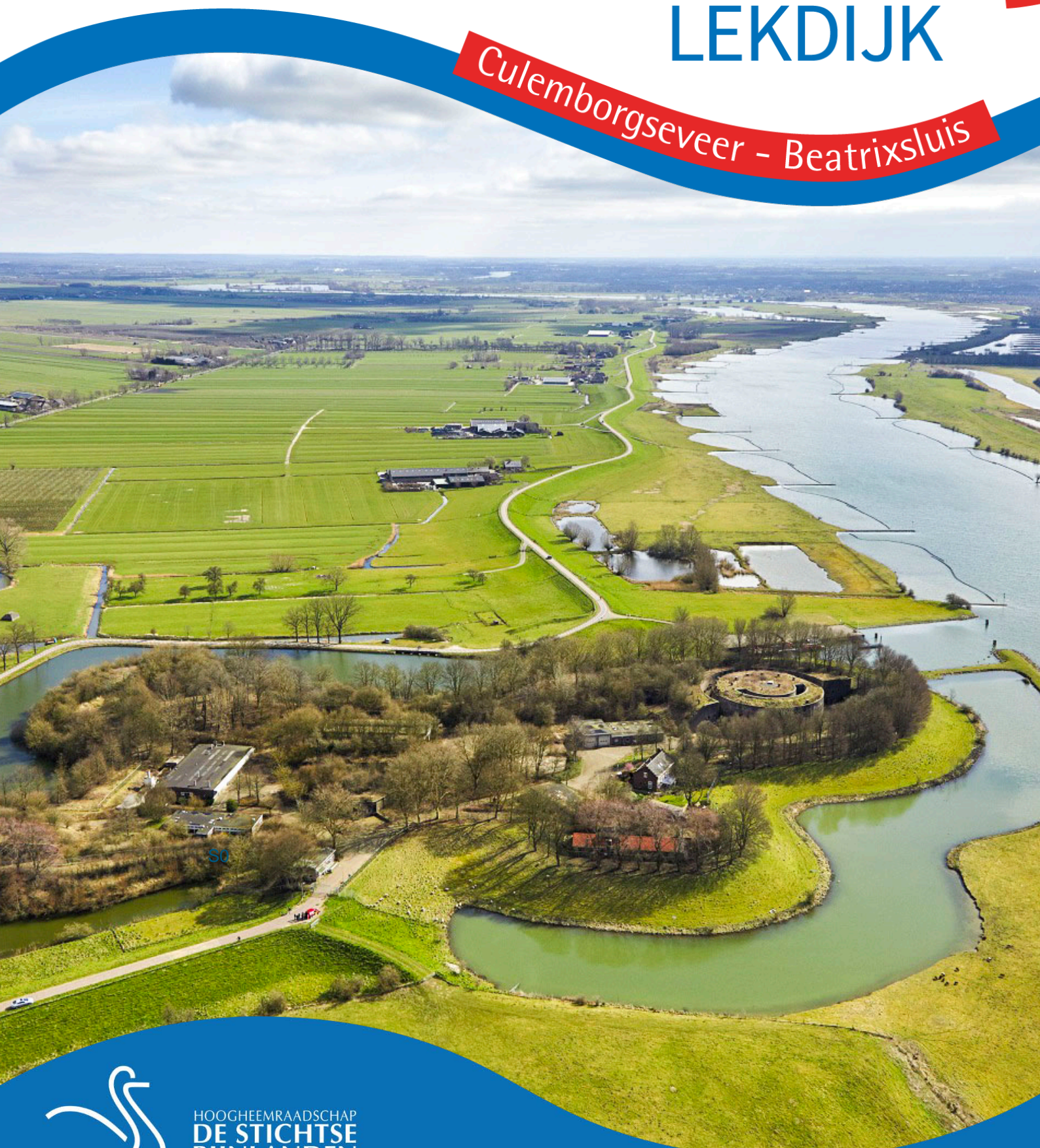


Aanscherping veiligheidsanalyse CUB

STERKE LEKDIJK

Culemborgseveer - Beatrixsluis



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

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

STERKE LEKDIJK

Titel Aanscherping veiligheidsanalyse CUB
Kenmerk SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0138
Versie 2.0
Datum 1-3-2021
Projectnaam Dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluizen
Projectnummer BF5981

Opgesteld door:

G. van Boven
M. Vollering
N. Stoop
J. Hockx

Datum

1-3-2021

Handtekening



Gecontroleerd door

J. Hockx
G. van Goor
W. Halter
A. Wiggers

Datum

1-3-2021

Handtekening



Vrijgegeven door:

E. Arnold

Datum

1-3-2021

Handtekening



Inhoud

1	Projectomschrijving	1
1.1	Sterke Lekdijk	1
1.2	Deelproject Dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluizen	1
1.3	Doel van deze rapportage	3
2	Beoordeling Hoogte	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Analyse overslagdebiet	5
2.3	Vergelijk met voorgaande beoordeling	8
2.4	Conclusies	10
3	Beoordeling macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Dijkvakindeling	12
3.3	Proevenverzameling sterkteparameters	14
3.4	Schematisatie freatische lijn en stijghoogte	15
3.4.1	Beschikbare peilbuismetingen	15
3.4.2	Responsanalyse van peilbuismetingen	16
3.4.3	Analyse maatgevende stijghoogten (responsfactoren)	18
3.4.4	Schematisering verloop waterspanningen in watervoerend pakket	19
3.4.5	Schematisering verloop waterspanningen in het samendrukbare lagenpakket	20
3.4.6	Schematisering freatische lijn val na hoog water	21
3.5	Berekeningsuitgangspunten	21
3.5.1	Schematisering freatische lijn/stijghoogte dagelijkse omstandigheden	22
3.5.2	Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit binnenwaarts	22
3.5.1	Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit binnenwaarts bij significante golfoverslag	23
3.5.2	Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit buitenwaarts	24
3.5.3	Onderbouwing schematiseringsfactor	24
3.5.4	Berekeningsuitgangspunten	28
3.5.5	Maatgevende belastingsituaties	29
3.6	Opbarstveiligheid deklaag	29
3.7	Berekeningsresultaten beoordeling binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit	30
3.8	Conclusies en aanbevelingen	32
4	Beoordeling piping	37
4.1	Inleiding	37
4.1.1	Randvoorwaarden en uitgangspunten	37
4.1.2	Schematiseringsfactoren	39
4.1.3	Beoordeling opbarsten	40
4.1.3.1	Analyse	40

4.1.3.2	Resultaat	41
4.1.4	Beoordeling heave	42
4.1.4.1	Analyse	42
4.1.4.2	Resultaat	42
4.1.5	Beoordeling piping	43
4.1.5.1	Analyse	43
4.1.5.2	Resultaat	44
4.1.6	Assemblage deelfaalmechanismen	45
4.1.7	Gevoeligheidsanalyse	46
4.1.8	Vergelijk met voorgaande beoordeling	48
4.1.9	Conclusies en aanbevelingen	50
5	Beoordeling microstabiliteit	52
5.1	Inleiding	52
5.2	Beoordeling	52
5.3	Conclusie	53
6	Beoordeling grasbekleding	54
6.1	Inleiding	54
6.2	Buitentalud	54
6.2.1	GEBU	54
6.2.1.1	Eenvoudige toets grasbekleding erosie buitentalud	54
6.2.1.2	Gedetailleerde toets grasbekleding erosie buitentalud	55
6.2.1.3	Toets op maat grasbekleding erosie buitentalud	59
6.2.2	GABU	65
6.2.2.1	Eenvoudige toets	65
6.3	Binnentalud	66
6.3.1	GEKB	66
6.3.2	GABI	66
6.3.2.1	Eenvoudige toets	66
6.4	Conclusies	69
7	Stabiliteit steenzetting	71
7.1	Inleiding	71
7.2	Analyse	71
7.3	Resultaat	73
8	Beoordeling Fort Honswijk	74
8.1	Verholen inundatiesluis	74
8.1.1	Hoogte	75
8.1.2	Piping en heave	75

8.1.3	Sterkte en stabiliteit	76
8.1.4	Macrostabieliteit binnenwaarts	78
8.2	Grondwal	79
8.2.1	Hoogte	79
8.2.2	Piping	80
8.2.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	82
8.2.4	Macrostabieliteit buitenwaarts	83
8.2.5	Bomen op grondwal (NWObo)	85
8.3	Groene dijk	88
8.3.1	Hoogte	89
8.3.2	Piping	89
8.3.3	Macrostabieliteit binnenwaarts	89
8.3.4	Macrostabieliteit buitenwaarts	90
8.4	Conclusies en aanbevelingen	91

9	Eindconclusie van de veiligheidsanalyse	92
	Bijlagen	96
	Bijlage A: Rapportage invloed kruinhoogte op overslag en macrostabiliteit	98
	Bijlage B: Factsheets per dijkvak	99
	Bijlage C: Onderbouwing keuze 15 maatgevende profielen	100
	Bijlage D: Gedraineerde grondparameters klei	103
	Bijlage E: Rapportage bepaling POP waarden CUB	104
	Bijlage F: Overzicht alle beschikbare peilbuizen	105
	Bijlage G: Beschikbare puilbuismetingen	106
	Bijlage H: Responsanalyse	107
	Bijlage I: Overzicht beschikbare peilbuizen	122
	Bijlage J: Peilbuismetingen Inpijn-Blokpoel	123
	Bijlage K: Berekening opbarstveiligheid deklaag	124
	Bijlage L: Stabiliteitsberekeningen	125
	Bijlage M: Schematiseringsfactor piping	126
	Bijlage N: Berekeningsresultaten pipinganalyse	127
	Bijlage O: Uitgangspunten damwandberekening verholen inundatiesluis	128
	Bijlage P: Damwandberekening verholen inundatiesluis	129
	Bijlage Q: GEBU: resultaten reststerkte berekeningen graserosie buitentalud	130
	Bijlage R: Steentoets	131
	Bijlage S: Gevoeligheidsanalyse piping voor toename stijghoogte in watervoerende pakket	132
	Bijlage T: Gevoeligheidsanalyse stabiliteit binnenwaarts voor toename stijghoogte in watervoerende pakket	135
	Bijlage U: Plaxis beoordeling kadeconstructie buitenteen Fort Honswijk (STBU)	137
	Bijlage V: Vergelijking bepaling gewicht van deklaag	138

1 Projectomschrijving

1.1 Sterke Lekdijk

De Lekdijk beschermt een groot deel van Midden- en West-Nederland tegen overstroming. Als de Lekdijk doorbreekt kan een groot deel van de Randstad overstromen, tot Amsterdam aan toe. De dijk voldoet niet aan de veiligheidsnormen en daarom versterkt Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) de dijk tussen Amerongen en Schoonhoven, over een totale lengte van 55 km. Zo is de dijk ook in de toekomst voldoende veilig en voldoet hij aan de normen die sinds 2017 gelden. De versterking van de Lekdijk is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma. Hierbij werken de waterschappen samen met het Rijk om dijken –en dus Nederland -veilig te houden. De dijkversterking tussen Amerongen en Schoonhoven is een te grote klus om ineens te doen. Daarom is dit werk verdeeld in 6 deelprojecten.



Figuur 1.1: Deelprojecten Sterke Lekdijk

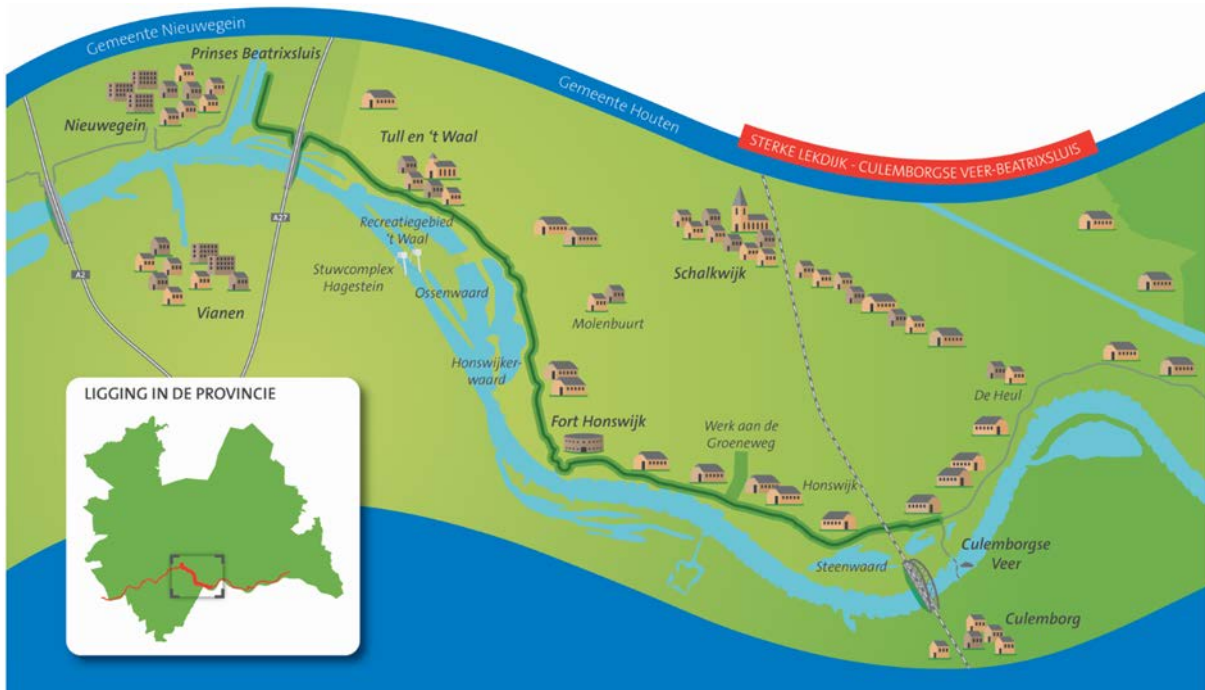
1.2 Deelproject Dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluizen

Het dijktraject van het project Culemborgse Veer – Beatrixsluis (afgekort als CUB) is 10,8 km lang. Van oost naar west loopt het traject langs de noordkant van de Lek van de veerweg van het Culemborgse veer (dijkpaal 204) tot aan de Beatrixsluis van het Lekkanaal (dijkpaal 306). Het traject doorkruist de gemeenten Houten en Nieuwegein, in de provincie Utrecht, en ligt in het zuiden van het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

Voor een groot deel wordt de dijk geflankeerd door het landelijke gebied van het Eiland van Schalkwijk. Dit is het gebied tussen het Amsterdam-Rijnkanaal, het Lekkanaal en de rivier de Lek. Buitendijks wordt het dijktraject begrensd door de Steenwaard tegenover Culemborg, de Honswijkerwaard met fort Honswijk en recreatiegebied 't Waal met de Honswijkerplas bij het stuwcomplex Hagestein. De Ossenwaard sluit het buitendijkse gebied ter hoogte van Nieuwegein af.

De doelstelling van het project Culemborgse Veer – Beatrixsluis is gelijk aan de door het bestuur van het waterschap vastgestelde doelstelling van het overkoepelde project Sterke Lekdijk:

“Een waterveilige, toekomstbestendige en beheerbare waterkering te realiseren, op basis van een zo breed mogelijk bestuurlijk en maatschappelijk gedragen projectplan, goed ingepast in de omgeving, met zo maximaal mogelijk maatschappelijke meerwaarde en een hoge mate van innovatie en duurzaamheid.”



Figuur 1.2: Ligging deelproject CUB

In figuur 1.3 is de ligging van deelproject CUB weergegeven waarin tevens de nummering van alle dijkpalen zijn opgenomen.



Figuur 1.3: Ligging deelproject CUB met locaties van dijkpalen (dijkpaal 306 in het westen tot 204 in het oosten)

1.3 Doel van deze rapportage

In deze rapportage is de aanscherping van de veiligheidsanalyse van het deelproject Culemborgse Veer – Beatrixsluis opgenomen.

In het begin van de verkenningsfase van dit project is een bundeling van de veiligheidsopgave opgesteld [1] die is gebaseerd op de vier veiligheidsstudies waarin de waterveiligheid van het deelproject CUB in kaart is gebracht in de periode 2015-2019. Daarnaast is voor de bijzondere waterkerende constructies rondom Fort Honswijk eveneens een veiligheidsopgave opgesteld [2]. Deze beide rapportages vormen het startpunt voor de scope van de verkenningsfase.

De aanscherping van bovengenoemde veiligheidsopgave bestaat uit de toepassing van de volgende aanvullende informatie:

- Nieuwe berekeningsuitgangspunten die zijn vastgelegd in de Technische uitgangspuntennotitie (TUN) [3];
- Aanvullend grond- en laboratoriumonderzoek [4] en [5] uitgevoerd in 2019;
- Peilbuismetingen die zijn uitgevoerd in de periode 2019-2020 [6].

Naast het gebruik van de aanvullende informatie worden de berekeningen meer gedetailleerd uitgevoerd (berekening van meerdere dwarsprofielen). In de aangescherpte veiligheidsopgave wordt het veiligheidsprobleem van de dijk voor de beoordelingssporen macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) en macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) op dijkvlakniveau gepresenteerd. Voor de beoordelingssporen

hoogte (HT) en piping (STPH) wordt de analyse per dijkpaal uitgevoerd. Daarnaast worden de aanwezige bijzondere waterkerende constructies rondom Fort Honswijk in de vorm van damwanden beoordeeld.

In versie 2 van deze rapportage zijn de beoordelingssporen grasbekleding erosie buitentalud (GEBU), grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU), grasbekleding afschuiving binnentalud (GEKB), grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI), stabiliteit steenzetting (ZST) en microstabiliteit (STMI) toegevoegd. Daarnaast is een beoordeling van de kadeconstructie bij Fort Honswijk met Plaxis toegevoegd.

De toetssporen behorende bij het faalmechanisme Voorland (VL) zijn niet in deze rapportage opgenomen. Hiervoor wordt verwezen naar de bestaande beoordeling uit 2017 [7].

2 Beoordeling Hoogte

In dit hoofdstuk is de beoordeling van de minimaal benodigde kruinhoogte opgenomen. De complete beoordeling is opgenomen in bijlage A. De belangrijkste onderdelen uit deze beoordeling zijn opgenomen in dit hoofdstuk.

2.1 Inleiding

Conform de TUN [3] dient de waterkering ontworpen te worden op een maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m. In dit hoofdstuk wordt de hoogte van de dijk beoordeeld waarbij een vergelijk wordt gemaakt tussen de bestaande hoogte van de Lekdijk op het deelproject CUB en de benodigde hoogte bij de verschillende overslagdebieten voor het zichtjaar 2073.

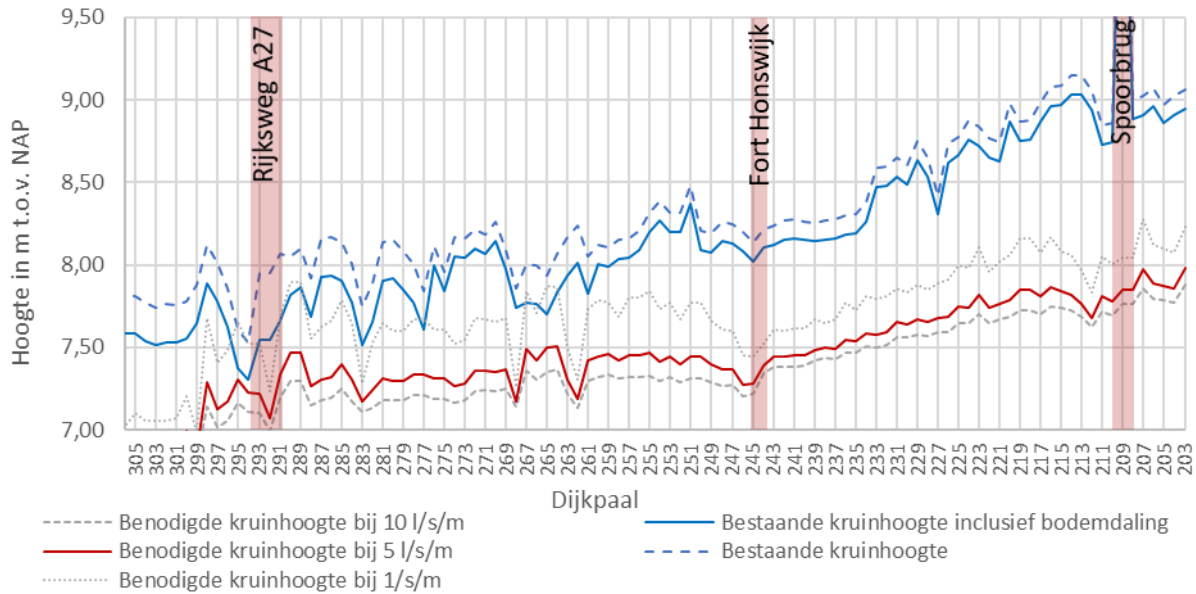
Daarnaast wordt een gevoeligheidsanalyse van de benodigde hoogte uitgevoerd voor de overslagdebieten 1 l/s/m en 10 l/s/m. Deze analyse is noodzakelijk om te beoordelen of bij het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts een verzadigde dijk beschouwd dient te worden en om te bepalen in hoeverre de bekleding overslagbestendig moet worden gemaakt. De bestaande kruinhoogte is afgeleid uit AHN3 hoogtedata waarbij in elk dwarsprofiel de maximale waarde van de hoogte is gehanteerd.

2.2 Analyse overslagdebiet

Door HDSR zijn de benodigde kruinhoogtes bepaald bij 3 verschillende overslagdebieten [8] en [9]. Het betreft de volgende debieten: 1,0 l/s/m, 5,0 l/s/m en 10,0 l/s/m. De benodigde kruinhoogte bij de verschillende overslagdebieten voor het zichtjaar 2073 is bepaald middels lineaire interpolatie tussen de zichtjaren 2050 en 2100.

Voor de beoordeling van de grasbekleding, en in het bijzonder GABI (Gras Afschuiven Binnentalud) is het noodzakelijk dat ook de benodigde kruinhoogte voor een overslagdebiet van 0,1 l/s/m bekend zijn. De randvoorwaarden en uitgangspunten die hiervoor zijn gebruikt zijn terug te vinden in paragraaf 6.3.2.1. Voor de beoordeling van de hoogte van de waterkering is deze data niet relevant is daarom in dit hoofdstuk ook niet gebruikt.

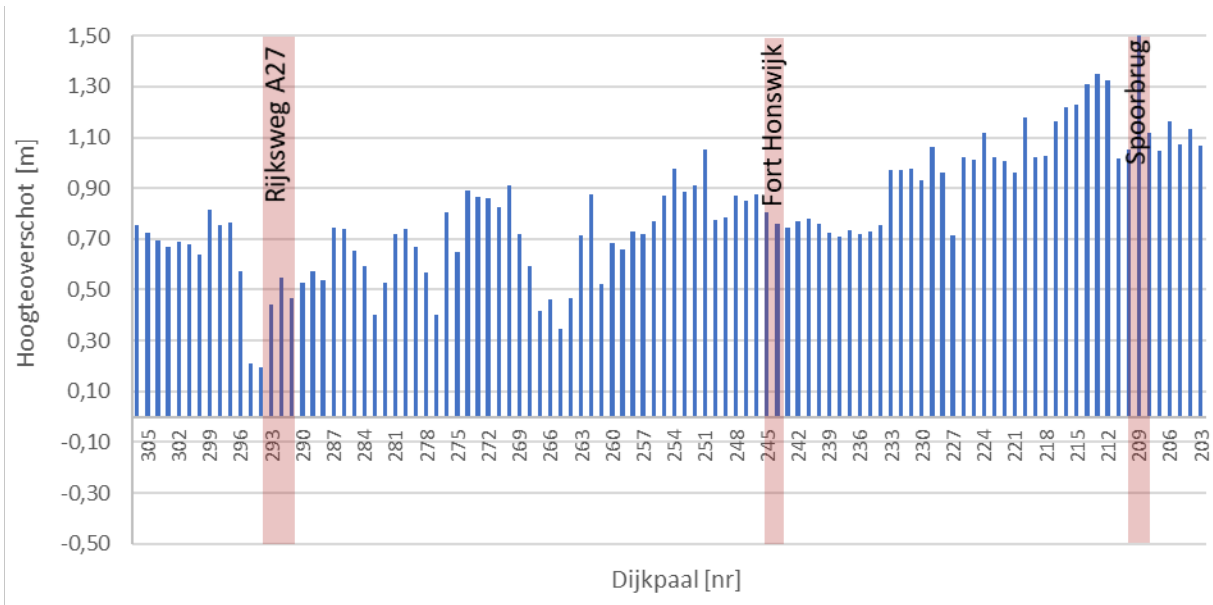
In figuur 2.1 zijn de benodigde kruinhoogtes per overslagdebiet grafisch weergegeven en afgezet tegenover de bestaande kruinhoogte van de waterkering voor het zichtjaar 2073. Bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte is rekening gehouden met de optredende bodemdaling (zie ook paragraaf 2.3 en bijlage A).



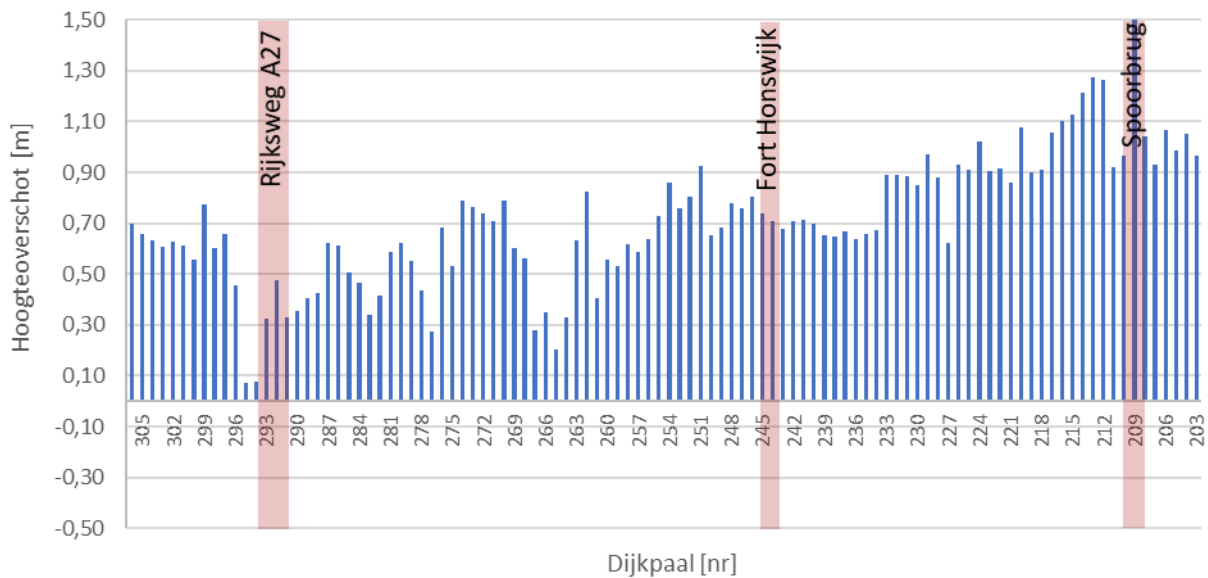
Figuur 2.1: Vergelijking van bestaande kruinhoogte en benodigde kruinhoogte bij diverse overslagdebieten voor zichtjaar 2073

In onderstaande figuur 2.2, figuur 2.3 en figuur 2.4 is ter verduidelijking het verschil tussen de kruinhoogte inclusief bodemdaling voor het zichtjaar 2073 met de benodigde kruinhoogte bij de verschillende overslagdebieten grafisch weergegeven.

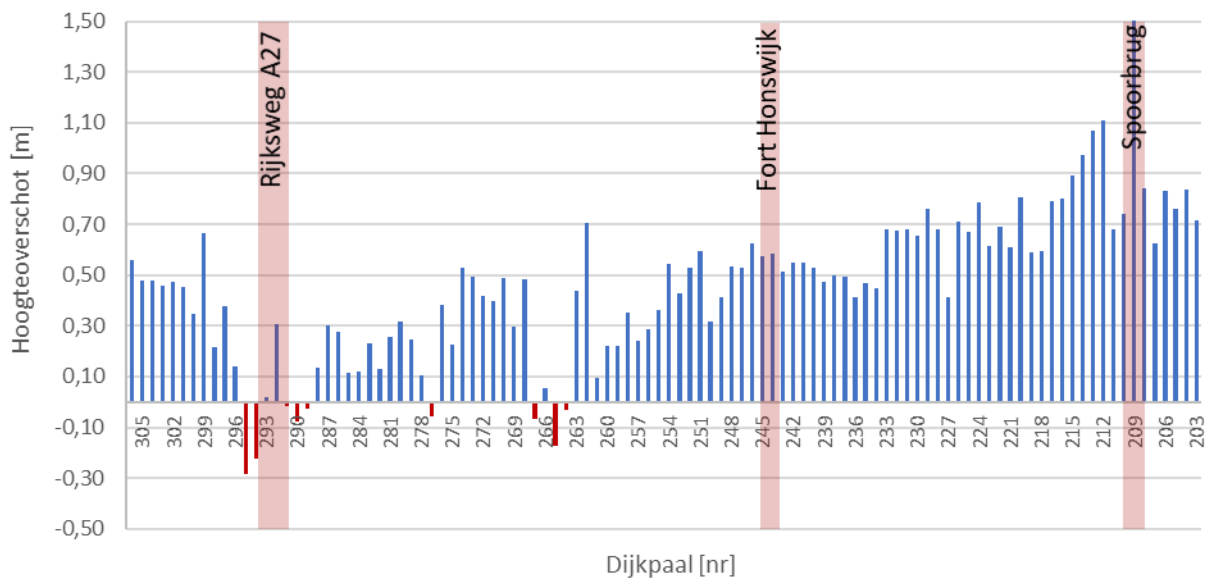
Het hoogteoverschot is gelijk aan het verschil tussen de bestaande kruinhoogte (inclusief bodemdaling) en de benodigde kruinhoogte gegeven een bepaald overslagdebiet.



Figuur 2.2: Verschil tussen bestaande kruinhoogte (incl. bodemdaling) en benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 10 l/s/m voor zichtjaar 2073



Figuur 2.3: Verschil tussen bestaande kruinhoogte (incl. bodemdaling) en benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5 l/s/m voor zichtjaar 2073

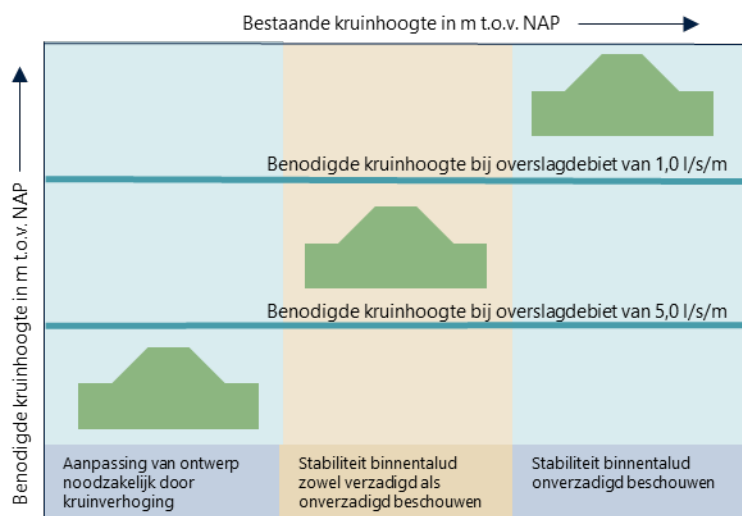


Figuur 2.4: Verschil tussen bestaande kruinhoogte (incl. bodemdaling) en benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 1 l/s/m voor zichtjaar 2073

Op basis van bovenstaande grafieken valt op te maken dat:

- Voor het gehele deelproject CUB geldt dat de bestaande kruinhoogte hoger is dan de benodigde kruinhoogte behorende bij een overslagdebiet van 5 l/s/m. Hieruit kan worden geconcludeerd dat voor het gehele deelproject CUB de bestaande kruinhoogte (inclusief autonome bodemdaling) voldoet en een lager overslagdebiet optreedt dan het maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m.
- De dijk wordt ontworpen voor een overslagdebiet van maximaal 5 l/s/m. Er zijn delen van het traject waar de huidige hoogte (inclusief autonome bodemdaling) hoger is dan de minimaal benodigde kruinhoogte voor dit overslagdebiet. Van deze trajecten is beschouwd of deze hoogte

lager is dan de benodigde hoogte bij een overslagdebiet van 1 l/s/m (figuur 2.4). Voor de delen waar dit het geval is, moet conform de KPR factsheet [10] bij de beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd worden beschouwd. Figuur 2.4 laat zien dat dit geldt voor de dijkpalen 264 en 265 (dijkvak 4a), 267 (dijkvak 3e), 277 (dijkvak 3c), 289, 290 en 291 (dijkvak 2c), 294 en 295 (dijkvak 2a). Voor deze dijkvakken dienen daarom bij de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit beide scenario's (onverzadigd en verzadigd binnentalud) te worden beschouwd. In figuur 2.5 is van bovenstaande beschrijving een overzicht gegeven. In dit figuur wordt de bestaande kruinhoogte vergeleken met de benodigde kruinhoogte gegeven een bepaald overslagdebiet.



Figuur 2.5: Bepaling ligging freatische lijn in binnentalud bij verschillende overslagdebieten en bestaande kruinhoogtes

Indien de bestaande kruinhoogte lager is dan de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m dan is de bestaande dijk te laag en dient een kruinverhoging te worden toegepast. In het geval de bestaande kruinhoogte tussen de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m of 1,0 l/s/m is gelegen dan dient het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd te worden geschematiseerd. Als de bestaande kruinhoogte hoger is dan de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m dan kan het binnentalud als onverzadigd worden beschouwd¹.

2.3 Vergelijk met voorgaande beoordeling

In een voorgaande veiligheidsbeoordeling (Dijkversterking Centraal Holland 2015 [11]) is ter plaatse van de rijksweg A27 een deel van de waterkering afgekeurd op hoogte. In voorliggende beoordeling van de hoogte voldoet de gehele waterkering. Om inzichtelijk te maken waarom nu tot een ander oordeel is gekomen zijn de verschillen tussen beide beoordelingen in tabel 2.1 weergegeven.

¹ Dit uitgangspunt is in lijn met KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4.

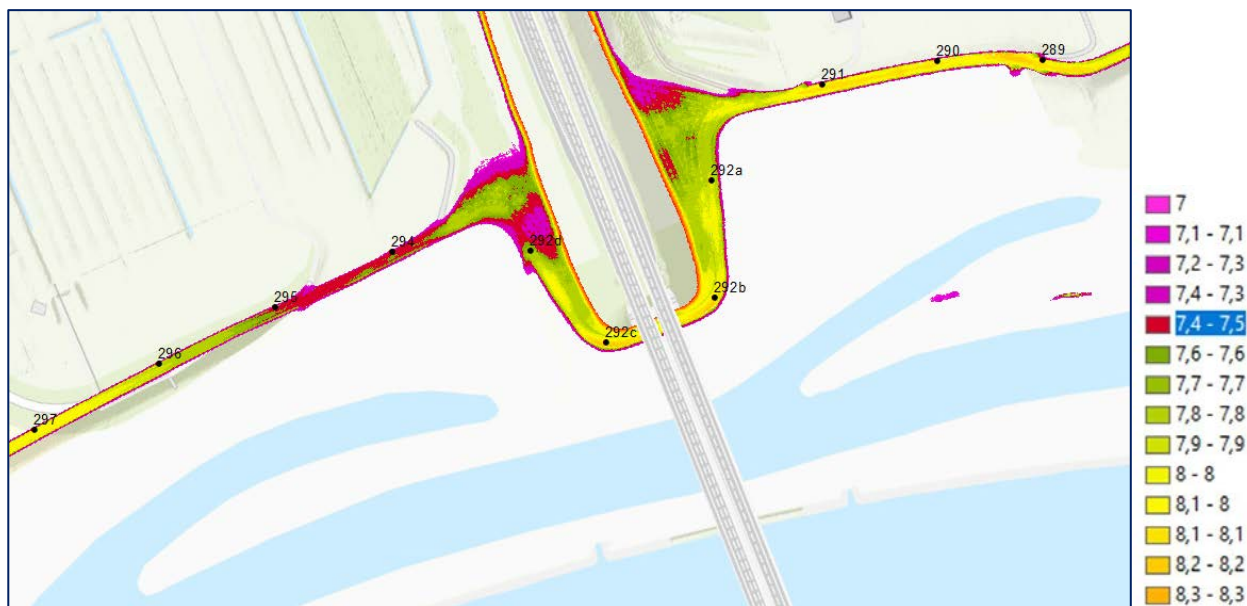
Tabel 2.1: Vergelijking tussen beoordeling 2015 en huidige beoordeling 2020

Beoordeling 2015 (zichtjaar 2023)				Beoordeling 2020 (zichtjaar 2073)			
Dijkpaal	HBN 10 l/s/m NAP [m]	Kruinhoogte (incl. bodemdaling) NAP [m]	Hoogte overschot [m]	Dijkpaal	HBN 5 l/s/m NAP [m]	Kruinhoogte (incl. bodemdaling) NAP [m]	Hoogte overschot [m]
				289	7,46	7,87	0,40
290	7,42	7,41	-0,02	290	7,46	7,82	0,36
				291	7,34	7,66	0,33
				292	7,07	7,54	0,48
				293	7,22	7,54	0,32
				294	7,23	7,30	0,08
				295	7,30	7,38	0,07
				296	7,17	7,63	0,45
				297	7,13	7,78	0,66
				298	7,29	7,89	0,60
				299	6,88	7,65	0,77
				300	6,99	7,55	0,56
				301	6,91	7,53	0,61
302	7,24	7,67	0,43	302	6,90	7,53	0,63

Uit de beoordelingsrapportages en tabel 2.1 kunnen de volgende verschillen worden gevonden:

- De beoordeling van 2015 is uitgevoerd bij een dijkpaal om de kilometer. Voorliggende beoordeling is uitgevoerd per dijkpaal.
- Er is verschil in de gehanteerde kruinhoogte:
 - In voorgaande beoordeling is uitgegaan van 0,5 cm bodemdaling per jaar. De bodemdaling in voorliggende analyse gaat veelal uit van 0,2 cm tot 0,4 cm. Bij 3 dijkpalen (291, 292 en 293) is hier 0,7 cm gehanteerd.
 - Hoogte van de waterkering is in voorgaande analyses gebaseerd op AHN2 (inwinningsjaar 2008). Deze analyse gaat uit van AHN3 (inwinningsjaar 2015).
 - In de beoordeling van 2015 is de minimale kruinhoogte gehanteerd op het traject dijkpaal 290-301. Vervolgens is deze ingevuld bij het berekende HBN behorende bij dijkpaal 290. De gehanteerde kruinhoogte bij dijkpaal 290 komt daarom niet goed overeen met de kruinhoogte die in de huidige beoordeling 2020 wordt gehanteerd;
- Er is een verschil in HBN:
 - De waterkering wordt ontworpen op een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. De beoordeling 2015 is uitgevoerd bij een overslagdebiet van 10,0 l/s/m;
 - De eerdere beoordeling is uitgevoerd met het zichtjaar 2023. Voorliggende beoordeling gaat uit van zichtjaar 2073;
 - In een beoordeling wordt uitgegaan van de signaleringswaarde. Voor een ontwerp wordt uitgegaan van de grenswaarde.

Tussen dijkpaal 294 en 295 is het laagste stuk waterkering in het traject dijkpaal 290-301 te vinden (zie figuur 2.6). De huidige hoogte (AHN3 2015) bedraagt hier tussen NAP 7,4 m en NAP 7,5 m. Dit komt overeen met de aangehouden waarde in de beoordeling van 2015 [11].



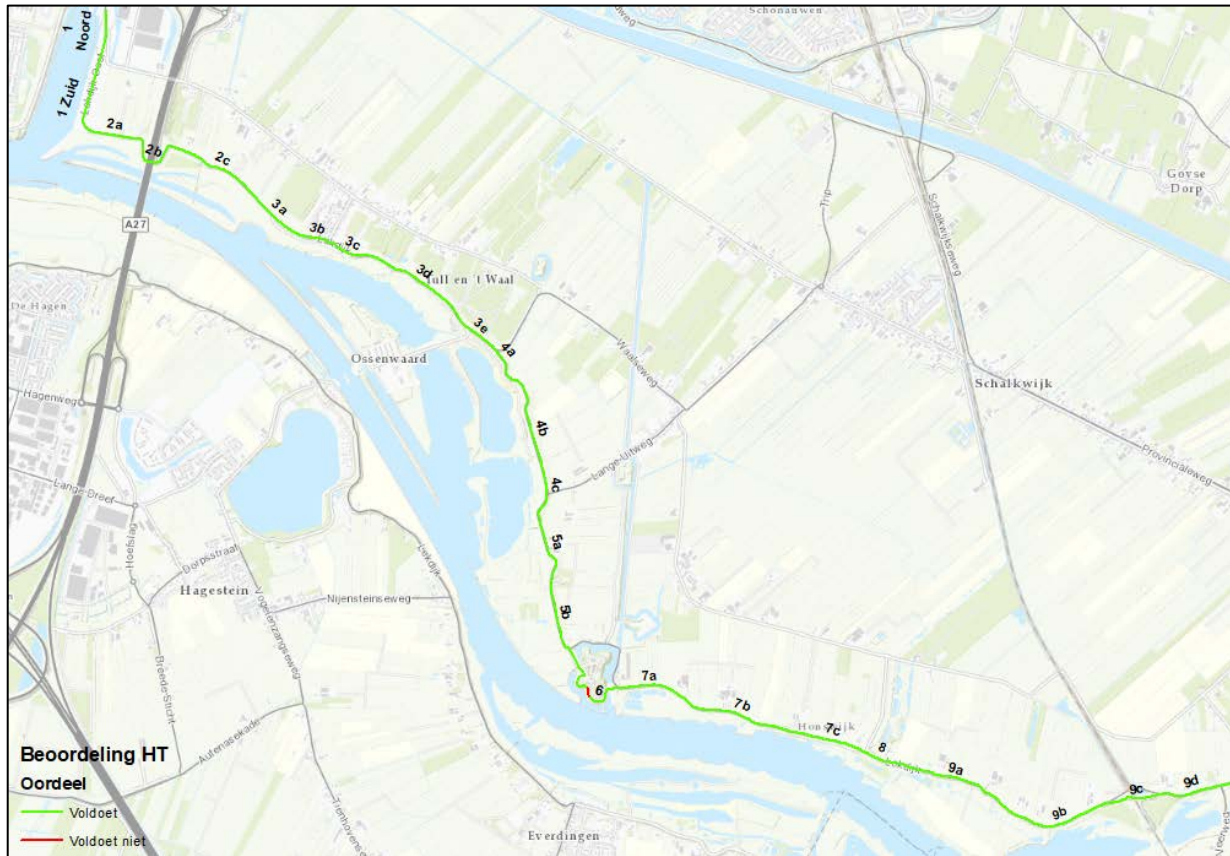
Figuur 2.6: Hoogte van de waterkering tussen dijkpaal 289 en 297 op basis van AHN3 (inwinningsjaar 2015).

2.4 Conclusies

In dit hoofdstuk is beoordeeld op welke locatie langs het deelproject CUB golfoverslag kan worden verwacht bij verschillende overslagdebieten. Op basis hiervan kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De dijk dient conform de TUN [3] ontworpen te worden op een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. Op het gehele deelproject CUB is er voor het zichtjaar 2073 voldoende overhoogte aanwezig zodat een lager overslagdebiet optreedt dan het maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m.
- Conform de KPR factsheet [10] moet bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m of groter bij de beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd worden beschouwd. Dit geldt voor de dijkpalen 264 en 265 (dijkvak 4a), 267 (dijkvak 3e), 277 (dijkvak 3c), 289, 290 en 291 (dijkvak 2c), 294 en 295 (dijkvak 2a). Voor deze dijkvakken dienen daarom bij de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit beide scenario's (onverzadigd en verzadigd binnentalud) te worden beschouwd.

In figuur 2.7 is het resultaat van de beoordeling van de hoogte grafisch weergegeven.



Figuur 2.7: Score beoordeling hoogte bij HBN van 5 l/s/m inclusief de autonome bodemdaling voor zichtjaar 2073

In figuur 2.7 is aangegeven dat een klein gedeelte rondom Fort Honswijk (dijkvak 6) niet voldoet voor hoogte. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van bomen op de kruin van de waterkering. In paragraaf 8.2.5 wordt hier verder op ingegaan.

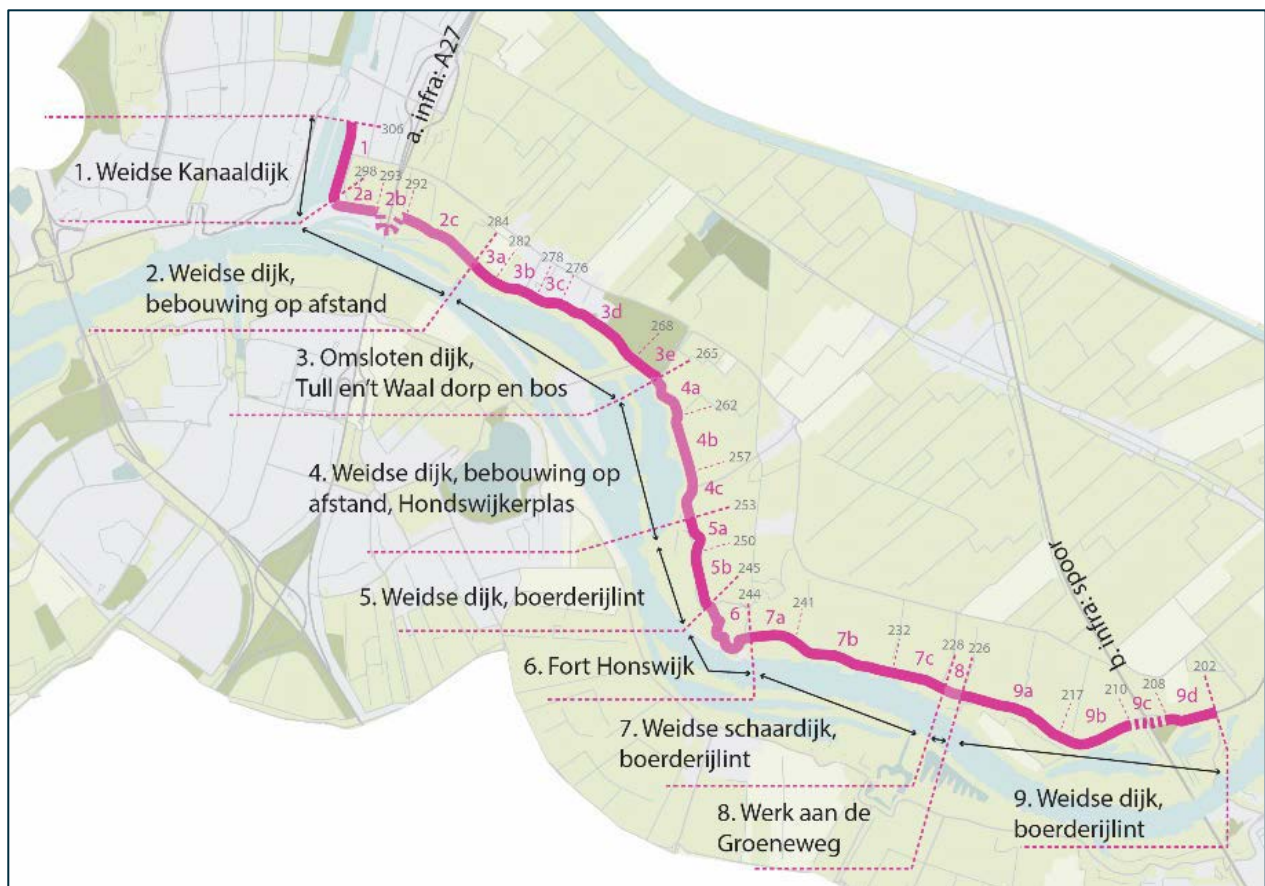
3 Beoordeling macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de beoordeling van de faalmechanismen macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts opgenomen. Hierbij wordt specifiek ingegaan op de onderbouwing voor de keuze van de maatgevende profielen per dijkvak. Verder worden de belangrijkste input parameters nader beschreven zoals de grondeigenschappen en de geohydrologische schematisaties. In principe zijn de berekeningen uitgevoerd volgens de Technische uitgangspuntennotitie (TUN) [3] die specifiek voor het deelproject CUB is opgesteld. Wanneer een andere invulling wordt gegeven aan deze uitgangspunten of een nadere toelichting op de gehanteerde uitgangspunten nodig is dan wordt dit expliciet vermeld.

3.2 Dijkvakindeling

Bij het vaststellen van de indeling voor dijkversterkingstraject CUB is gekozen om onderscheid te maken tussen hoofdvakken en sub-vakken. De hoofdvakken worden aangeduid als deeltrajecten en de sub-vakken worden aangeduid als dijkvakken. De dijk is vanuit omgeving en landschappelijk oogpunt opgeknipt in 9 trajecten (deeltraject 1 t/m 9). De nadere indeling in 23 dijkvakken is aangeduid door middel van letters (volgens het abc-principe) en is vastgelegd in de TUN [3].



Figuur 3.1: Deeltrajecten en dijkvakindeling voor CUB

De beoordeling voor het faalmechanisme macrostabiliteit is uitgevoerd voor 15 maatgevende dwarsprofielen. Om deze 15 maatgevende dwarsprofielen vast te stellen is eerst per dijkvak een

maatgevend dwarsprofiel bepaald. Hierbij is hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de factsheets die per dijkvak zijn opgesteld. Deze factsheets zijn opgenomen in bijlage B. In deze factsheets zijn per dijkvak kenmerkende onderdelen opgenomen zoals geometrie van de vorige dijkversterking, dwarsprofielen per dijkpaal op basis van AHN3 meetdata, aanwezigheid voorland en bodemopbouw.

Naast de factsheets is voor het vaststellen van de maatgevende dwarsprofielen per dijkvak tevens gebruik gemaakt van het automatisch berekenen van de macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts van alle dwarsprofielen per dijkpaal. Deze automatische berekeningen zijn gebaseerd op een automatische ondergrondschematisering op basis van de beschikbare geotechnische lengteprofielen ter plaatse van het voorland, kruin en binnenteen. Daarnaast is voor de geometrie gebruik gemaakt van AHN3 data. Nadrukkelijk wordt hierbij gesteld dat het automatisch berekenen van alle profielen geen definitieve exacte waarden voor stabiliteit geeft maar meer een indicatie kan geven voor zwakke plekken in de dijk. De resultaten van de automatische berekeningen kunnen hierbij worden gezien als een ondersteuning voor de bepaling van het maatgevend dwarsprofiel per dijkvak. Op basis van de in bijlage C opgenomen analyse zijn vervolgens 15 maatgevende profielen vastgesteld. De maatgevende profielen zijn opgenomen in tabel 3-1.

Tabel 3-1: Gehanteerde maatgevende dwarsprofielen per dijkvak

Dijkvak	Dijkpaal	Opmerking
9b+9d	205	
9c	209	
9a	224	
8	227	
7a+7c	231	
7b	235	
6	244+090	Profiel ter plaatse van inundatiesluis Fort Honswijk
	244+200	Profiel ter plaatse grondwal Fort Honswijk
	244+335	Profiel ter plaatse grondwal Fort Honswijk
	244+635	Profiel ter plaatse van de groene dijk (= toegangsweg naar Fort Honswijk)
5b	248	
4c+5a	255	
4a+4b	265	
3e	267	
3d	275	
3b+3c	280	
3a	283	
2c	287	
2b	n.v.t.	Grondlichaam landhoofd A27

2a	295	
1 zuid	-	Profiel Voorhavendijk
1 noord	-	Profiel Voorhavendijk

Naast de geselecteerde 15 maatgevende profielen zijn er zes maatgevende aanvullende profielen toegevoegd voor dijkvakken 1 en 6. Het betreft 4 profielen ter plaatse van Fort Honswijk (dijkvak 6) die in detail worden beschouwd in hoofdstuk 8 en 2 profielen ter plaatse van de oostelijke Voorhavendijk (dijkvak 1). De oostelijke Voorhavendijk is in 2017 ontworpen met een levensduur van 50 jaar. In het kader van de overdracht van Rijkswaterstaat naar HDSR is onderzocht of verwacht mag worden dat deze waterkering tot het zichtjaar 2067 aan de gestelde veiligheidsnorm voldoet. Daartoe is een beoordeling conform WBI2017 [12] uitgevoerd waarbij 2 dwarsprofielen zijn beoordeeld. Deze dwarsprofielen zijn overgenomen uit deze rapportage en worden nader beoordeeld in deze veiligheidsanalyse. De geometrie van de watergang is hierbij echter aangepast (breedte op de waterlijn circa 20 m) op basis van de UO-tekening [13].

3.3 Proevenverzameling sterkteparameters

De sterkteparameters waarmee wordt gerekend in de stabiliteitsberekeningen zijn vastgelegd in de rapportage proevenverzameling Culemborgse veer – Beatrixsluis [14]. De hierin bepaalde sterkteparameters zijn overgenomen in tabel 3-2.

Tabel 3-2: Overzicht (on)gedraineerde karakteristieke sterkteparameters voor alle te onderscheiden grondsoorten

Grondsoort	γ/γ_n [kN/m ³]	S_{kar} [-]	m_{kar} [-]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Klei, ophoogmateriaal	17,0/17,0	n.v.t.	n.v.t.	27,0 ¹	0
Klei, dijksmateriaal	18,9/18,9	0,25	0,86	30,0	0
Klei licht ($\leq 17,5$ kN/m ³)	15,5/15,5	0,25	0,86	33,5	0
Klei zwaar ($> 17,5$ kN/m ³)	18,4/18,4	0,28	0,86	30,2	0
Veen	11,0/11,0	0,31	0,83	n.v.t.	n.v.t.
Ophoogmateriaal zand	18,0/20,0	n.v.t.	n.v.t.	31,3 ²	0
Zand	18,0/20,0	n.v.t.	n.v.t.	31,3 ²	0

n.v.t.: niet van toepassing, afhankelijk van het gedrag van het materiaal zijn gedraineerd of ongedraineerde sterkteparameters afgeleid

1) Gebaseerd op een verwachtingswaarde van 32°, een variatiecoëfficiënt van 0,10 en een lognormale verdeling conform schematiseringshandleiding macrostabiliteit [15]

2) Gebaseerd op een verwachtingswaarde van 34°, een variatiecoëfficiënt van 0,05 en een lognormale verdeling conform schematiseringshandleiding macrostabiliteit [15]

Voor de kleilagen geldt dat wanneer deze zich boven de dagelijkse grondwaterstand bevinden deze gedraineerd worden berekend en daaronder ongedraineerd.

In de rapportage proevenverzameling Culemborgse veer – Beatrixsluis [14] waren nog niet de gedraineerde sterkteparameters voor de klei licht en klei zwaar opgenomen. Deze zijn toegevoegd in bovenstaande tabel 3-2. De onderbouwing van deze parameters is opgenomen in bijlage D.

Om de belastinggeschiedenis van een grondlaag mee te nemen in de stabiliteitsberekening wordt een POP (Pre-Overburden Pressure) meegenomen in de berekening. Deze POP waarde is gebaseerd op laboratoriumonderzoek (samendrukkingsproeven). In tabel 3-3 zijn deze waarden per grondsoort weergegeven. De waarden zijn afgerond op hele getallen. De onderbouwing van deze waarden is opgenomen in bijlage E.

Tabel 3-3 Gemiddelde en laag karakteristieke POP-waarde voor de stabiliteitsanalyses

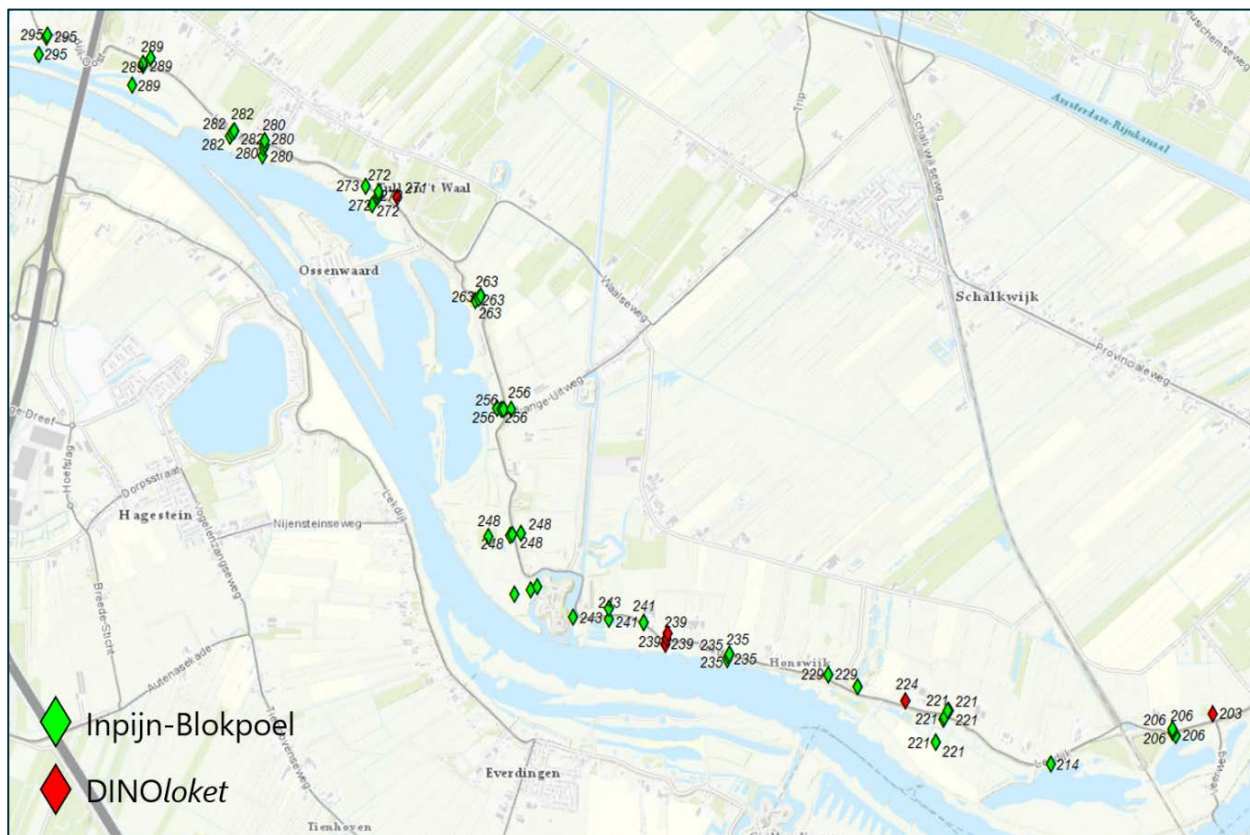
Grondsoort	Gemiddelde POP [kPa]	Standaardafwijking POP [kPa]	Laagkarakteristieke waarde POP [kPa]
Klei licht ($\leq 17,5 \text{ kN/m}^3$)	42	31	15
Dijksmateriaal Klei zwaar ($> 17,5 \text{ kN/m}^3$)	39	20	20
Veen	27	6	21

De POP waarden zoals opgenomen in tabel 3-3 zijn niet van toepassing voor de recent aangelegde oostelijke Voorhavendijk. Door de aanleg is immers de spanningstoestand van de ondergrond drastisch veranderd. Daarom worden voor de grondlagen ter plaatse van de Voorhavendijk een standaard POP waarde van 10 kPa gehanteerd zoals opgenomen in de beoordeling conform WBI2017 [12].

3.4 Schematisatie freatische lijn en stijghoogte

3.4.1 Beschikbare peilbuismetingen

Om de stijghoogte in het watervoerende pakket en de ligging van de freatische lijn te kunnen vaststellen zijn een groot aantal peilbuizen geplaatst. Op het dijktraject van CUB staan op 23 locaties één of meerdere peilbuizen (peilbuisraai). De peilbuizen zijn verspreid over de gehele dijkstrekking, zie figuur 3.2.



Figuur 3.2: Overzicht beschikbare peilbuizen langs het deelproject CUB

5 peilbuis locaties zijn beschikbaar in het DINOloket van TNO. Deze DINOloket peilbuizen zijn gemeten gedurende een periode van 2 februari 2016 tot 08 april 2019. De overige peilbuizen zijn in 2 fasen geplaatst en gemonitord door Inpijn-Blokpoel. Deze eerste peilbuizen zijn geïnstalleerd en gemonitord vanaf mei 2019 [4]. Om meer inzicht in de hydrologische situatie te krijgen is een plan van aanpak opgesteld [16] om aanvullende peilbuizen en waterspanningsmeters te plaatsen. Deze zijn medio eind 2019 geplaatst door Inpijn-Blokpoel. Een overzicht van alle beschikbare peilbuizen is opgenomen in bijlage F. De beschikbare peilbuismetingen zijn opgenomen in bijlage G.

3.4.2 Responsanalyse van peilbuismetingen

De responsfactor bepaalt de mate waarin de buitenwaterstand bij maatgevend hoogwater de stijghoogte in de watervoerende pakket. De responsfactor is bepaald aan de hand van de beschikbare peilbuismetingen in de binnenteen of het achterland van de dijk. Door middel van extrapolatie van de hoogste waterstand gemeten gedurende een hoogwater golf van enige duur kan de stijghoogte bij extreme maatgevende waterstanden worden afgeleid. Bij deze methodiek wordt een stationaire situatie aangenomen en uitgegaan van een lineair verband tussen peilbuistopstand en riviertopstand. Deze aanname is gerechtvaardigd aangezien er een lang (>7 dagen) hoogwater is gemeten en er geen invloed is van getijde of andere secundaire golven, waardoor het niet-stationaire karakter van de grondstroming beperkt is. De complete analyse is opgenomen in bijlagen H en I.

Voor de in paragraaf 3.2 bepaalde 15 maatgevende profielen en de profielen bij Fort Honswijk (dijkvak 6) 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 3-4.

Tabel 3-4: Gehanteerde peilbuizen per maatgevend dwarsprofiel en afgeleide maatgevende stijghoogte

Dijkvak	Dijkpaal	Peilbuisnaam	Locatie	WBN 2073 (tov NAP [m])	Stijghoogte BIT bij WBN 2073 (tov NAP [m])
9b+9d	205	44-223LD (Dinoloket) nabij DP202	BIT	7,46	4,85
9c	209	DP206+004_B_BIT pb2	BIT	7,46	4,03
9a	224	44-224LD (Dinoloket) nabij DP224	BIT	7,30	4,46
8	227	DP226+095_B_AL pb2	AL	7,26	4,01
7a+7c	231	DP229+000_B_AL pb2	AL	7,24	4,05
7b	235	DP235+002_B_BIT pb2	BIT	7,21	3,46
6	244+090	DP244+090_B_AL (B1009)	AL	7,16	3,69
6	244+635	DP244+635_B_AL (B1012)	AL	7,02	(geen respons tussenzandlaag)
		DP244+633_B_BUT (B1011)	BUT	7,02	4,28
5b	248	DP248+000_B_AL (B1015)	AL	6,93	3,96
4c+5a	255	DP255+097_B_AL (B1018)	AL	6,90	3,57
4a+4b	265	DP262+114_B_BIT pb3	BIT	6,91	3,08
3e	267	44-271LD (Dinoloket) nabij DP271	BIT	6,92	2,39
3d	275	DP272+000_B_BIT (B1021)	BIT	6,79	2,84
3b+3c	280	DP280+000_B_AL (B1024)	AL	6,78	3,39
3a	283	DP282+001_B_BIT pb2	BIT	6,76	3,97
2c	287	DP288+081_B_AL (B1027)	AL	6,73	3,50
2b	n.v.t.	Grondlichaam landhoofd A27			
2a	295	DP295+050_B_BUT (B1029)	BUT	6,67	4,94
1 zuid	300	pb1-A-diep	AL	6,64	4,81
1 noord	303	pb3-A-diep	AL	6,64	3,87

Voor dwarsprofiel 244+635 wordt in de tussenzandlaag (ca. NAP -0,5 m tot -2,5 m) ter plaatse van de binnenteen geen respons gemeten. Daarom wordt hier bij gebrek aan een stijghoogtemeting in het pleistocene zandpakket (vanaf ca. NAP -7 m) de responsmeting van peilbuis DP244+633_B_BUT (B1011) in de tussenzandlaag ter plaatse van de buitenteen gehanteerd. Dit is een conservatieve benadering.

Voor de volledigheid wordt hierbij opgemerkt dat de in tabel 3-4 gehanteerde stijghoogte per dwarsprofiel enigszins (enkele cm's) kan afwijken van de in bijlage H opgenomen waarden. Wanneer een dwarsprofiel niet precies overeenkomt met de locatie van de peilbuis is de dichtstbijzijnde peilbuis gehanteerd. Bij de

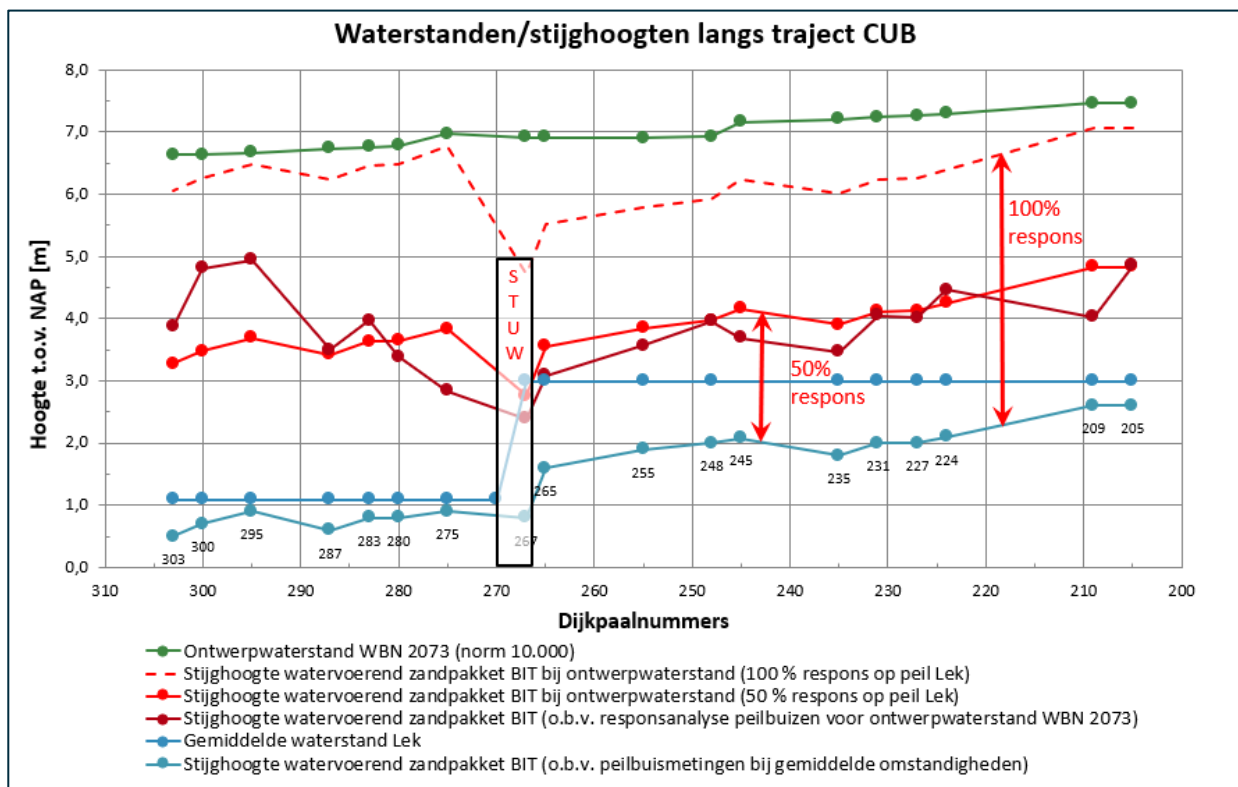
bepaling van de stijghoogte voor dit dwarsprofiel is dan wel de hierbij behorende WBN 2073 gehanteerd en niet de WBN 2073 behorende bij de locatie van de peilbuis. De invloed van deze aanpassing op de uiteindelijke berekeningsresultaten is overigens niet significant.

3.4.3 Analyse maatgevende stijghoogten (responsfactoren)

In onderstaand figuur zijn de resultaten van de maatgevende stijghoogten in het watervoerend zandpakket in de binnenteen (BIT) voor de maatgevende profielen uit tabel 3-4 opgenomen. De dijkpaalnummers van de betreffende profielen zijn eveneens in de grafiek opgenomen.

Tevens zijn de volgende gegevens met betrekking tot de waterstand van de Lek opgenomen:

- Waterstand bij Norm (WBN) voor het zichtjaar 2073 conform [3];
- De gemiddelde waterstand van de Lek boven de stuw bedraagt NAP +3,0 m conform de betrekkinglijnen van RWS [17];
- De gemiddelde waterstand beneden de stuw bedraagt NAP +1,09 m conform waternormalen van RWS.



Figuur 3.3: Overzicht resultaten responsfactoren peilbuizen langs deelproject CUB

De onderste lichtblauwe lijn geeft de stijghoogte in het watervoerende zandpakket ter plaatse van de binnenteen bij gemiddelde omstandigheden. De waarde van deze stijghoogte is direct gekoppeld aan de gemiddelde waterstand in de Lek (= donkerblauwe lijn).

De bruine lijn geeft de maatgevende stijghoogte in het watervoerende zandpakket ter plaatse van de binnenteen (BIT) op basis van de uitgevoerde responsanalyse van de peilbuizen. Deze waarden zijn gebruikt in de verdere stabiliteitsberekeningen.

De rode getrokken lijn toont voor alle dijkpalen een responsfactor van 50%. De responsfactor is hierbij gedefinieerd als:

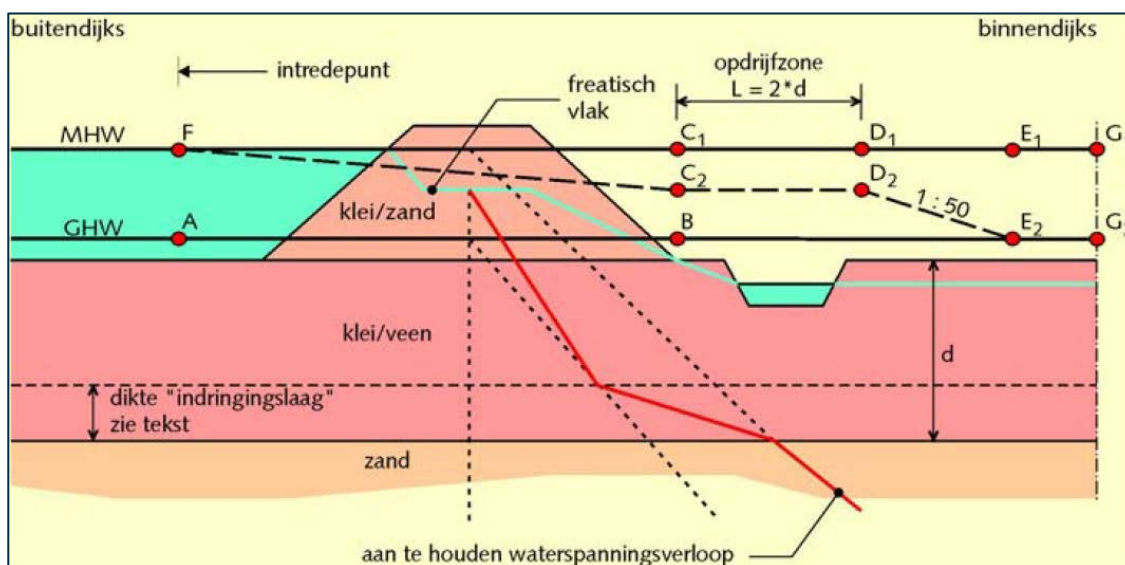
$$\text{Responsfactor} = \frac{(\text{stijghoogte bij ontwerpwaterstand WBN 2073}) - (\text{stijghoogte bij gem. omstandigheden})}{(\text{ontwerpwaterstand WBN 2073 Lek}) - (\text{gem. waterstand Lek})}$$

Een responsfactor van 50% betekent bijvoorbeeld bij DP255 dat wanneer de waterstand in de Lek bij maatgevende omstandigheden ca. 4 m (van NAP +3 m naar ca. NAP +7 m) stijgt, de stijghoogte in de watervoerende zandlaag ca. 2 m stijgt tot ca. NAP +4,0 m ten opzicht van de normale gemiddelde omstandigheden van NAP +2,0 m.

Ten oosten van de stuw Hagestein liggen de gevonden responsfactoren vrijwel op deze 50% lijn of juist eronder. Ten westen van de stuw Hagestein is het beeld wisselender. Vooral de hoge respons van ca. 75% bij DP295 en DP300 valt hierbij op. Dit kan gedeeltelijk worden verklaard doordat alleen bij DP295 de peilbuis ter plaatse van de buitenteen is gebruikt bij het vaststellen van de responsfactor. Verder is bij DP300 de peilbuis gebruikt die is geplaatst ter plaatse van de teruggelegde Voorhavendijk richting het achterland. Door deze teruglegging is de weerstand van het zandpakket afgenomen. Daarnaast wordt op deze locatie waarschijnlijk weinig weerstand in het voorland aangetroffen en een relatief hoge doorlatendheid van het watervoerende pakket. Dit vermoeden wordt versterkt door kweloverlast in het achterland.

3.4.4 Schematisering verloop waterspanningen in watervoerend pakket

Ter plaatse van het intredepunt (punt F uit figuur 3.4) is de stijghoogte in het watervoerende zandpakket gelijk aan de ontwerpwaterstand. Het intredepunt is in de berekeningen geschematiseerd ter plaatse van de buitenteen van de dijk. Dit betekent dat de weerstand van het voorland niet in de berekeningen is meegenomen. Uit de beschikbare peilbuismetingen op het voorland en in de buitenteen volgt echter dat de optredende stijghoogte (veel) lager ligt dan de optredende buitenwaterstand. Het hanteren van een intredepunt ter plaatse van de buitenteen is een conservatief uitgangspunt.



Figuur 3.4: Schematisering van verloop stijghoogte conform Technisch rapport Waterspanning bij Dijken [18].

De stijghoogte daalt lineair vanaf het intredepunt tot de vastgestelde maatgevende stijghoogte (zie paragraaf 3.4.3) op de overgang binnenberm- achterland. In het achterliggende gebied wordt

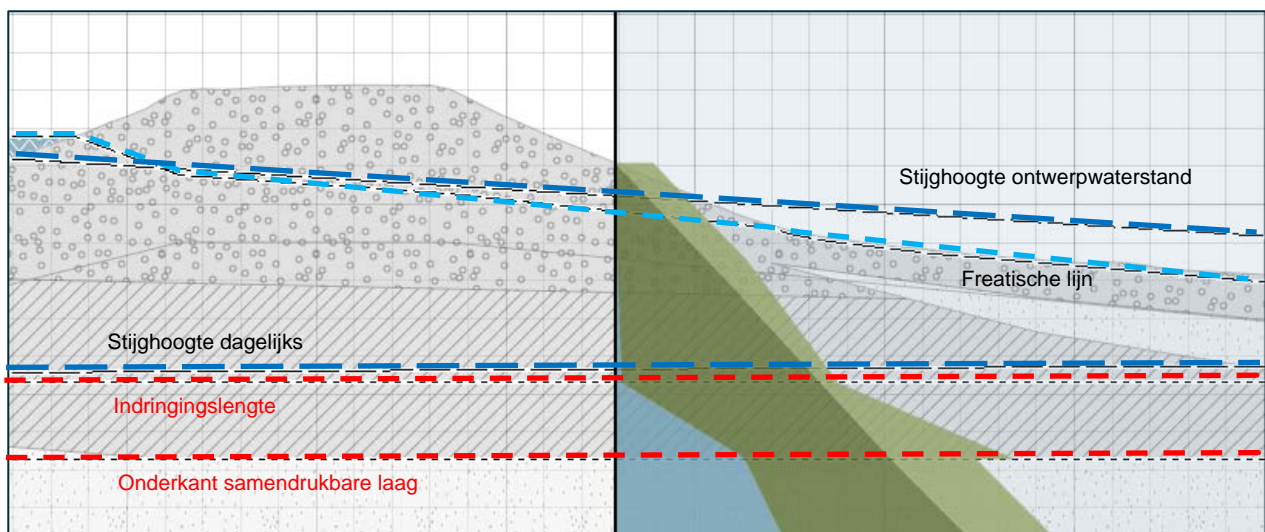
verondersteld dat de stijghoogte verder niet reduceert en een constante waarde behoudt. Dit is een conservatief uitgangspunt.

3.4.5 Schematisering verloop waterspanningen in het samendrukbare lagenpakket

De indringingslaag geeft de zone aan waarin de toegenomen waterspanning in het watervoerende pakket merkbaar zijn in het samendrukbare pakket. De laagopbouw van het Holocene pakket bestaat veelal uit een basisveenlaag met enkele aanvullende veenlaagjes. Voor de dikte van de indringingslaag wordt daarom 2 m aangehouden conform de TUN [3].

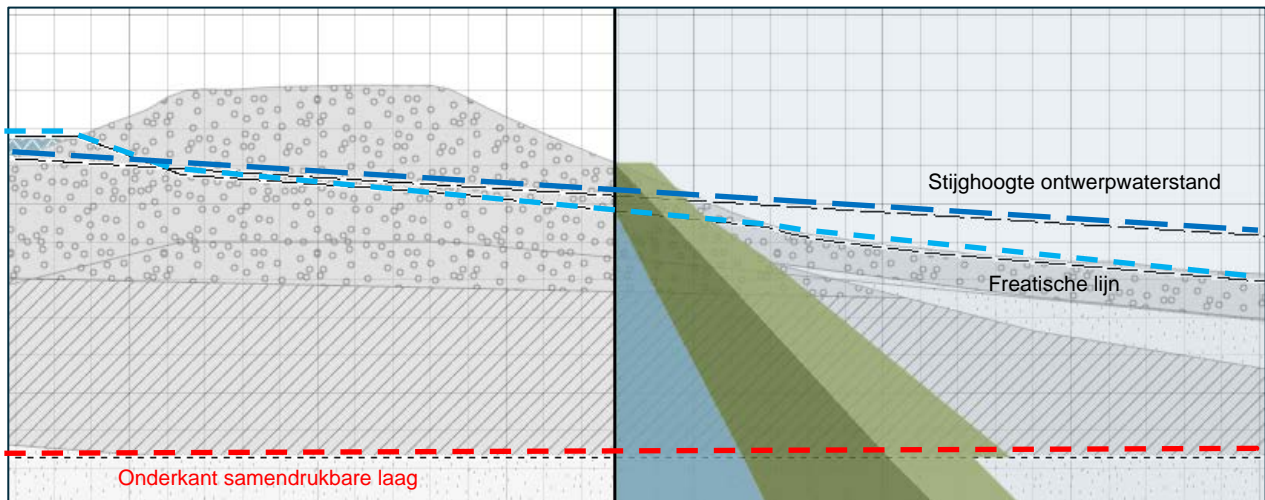
Het waterspanningsverloop in de indringingslaag zelf wordt lineair verlopend verondersteld van de stijghoogte onder normale dagelijkse omstandigheden bij GHW aan de bovenzijde van de indringingslaag naar de stijghoogte bovenin het watervoerende zandpakket of de tussenzandlaag bij ontwerpwaterstand (= onderzijde indringingslaag). In het watervoerende zandpakket of een eventueel aanwezige tussenzandlaag worden de waterspanningen hydrostatisch verondersteld.

Het verloop van de waterspanningen (bij ontwerpwaterstand) in het samendrukbare lagenpakket wordt als volgt geschematiseerd. Het waterspanningsverloop in de kleikern en het samendrukbare pakket wordt lineair verlopend aangenomen tussen het freatisch vlak bij ontwerpwaterstand en de stijghoogte onder normale dagelijkse omstandigheden (bij GHW) aan de bovenzijde van de indringingslaag (zie figuur 3.4). Echter wanneer de deklaag relatief dun is (ca. 4 m) en de stijghoogte onder dagelijkse omstandigheden relatief laag ligt, leiden deze uitgangspunten tot een onveilige schematisatie met te lage waterspanningen tot gevolg (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5: Schematisering van waterspanningen bij relatief dunne deklaag en lage stijghoogte dagelijkse omstandigheden conform uitgangspunten TUN.

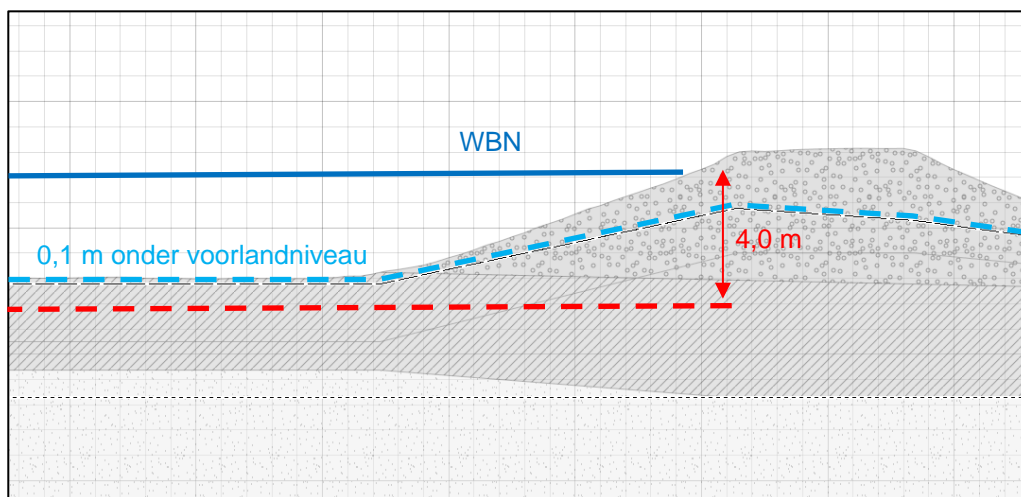
Wanneer deze situatie zich voor doet bij de berekende maatgevende dwarsprofielen wordt daarom een alternatieve schematisering gehanteerd conform [15]. Hierbij wordt een lineair waterspanningsverloop geschematiseerd vanaf het freatisch vlak bij ontwerpwaterstand en de stijghoogte bij de ontwerpwaterstand aan de onderzijde van de samendrukbare laag (zie figuur 3.6). Dit is een conservatief uitgangspunt.



Figuur 3.6: Alternatieve schematisering van waterspanningen bij relatief dunne deklaag.

3.4.6 Schematisering freatische lijn val na hoog water

Voor de belastingsituatie val na hoog water dient conform de TUN [3] voor de freatische lijn op het voorland een waarde van WBN -4,0 m gehanteerd te worden. Op een groot deel van het deeltraject CUB ligt deze waarde echter significant lager dan het voorlandniveau (zie figuur 3.7). Dit leidt tot een te optimistische schematisering. In de berekeningen is daarom een freatische lijn gehanteerd die ca. 0,1 m onder het voorlandniveau ligt.



Figuur 3.7: Alternatieve schematisering van freatische lijn op voorland bij val na hoog water

3.5 Berekeningsuitgangspunten

In principe zijn de berekeningen uitgevoerd volgens de Technische uitgangspuntennotitie (TUN) [3] die specifiek voor het deelproject CUB is opgesteld. Wanneer een andere invulling wordt gegeven aan deze uitgangspunten of een nadere toelichting op de gehanteerde uitgangspunten nodig is dan wordt dit expliciet vermeld. Daarnaast worden de belangrijkste uitgangspunten kort herhaald.

3.5.1 Schematisering freatische lijn/stijghoogte dagelijkse omstandigheden

In onderstaande tabel zijn de gehanteerde geohydrologische randvoorwaarden met betrekking tot de freatische lijn en stijghoogte onder dagelijkse omstandigheden opgenomen. Deze waarden zijn bepaald op basis van de beschikbare peilbuismetingen. Daarnaast is gebruik gemaakt van de indicatief gemeten waterstanden tijdens de uitvoering van de mechanische boringen en de beschikbare sonderingen met waterspanningsmeting. Voor de waarden van de Voorhavendijk (dijkvak 1) zijn de waarden overgenomen uit [12].

Tabel 3-5: Gehanteerde waarden freatische lijn en stijghoogte bij dagelijkse omstandigheden

Dijkvak	Dijkpaal	Freatische lijn BUT dagelijks (tov NAP [m])	Freatische lijn Kruin dagelijks (tov NAP [m])	Stijghoogte BIT dagelijks (tov NAP [m])
9b+9d	205	2,5	3,5	2,6
9c	209	2,5	4,5	2,6
9a	224	2,5	4,5	2,1
8	227	2,5	4,5	2,0
7a+7c	231	2,5	4,5	2,0
7b	235	3,0	4,5	1,8
6	244+090	3,0	4,0	1,8
6	244+635	2,75	3,5	2,0
5b	248	2,0	4,5	2,0
4c+5a	255	2,0	4,5	1,9
4a+4b	265	2,5	4,0	1,6
3e	267	2,5	3,5	0,8
3d	275	1,5	3,5	0,9
3b+3c	280	0,5	4,0	0,8
3a	283	0,5	2,5	0,8
2c	287	0,5	2,8	0,6
2b	n.v.t.	Grondlichaam landhoofd A27		
2a	295	0,5	2,8	0,9
1 zuid	300	0,5	2,1	0,6
1 noord	303	0,5	2,1	0,4

3.5.2 Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit binnenwaarts

Een ontwerp voldoet op het moment dat de berekende stabiliteitsfactor groter is dan de minimaal vereiste stabiliteitsfactor. De minimaal vereiste stabiliteitsfactor (SF) is opgebouwd uit meerdere partiële factoren. De controle op het faalmechanisme macrostabiliteit wordt uitgevoerd met onderstaande formule:

$$SF \geq SF_{\min} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_b \cdot \gamma_m$$

Waarin:

SF	Berekende stabiliteitsfactor [-]
SF _{min}	Minimaal vereiste stabiliteitsfactor [-]
γ _n	Schadefactor = 1,17 [-]
γ _d	Modelfactor = 1,06 (UpliftVan) / 1,07 (Spencer-Van der Meij) [-]
γ	Schematiseringsfactor = 1,10 [-]
γ _m	Materiaalfactor = 1,00 [-]

De vereiste deelfactoren vastgesteld in de TUN [3]. Hierbij is een waarde van de schematiseringsfactor aangenomen van 1,1. De controle van deze aangenomen schematiseringsfactor is opgenomen in paragraaf 3.5.3. Dit resulteert in de volgende minimaal vereiste stabiliteitsfactoren:

$$SF_{\min; \text{UpliftVan}} = 1,36$$

$$SF_{\min; \text{Spencer}} = 1,38$$

3.5.1 Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit binnenwaarts bij significante golfoverslag

In paragraaf 2.2 is bepaald dat voor een aantal dijkpalen het overslagdebiet groter is dan 1 l/s/m. Conform de KPR factsheet [10] moet bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m of groter bij de beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd worden beschouwd. De betreffende dijkpalen, dijkvakken en maatgevende dwarsprofielen zijn opgenomen in tabel 3-6.

Tabel 3-6 Dwarsprofielen waarbij macrostabiliteit binnenwaarts moet worden getoetst met onverzadigd en verzadigd binnentalud

Dijkpaal overslagdebiet > 1,0 l/s/m	Dijkvak	Maatgevend dwarsprofiel
264 en 265	4a	265
267	3e	267
277	3c	278
289, 290 en 291	2c	287
294 en 295	2a	295

Vereiste stabiliteitsfactor

Conform [10] is de faalkanseis op doorsnedeniveau voor stabiliteit bij overslag bepaald. Hiervoor is aanvullend voor de in tabel 3-6 benoemde dwarsprofielen de overschrijdingskans bepaald voor een overslagdebiet van 1 l/s/m. Uit deze analyse volgt dat deze maximaal 1/10.000 per jaar bedraagt. De faalkanseis voor macro-instabiliteit gegeven significante golfoverslag wordt berekend door de faalkanseis op doorsnedeniveau te delen door de kans op overschrijding van 1 l/s/m. Dit resulteert in een vereiste schadefactor van 0,85.

Voor de beoordeling van macrostabiliteit binnenwaarts bij significante golfoverslag is gerekend met een schematiseringsfactor van 1,0. Conform [10] wordt bij dit scenario gerekend met een volledig verzadigd dijklichaam. Dit betreft een worst-case scenario voor de schematisering van de waterspanningen, er is geen kans op een ongunstiger scenario. Uit de beoordeling volgt dat bij dit scenario alleen zeer oppervlakkige glijvlakken door het dijk materiaal berekend worden. Hiervoor zijn geen relevante alternatieve scenario's van toepassing.

Met de in paragraaf 3.5.2 opgenomen modelfactoren voor de verschillende glijvlakberekeningen resulteert dit in de volgende minimaal vereiste stabiliteitsfactoren:

$$SF_{\min;UpliftVan} = 0,90$$

$$SF_{\min;Spencer} = 0,91$$

3.5.2 Stabiliteitsfactoren macrostabiliteit buitenwaarts

Een ontwerp voldoet op het moment dat de berekende stabiliteitsfactor groter is dan de minimaal vereiste stabiliteitsfactor. De minimaal vereiste stabiliteitsfactor is opgebouwd uit meerdere partiële factoren. De controle op het faalmechanisme macrostabiliteit wordt uitgevoerd met onderstaande formule:

$$SF \geq SF_{\min} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_d \cdot \gamma_b \cdot \gamma_m$$

Waarin:

SF Berekende stabiliteitsfactor [-]

SF_{\min} Minimaal vereiste stabiliteitsfactor [-]

γ_n Schadefactor = 1,11 [-]

γ_d Modelfactor = 1,06 (UpliftVan) / 1,07 (Spencer-Van der Meij) [-]

γ Schematiseringsfactor = 1,10 [-]

γ_m Materiaalfactor = 1,00 [-]

De vereiste deelfactoren vastgesteld in de TUN [3]. Hierbij is een waarde van de schematiseringsfactor aangenomen van 1,1. De controle van deze aangenomen schematiseringsfactor is opgenomen in paragraaf 3.5.3. Dit resulteert in de volgende minimaal vereiste stabiliteitsfactoren:

$$SF_{\min;UpliftVan} = 1,29$$

$$SF_{\min;Spencer} = 1,31$$

Aangescherpte stabiliteitseis voor dijk met kleikern

In aansluiting met de gehanteerde aanpak in de veiligheidsanalyse bij het deelproject Wijk bij Duurstede – Amerongen (WAM) [19] wordt een aangescherpte faalkanseis gehanteerd voor dijken met een kleikern bij de beoordeling van de buitenwaartse macrostabiliteit na een snelle val van de buitenwaterstand. Het betreft de aanscherping van de voorwaardelijke kans op falen (een overstroming) $P_{f|stbu}$ gegeven een opgetreden buitenwaartse macro-instabiliteit die standaard op 0,1 staat. Bij WAM is deze voorwaardelijk kans op basis van een faalpad analyse aangescherpt tot $P_{f|stbu} = 0,004$ resulterend in een schadefactor van $\gamma_n = 1,00$. De in deze analyse gebruikte uitgangspunten m.b.t. afmetingen van het restprofiel, kans van optreden 2^e hoogwatergolf en kans van het niet tijdig gereed komen van herstelmaatregelen zijn ook van toepassing op CUB. Daarnaast is de geometrie en opbouw van de van de dijken bij WAM vergelijkbaar met CUB. De bij WAM in [19] afgeleide schadefactor $\gamma_n = 1,00$ wordt daarom ook gehanteerd in deze veiligheidsanalyse voor CUB. Dit resulteert in de volgende minimaal vereiste stabiliteitsfactoren:

$$SF_{\min;UpliftVan} = 1,17 \text{ (dijk met kleikern)}$$

$$SF_{\min;Spencer} = 1,18 \text{ (dijk met kleikern)}$$

3.5.3 Onderbouwing schematiseringsfactor

In voorgaande beoordelingen is een schematiseringsfactor van 1,1 gehanteerd. Deze waarde is bepaald op basis van expertkennis. Ter verificatie van de gehanteerde schematiseringsfactor zijn voor zowel binnen- en buitenwaartse stabiliteit aanvullende berekeningen uitgevoerd waarbij verschillende scenario's zijn beschouwd.

Voor macrostabiliteit binnenwaarts zijn twee profielen geanalyseerd. Een profiel met een dikke deklaag (DP235) en een profiel met een dunne deklaag (DP255). Voor het afleiden van de schematiseringsfactor voor stabiliteit binnenwaarts zijn de volgende scenario's gehanteerd:

Bodemopbouw

Er is uitgebreid grondonderzoek beschikbaar in de vorm van sonderingen en boringen. Dit resulteert in een gedetailleerde grondopbouw met voldoende dichtheid om grote onzekerheden af te dekken. Het is altijd mogelijk dat bepaalde afwijkingen toch niet gevonden zijn. Om deze onzekerheid mee te nemen, wordt een scenario gedefinieerd waarbij de dikte van de deklaag 1m dikker wordt aangenomen. Vanwege het uitgebreide grondonderzoek wordt de kans op significant dikkere dekklagen dan volgen uit het geotechnisch lengteprofiel ingeschat op 5%. Daarnaast zijn op basis van een proevenverzameling, de volumieke gewichten bepaald van de verschillende grondlagen. De kans bestaat dat het volumieke gewicht van de grondlaag lokaal afwijkt. Hierbij is uitgegaan van een scenario waarbij de volledige deklaag bestaat uit klei, licht. Dit scenario heeft een kans op voorkomen van 2%.

Grens gedraineerd en ongedraineerd gedrag

De grens tussen gedraineerd of ongedraineerd grondgedrag is conform de TUN gebaseerd op de dagelijkse ligging van de freatische lijn. De ligging van de freatische lijn is bepaald op basis van peilbuis- en waterspanningsmetingen. Er wordt een scenario opgesteld waarbij de opbolling van de freatische lijn in de kruin 1 m hoger en 1 m lager is. Beide scenario's worden geschat op 10%. Daarnaast wordt conform de schematisatie uit het WBI een scenario gedefinieerd waarbij het ongedraineerde gedrag tot aan de WBN waterstand voorkomt, deze heeft ook een kans op voorkomen van 10%.

Geometrie

De geometrie van het dijklichaam en de ligging van het maaiveld is bepaald op basis van AHN3 meetdata met een nauwkeurigheid van enkele centimeters. Een verschil van enkele centimeters heeft een verwaarloosbare invloed op de stabiliteit. Relevanter is de kans dat de aangenomen maatgevende combinatie van bodemopbouw en geometrie niet maatgevend is. Om onzekerheid in de invloed van de ligging van het maaiveld mee te nemen, wordt er een scenario gedefinieerd waarbij het maaiveld 0,5 m lager ligt. Dit scenario heeft een kans op voorkomen van 5%.

Verloop waterspanning

Het verloop van de waterspanningen wordt conform de TUN geschematiseerd. Hierbij wordt geïnterpoleerd vanaf de freatische lijn bij WBN tot de stijghoogte onder dagelijkse omstandigheden aan de bovenzijde van de indringingslaag (die 2 m boven de bovenzijde van het watervoerende pakket aanwezig is). Over de indringingslaag wordt vervolgens geïnterpoleerd tot de stijghoogte behorende bij WBN aan de onderzijde van de indringingslaag. Als scenario wordt meegenomen dat een indringingslaag van 3 m t.o.v. onderkant deklaag aanwezig is. De kans op dit scenario wordt ingeschat op 5%. Daarnaast wordt een scenario meegenomen waarbij de indringingslaag ontbreekt en de waterspanning vanaf de freatische lijn bij WBN naar de stijghoogte behorende bij WBN aan de onderkant van de deklaag wordt geïnterpoleerd. De kans op dit scenario wordt ingeschat op 5%.

Freatische lijn WBN

De schematisatie tijdens hoogwater wordt conform de TUN aangehouden. Voor de WBN situatie wordt een scenario meegenomen dat de freatische lijn op de knikpunten A en B 0,5 m hoger ligt dan aangegeven (WBN -1,0m en WBN -1,5m). De kans op voorkomen wordt op 5% geschat.

Grens dijksmateriaal

De grens tussen aangebracht materiaal (dijksmateriaal) en oorspronkelijk materiaal (deklaag) is niet eenduidig uit de sonderingen en boringen vast te stellen. De grens ligt nu op het maaiveld niveau van het

voor- en achterland. De zetting van het dijklichaam kan groter zijn geweest, dus wordt er een scenario onderzocht waarbij de overgang van dijksmateriaal naar deklaag in het midden van de kruin 1 m lager komt te liggen en 1 m hoger komt te liggen. De kans op dit scenario wordt ingeschat op 10%.

Stijghoogte WBN

De respons bij de binnenteen is bepaald op basis van peilbuisanalyses. Omdat de respons bepaald is doormiddel van extrapolatie zit hier onzekerheid in. Daarom wordt een scenario meegenomen waarbij de stijghoogte bij de binnenteen 0,5 m hoger ligt. De kans op dit scenario wordt ingeschat op 5%.

Tabel 3-7 Scenario's voor afleiding van schematiseringsfactor stabiliteit binnenwaarts

Scenario	Omschrijving	Kans op voorkomen [%]
Bodemopbouw	Deklaagdikte +1,0 m	5
Bodemopbouw	Deklaag bestaat volledig uit klei, licht i.p.v. klei, zwaar	2
Freatische lijn dagelijks	Opbolling freatische lijn -1,0 m	10
Freatische lijn dagelijks	Opbolling freatische lijn +1,0 m	10
Geometrie	Maaiveld achterland -0,5 m	2
Indringingslengte	Indringingslengte +1,0 m hoger	5
Verloop waterspanning	Indringingsslaag ontbreekt (lineair verloop van freatische lijn tot stijghoogte o.k. deklaag)	5
Freatische lijn WBN	Freatische lijn +0,5 m op knikpunten	5
Ongedraineerd grondgedrag	Ongedraineerd grondgedrag tot WBN	5
Grens dijksmateriaal	Grens dijksmateriaal 1,0 m hoger	10
Grens dijksmateriaal	Grens dijksmateriaal 1,0 m lager	10
Stijghoogte WBN	Stijghoogte watervoerend pakket +0,5 m	5

Voor macrostabiliteit buitenwaarts is één profiel geanalyseerd met een laag voorland waarbij de freatische lijn op het voorland bij "val na hoogwater" net onder het maaiveld ligt (DP265). Ter bepaling van de schematiseringsfactor voor stabiliteit buitenwaarts zijn de volgende scenario's gehanteerd:

Tabel 3-8 Scenario's voor afleiding van schematiseringsfactor stabiliteit buitenwaarts

Scenario	Omschrijving	Kans op voorkomen [%]
Freatische lijn dagelijks	Freatische lijn -1,0 m	10

Freatische lijn dagelijks	Freatische lijn +1,0 m	10
Freatische lijn WBN	Freatische lijn -0,5 m onder maaiveld	10
Freatische lijn WBN	Freatische lijn op maaiveld	10
Klei, licht i.p.v. klei, zwaar	Deklaag bestaat volledig uit klei, licht	5
Verkeersbelasting	Verkeersbelasting op buitenkruinlijn	10

Voor de scenario's gedefinieerd in voorgaande paragraaf zijn stabiliteitsberekeningen gemaakt. Deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage J. De schematiseringsfactor wordt gebaseerd op het verschil in stabiliteit van het beschouwde scenario vergeleken met de basisschematisatie. Indien een scenario een positief effect heeft wordt hiervoor de kans op voorkomen gereduceerd tot nul. De resultaten van de verschillende scenario's voor binnenwaartse stabiliteit zijn weergegeven in tabel 3-9.

Tabel 3-9 Resultaten scenario's schematiseringsfactor stabiliteitsanalyse binnenwaarts

Scenario	Omschrijving	Kans op voorkomen [%]	S.F. DP235	Vershil	S.F. DP255	Vershil
Basisschematisatie	-	-	1,451	-	1,796	-
Grondopbouw	Deklaagdikte +1,0 m	5	1,429	-0,022	1,793	-0,003
Freatische lijn dagelijks	Freatische lijn -1,0 m	10	1,469	0,018	1,798	0,002
Freatische lijn dagelijks	Freatische lijn +1,0 m	10	1,400	-0,051	-	-
Geometrie	Maaiveld achterland -0,5 m	2	1,349	-0,102	1,795	-0,001
Indringingslengte	Indringingslengte +1,0 m hoger	5	1,446	-0,005	-	-
Verloop waterspanning	Lineair verloop van freatische lijn tot stijghoogte o.k. deklaag	5	1,419	-0,032	-	-
Freatische lijn WBN	Freatische lijn +0,5 m op knikpunten	5	1,448	-0,003	1,734	-0,062
Ongedraineerd grondgedrag	Ongedraineerd grondgedrag tot WBN	5	1,398	-0,053	1,832	0,036
Klei, licht i.p.v. klei, zwaar	Deklaag bestaat volledig uit klei, licht	2	1,338	-0,113	1,581	-0,215
Grens dijksmateriaal	Grens dijksmateriaal 1,0 m hoger	10	1,457	0,006	1,794	-0,002
Grens dijksmateriaal	Grens dijksmateriaal 1,0 m lager	10	1,445	-0,006	1,809	0,013

Stijghoogte WBN	Stijghoogte watervoerend pakket +0,5 m	5	1,441	-0,010	1,751	-0,045
Schematiseringsfactor	-	-	-	1,04	-	1,09

Op basis van de resultaten uit tabel 3-9 is de schematiseringsfactor afgeleid conform het rekenblokje [18]. Uit de analyse volgt een schematiseringsfactor van 1,04 voor profiel DP235 (profiel met dikke deklaag) en 1,09 voor profiel DP255 (profiel met dunne deklaag). De gehanteerde schematiseringsfactor van 1,1 voor binnenwaartse stabiliteit volstaat op basis van deze analyse.

De resultaten van de verschillende scenario's voor buitenwaartse stabiliteit zijn weergegeven in tabel 3-10.

Tabel 3-10 Resultaten scenario's schematiseringsfactor stabiliteitsanalyse buitenwaarts

Scenario	Omschrijving	Kans op voorkomen [%]	S.F. DP265	Vershil
Basischematisatie	-	-	1,384	-
Freatische lijn dagelijks	Freatische lijn -1,0 m	10	1,396	0,012
Freatische lijn dagelijks	Freatische lijn +1,0 m	10	1,387	0,003
Freatische lijn WBN	Freatische lijn -0,5 m onder maaiveld	10	1,520	0,118
Freatische lijn WBN	Freatische lijn op maaiveld	10	1,349	-0,035
Klei, licht i,p,v, klei, zwaar	Deklaag bestaat volledig uit klei, licht	2	1,214	-0,170
Verkeersbelasting	Verkeersbelasting op buitenkruinlijn	10	1,326	-0,058
Schematiseringsfactor	-	-	-	1,05

Op basis van de resultaten uit tabel 3-10 is de schematiseringsfactor afgeleid conform het rekenblokje [18]. Uit de analyse volgt een schematiseringsfactor van 1,05. De gehanteerde schematiseringsfactor van 1,1 voor buitenwaartse stabiliteit volstaat ruimschoots op basis van deze analyse.

De gehanteerde schematiseringsfactor in deze veiligheidsanalyse bedraagt 1,1. Zoals uit voorgaande analyse blijkt, kan een lagere schematiseringsfactor van 1,04 (dikke deklaag) tot 1,09 (dunne deklaag) voor macrostabiliteit binnenwaarts en 1,05 voor macrostabiliteit buitenwaarts worden gehanteerd. Om echter voldoende robuustheid en veiligheid in te bouwen wordt vastgehouden aan een schematiseringsfactor van 1,1.

3.5.4 Berekeningsuitgangspunten

Voor de berekeningen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er wordt gerekend conform CSSM model.

- Als standaard glijvlakmodel wordt UpliftVan gehanteerd. Ter verificatie zijn ook enkele berekeningen met het Spencer - Van der Meij glijvlakmodel uitgevoerd.
- Er wordt gebruik gemaakt van D-GEO Suite Stability (versie 20.2.1).

3.5.5 Maatgevende belastingsituaties

Belastingsituatie extreme neerslag macrostabiliteit binnenwaarts

In tabel 3-12 zijn de berekende stabiliteitsfactoren opgenomen voor macrostabiliteit binnenwaarts voor de belastingsituatie waterstand bij norm (WBN). Om te beoordelen of de belastingsituatie extreme neerslag niet maatgevend is, is voor DP235 en DP255 ook een berekening uitgevoerd voor de belastingsituatie extreme neerslag. Hierbij worden de volgende resultaten gevonden:

DP235 SF = 1,53 (voor de belastingsituatie WBN wordt een waarde van 1,45 gevonden)
DP255 SF = 1,96 (voor de belastingsituatie WBN wordt een waarde van 1,80 gevonden)

Op basis van deze resultaten wordt geconcludeerd dat de belastingsituatie extreme neerslag niet maatgevend is t.o.v. de belastingsituatie WBN. Bovendien mag bij extreme neerslag worden gerekend met een lagere schadefactor (gelijk aan die van macrostabiliteit buitenwaarts).

Belastingsituatie extreme neerslag macrostabiliteit buitenwaarts

In tabel 3-12 zijn de berekende stabiliteitsfactoren opgenomen voor macrostabiliteit buitenwaarts voor de belastingsituatie val na hoogwater. Om te beoordelen of de belastingsituatie extreme neerslag niet maatgevend is, is voor DP265 ook een berekening uitgevoerd voor de belastingsituatie extreme neerslag. Dit resulteert in een stabiliteitsfactor SF = 1,56. Voor de belastingsituatie val na hoogwater wordt echter een waarde van 1,38 gevonden. Op basis van dit resultaat wordt geconcludeerd dat de belastingsituatie extreme neerslag niet maatgevend is t.o.v. de belastingsituatie val na hoogwater.

3.6 Opbarstveiligheid deklaag

Voor de berekeningen van de binnenwaartse stabiliteit is eerst de opbarstveiligheid van het achterland bepaald. Deze analyse is opgenomen in bijlage K. Afhankelijk van de uitkomst van deze analyse zijn de volgende stabiliteitsberekeningen uitgevoerd:

- Opbarstveiligheid groter dan 1,2; methode Upliftvan;
- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,2 en deklaag > 4 m; methode Upliftvan zonder aanpassing van sterkte eigenschappen van de grond;
- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,2 en deklaag < 4 m; methode Upliftvan met aanpassing van sterkte eigenschappen van de grond waarbij in de opbarstzone geen sterkte eigenschappen aan de grond worden toegekend ($S = m = 0$);
- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,0 en deklaag < 4 m; methode Upliftvan met aanpassing van sterkte eigenschappen van de grond waarbij in de opbarstzone geen sterkte eigenschappen aan de grond worden toegekend ($S = m = 0$) waarbij de grensstijghoogte in rekening wordt gebracht;
- Opbarstveiligheid kleiner dan 1,0 en deklaag > 4 m; methode Upliftvan zonder aanpassing van sterkte eigenschappen van de grond waarbij de grensstijghoogte in rekening wordt gebracht.

De berekeningsresultaten zijn opgenomen in tabel 3-12. In bijlage L zijn de bijbehorende maatgevende glijvlakken opgenomen.

3.7 Berekeningsresultaten beoordeling binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit

In tabel 3-11 en tabel 3-12 zijn de resultaten opgenomen van de beoordeling van de binnenwaartse- en buitenwaartse macrostabiliteit. De binnenwaartse macrostabiliteit is beschouwd voor elk maatgevend profiel per dijkvak. Hierbij zijn zowel ondiepe als diepe glijvlakken beschouwd.

De buitenwaartse macrostabiliteit is bij een aantal dijkvakken niet berekend omdat de profielen veelal nabij een afrit op het buitentalud zijn gesitueerd en daarmee niet representatief zijn voor het betreffende dijkvak. Voor elk dijkvak is daarom niet overal een berekening van de buitenwaartse macrostabiliteit beschikbaar. De beschikbare berekeningen worden echter wel representatief geacht voor de overige dijkvakken. De dijkvakken 5a en 9b voldoen niet aan de standaard stabiliteitseis ($SF \geq 1,29$) voor het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit. Dit wordt veroorzaakt door een relatief laag voorland. Omdat de dijk in deze dijkvakken een kleikern heeft mag hier ook de aangescherpte stabiliteitseis van $SF \geq 1,17$ worden gehanteerd. De dijkvakken 5a en 9b voldoen hiermee alsnog aan de gestelde eisen voor de buitenwaartse macrostabiliteit.

In tabel 3-11 zijn de berekeningsresultaten opgenomen van de binnenwaartse stabiliteitsberekeningen voor het scenario met een verzadigd binnentalud.

Tabel 3-11 Resultaten stabiliteitsanalyse macrostabiliteit binnenwaarts verzadigd binnentalud

Dijkpaal overslagdebiet > 1,0 l/s/m	Dijkvak	STBI bij WBN (verzadigd) SF [-]	Toetsing aan eis SF $\geq 0,90$
264 en 265	4a	1,28	Voldoet
267	3e	0,71	Voldoet niet
277	3c	0,66	Voldoet niet
289, 290 en 291	2c	0,68	Voldoet niet
294 en 295	2a	1,21	Voldoet

In tabel 3-11 is te zien dat de dijkvakken 2c, 3c en 3e niet voldoen aan de gestelde eis voor macrostabiliteit binnenwaarts bij WBN voor het scenario met een verzadigd binnentalud als gevolg van overslag. In tabel 3-12 zijn de berekeningsresultaten van de beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts bij WBN voor het scenario met en onverzadigd binnentalud opgenomen. Hieruit blijkt dat de dijkvakken 2c en 3c voor dit scenario eveneens niet voldoen. Het eindoordeel voor macrostabiliteit binnenwaarts wordt door het in rekening brengen van het scenario van een onverzadigd binnentalud dus alleen voor dijkvak 3e gewijzigd.

Tabel 3-12 Resultaten stabiliteitsanalyse macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts

Dijkvak	Dijkpaal	Opbarst veiligheid	STBI bij WBN SF [-] (eis SF $\geq 1,36$)	STBU val na hoog water SF [-] (eis SF $\geq 1,29$)
9b+9d	205	1,22	1,52 (diep) 1,46 (ondiep)	1,34
9c	209	1,33	1,28 (diep) 1,38 (ondiep)	1,35
9a	224	1,28	1,38 (ondiep) 1,69 (diep)	1,25 (dijk met kleikern)
8	227	1,35	1,73 (diep) 1,78 (ondiep)	1,57
7a+7c	231	1,44	1,40 (ondiep) 1,89 (diep)	1,38
7b	235	1,29	1,45 (diep) 1,47 (ondiep) 1,45 (spencer)	1,56
6	244+120	-	1,53 (diep) 2,10 (ondiep) 1,54 (spencer)	Damwand inundatiesluis
	244+200	-	n.v.t. (hoog achterland)	1,73 (Grondwal Fort Honswijk met forbidden lijn t.p.v. damwand)
	244+355	-		1,44 (Grondwal Fort Honswijk)
	244+635	-	1,37 (ondiep) 1,82 (diep) 1,40 (spencer)	1,41 1,35 (spencer)
5b	248	1,19	1,46 (ondiep) 1,67 (diep)	1,18 (dijk met kleikern)
4c+5a	255	1,74	1,80 (ondiep) 1,83 (spencer) 2,19 (diep)	1,29
4a+4b	265	1,27	1,79 (ondiep) 2,08 (diep)	1,38
3e	267	1,30	0,94 ¹⁾ (ondiep) 1,98 (diep)	1,33
3d	275	0,61	1,38 (ondiep) 1,59 (diep) (opbarsten ²⁾)	n.v.t. (afrit)
3b+3c	280	1,23	1,15 (ondiep) 1,54 (diep)	1,32

3a	283	1,33	1,74 (ondiep) 2,09 (diep)	n.v.t. (afrit)
2c	287	0,77	1,15 (ondiep) 1,39 (diep) (opbarsten met grenspotential +2,71 m)	1,29
2b	n.v.t.	Grondlichaam landhoofd A27		
2a	295	0,95	1,46 (diep) 1,75 (ondiep) (oprijven grenspotential +4,52)	n.v.t. (afrit)
1 zuid	300	0,85	1,49 (diep) 1,68 (ondiep) (opbarsten met grenspotential +3,6 m)	1,32 ³⁾
1 noord	303	0,91	1,38 (diep) 1,65 (ondiep) (oprijven met grenspotential +3,02 m)	1,28 ³⁾ (voldoet met sch. factor van 1,09)

¹⁾ Ter plaatse van dijkvak 3e wordt door aanwezigheid van fietspad op de binnenberm lokaal een relatief steil binnentalud aangetroffen van circa 1:1,9. Het optredende glijvlak is zeer oppervlakkig (diepte <0,5 m en snijdt niet in t.p.v. de kruin) en heeft geen invloed op de waterveiligheid.

²⁾ Stijghoogte is niet verlaagd tot grenspotential want de dikte van deklaag t.p.v. het wiel is onzeker.

³⁾ Bij de beoordeling van de buitenwaartse macrostabiliteit is rekening gehouden met de steenbestorting die op het buitentalud en onderwatertalud is aangebracht. De gehanteerde afmetingen zijn gebaseerd op het UO ontwerprapport van de taludbescherming [20].

3.8 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk is de veiligheidsopgave met betrekking tot het faalmechanisme macrostabiliteit nader beschouwd. Op basis van deze beschouwing kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Het recent aangelegde Voorhavendijk (dijkvak 1) voldoet zowel voor het faalmechanisme binnenwaartse- als buitenwaartse stabiliteit.
- Een aantal dijkvakken (2c, 3b en 3c) ten westen van de stuw Hagestein voldoen niet voor het faalmechanisme binnenwaartse stabiliteit. Deze vakken worden allen gekenmerkt door een relatief dunne deklaag (circa 1 tot 4 m) waardoor de invloed van de stijghoogte in het onderliggende zandpakket op de binnenwaartse stabiliteit groot blijkt te zijn.
- Ten oosten van de spoorbrug voldoet dijkvak 9c eveneens niet voor het faalmechanisme binnenwaartse stabiliteit. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een plas/dras gebied waardoor het maaiveld achter de dijk relatief laag is.
- Voor een vijftal dijkvakken waarbij het overslagdebiet groter is dan 1 l/s/m is eveneens de binnenwaartse macrostabiliteit beoordeeld met een verzadigd binnentalud. Dit heeft ertoe geleid dat dijkvak 3e niet voldoet. Dijkvakken 2c en 3c voldeden ook al niet conform de reguliere beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit.
- Door de aanwezigheid van een relatief laag voorland voldoen de dijkvakken 5a en 9b niet aan de standaard eis voor het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit. Omdat de dijk in deze

dijkvakken een kleikern heeft mag hier ook de aangescherpte stabiliteitseis van $SF \geq 1,17$ worden gehanteerd. De dijkvakken 5a en 9b voldoen hiermee alsnog aan de gestelde eisen voor de buitenwaartse macrostabiliteit

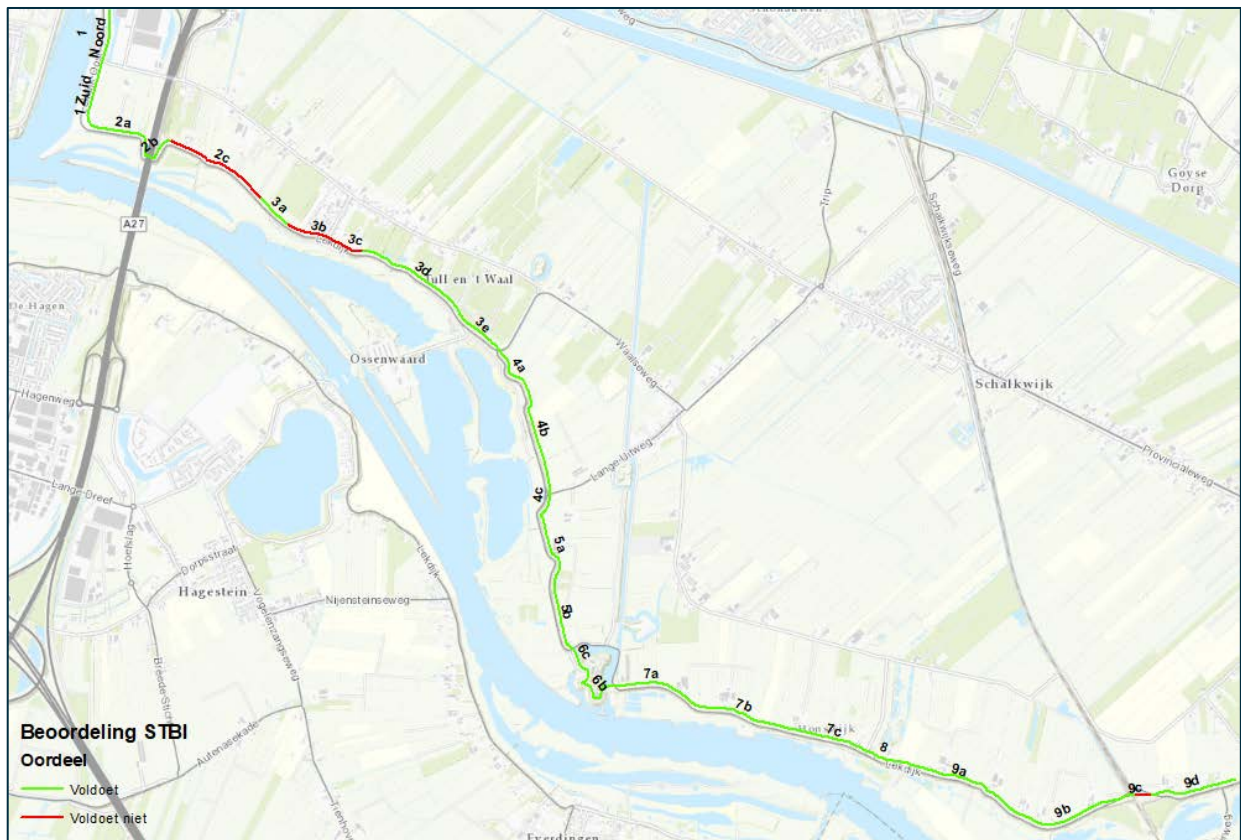
- Voor het noordelijke deel van de Voorhavendijk wordt voor het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit een stabiliteitsfactor van 1,28 gevonden die iets lager is dan de geëiste waarde van 1,29. Voor dit dijkvak kan echter een lagere schematiseringsfactor dan 1,1 worden gehanteerd omdat deze dijk recent is aangelegd waarbij de opbouw van de dijk en de ondergrond in detail bekend is. Wanneer een schematiseringsfactor van 1,09 wordt gehanteerd voldoet dit dijkvak voor het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit. Het hanteren van deze lagere schematiseringsfactor wordt toelaatbaar geacht.

Op basis van de uitgevoerde analyses kan de volgende aanbeveling worden gedaan:

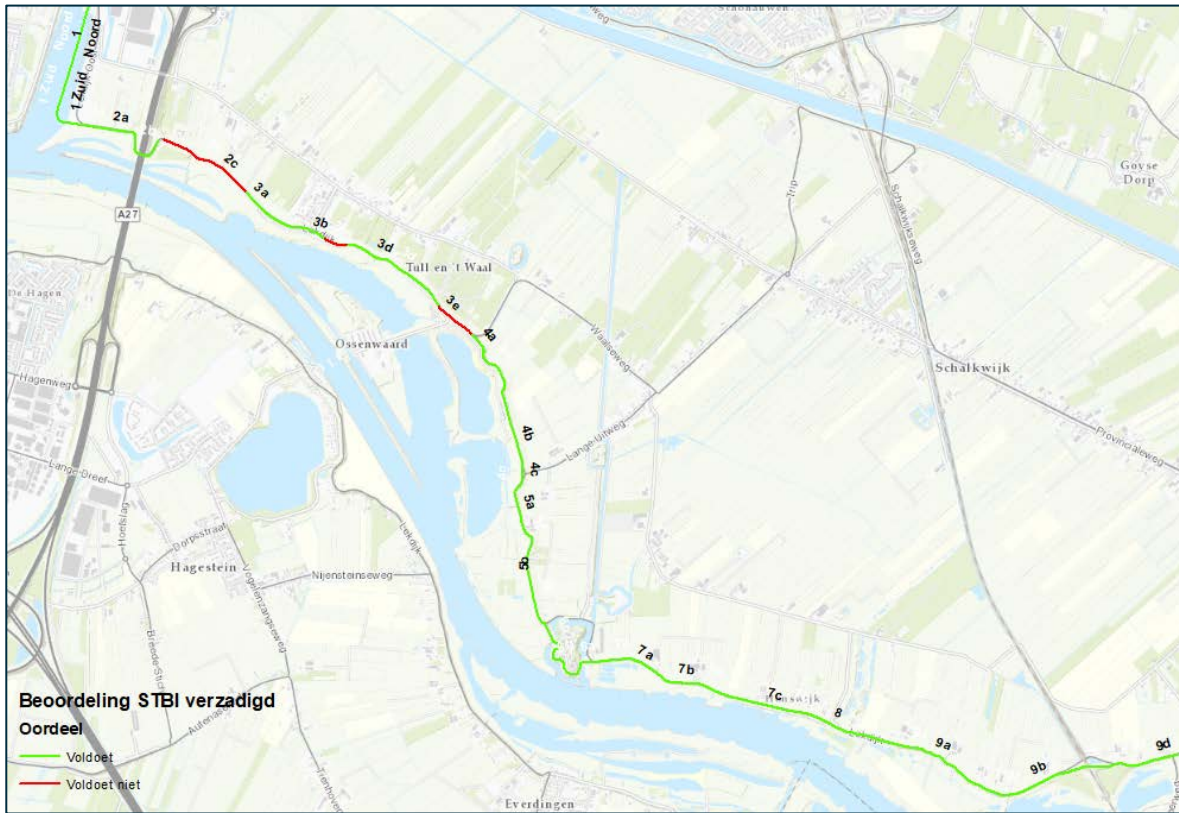
- Bij het onderbouwen van de schematiseringsfactoren is gebleken dat de berekende schematiseringsfactoren voor de binnenwaartse macrostabiliteit lager kan zijn dan de gehanteerde waarde van 1,1. Deze ruimte kan worden gebruikt bij het ontwerp van een oplossing voor de binnenwaartse macrostabiliteit.

In figuur 3.8 en figuur 3.9 zijn de resultaten van de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit grafisch weergegeven. In figuur 3.10 zijn de resultaten van de beoordeling van de buitenwaartse macrostabiliteit weergegeven.

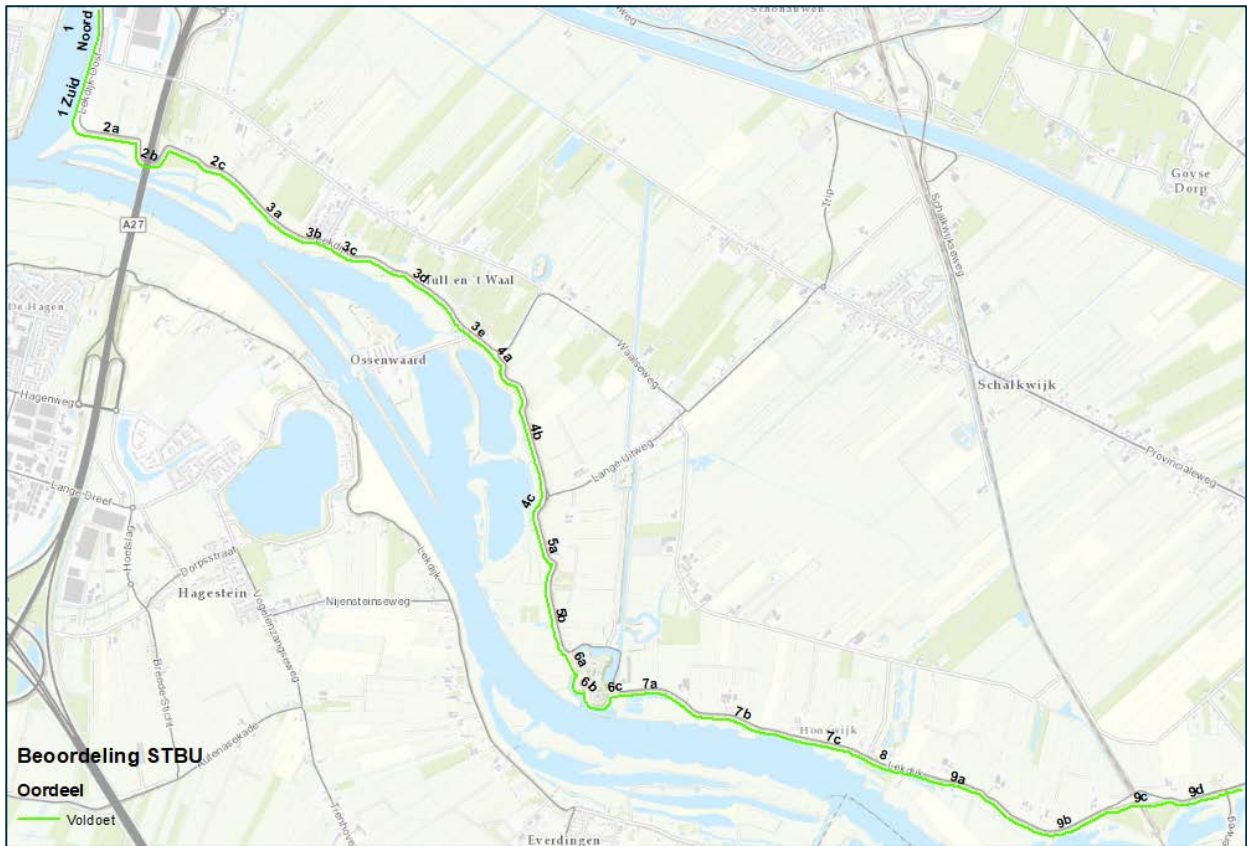
De resultaten van de beoordeling voor het faalmechanisme macrostabiliteit zijn niet vergeleken met de resultaten uit de vorige veiligheidsanalyse [1]. In de vorige veiligheidsanalyse zijn sterk afwijkende uitgangspunten, rekenmethoden en rekenprogramma's toegepast. Het heeft geen meerwaarde om de resultaten van deze achterhaalde uitgangspunten te vergelijken met de nieuwe veiligheidsanalyse zoals beschreven in deze rapportage.



Figuur 3.8: Score beoordeling binnenwaartse macrostabiliteit belastingssituatie Waterstand bij Norm (WBN).



Figuur 3.9: Score beoordeling binnenwaartse macrostabiliteit verzadigd binnentalud belastingssituatie Waterstand bij Norm (WBN).



Figuur 3.10: Score beoordeling buitenwaartse macrostabiliteit belastingssituatie val na hoog water.

4 Beoordeling piping

4.1 Inleiding

Voor de beoordeling van piping is per dijkpaal gekeken naar het optreden van opbarsten, heave en terugschrijdende erosie. Per dijkpaal is een maatgevend profiel geschematiseerd en zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten opgesteld. In dit hoofdstuk is geen analyse ter plaatste van Fort Honswijk opgenomen. Voor de analyse van Fort Honswijk wordt verwezen naar hoofdstuk 8. Als eerste worden de resultaten voor opbarsten gepresenteerd, vervolgens de resultaten voor heave en als laatste de resultaten van de terugschrijdende erosie. Falen van de dijk op het mechanisme piping houdt in dat allereerst opbarsten dan heave en vervolgens terugschrijdende erosie plaatsvindt. Wanneer de dijk voldoet op één van de drie mechanismen is het oordeel voldoende. Indien per dijkpaal op alle drie de mechanismen geen voldoende oordeel wordt aangetroffen is het totaal oordeel onvoldoende.

Als onderdeel van de verkenningfase is in een parallel spoor een maatwerkeraanpak uitgevoerd naar piping [21]. Door slim te meten en te rekenen aan de sterkte van de dijk in maatwerk analyses is de optimalisatie ruimte in de piping opgave verkend. Om de invloed van deze analyse op de veiligheidsopgave te onderzoeken is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de kwelweglengte en de doorlatendheid van het zandpakket is gevarieerd (zie paragraaf 4.1.7).

4.1.1 Randvoorwaarden en uitgangspunten

De randvoorwaarden en uitgangspunten voor de beoordeling op opbarsten heave en piping zijn benoemd in de Technische Uitgangspuntennotitie (TUN) [3]. Aanvullend daarop zijn de volgende randvoorwaarden en uitgangspunten toegepast.

- In voorliggende rapportage is een bijzondere beoordeling uitgevoerd. Er is gekeken naar het zichtjaar 2073 en gebruik gemaakt van het OI2014v4 om te beoordelen of het huidige dijkprofiel en ondergrond voldoet aan het ontwerp. Daarom wordt gewerkt met een schematiseringsfactor in plaats van de scenario's uit het WBI.
- De beoordeling is per dijkpaal uitgevoerd.
- Per dijkpaal is een inventarisatie gemaakt met betrekking tot de aanwezigheid van binnendijkse kwel sloten en/of tussenzandlagen. Als opbarstlocatie zijn, indien relevant, en tweetal situatie beoordeeld: 1) opbarstlocatie ter plaatse van de binnentee van de dijk en 2) opbarstlocatie ter plaatse van een lokaal aanwezige kwel- of kopsloot. Ook zijn eventueel aanwezige tussenzandlagen beoordeeld. In de rapportage is alleen de laagste factor vermeld aangezien deze als maatgevend geldt.
- Er is gerekend met karakteristieke waarden. Onderstaand is per parameter aangegeven hoe met deze parameter is omgegaan in de analyse:
 - d_{70} : In deze analyse is voor de d_{70} niet de waarde van het WBI SOS aangehouden maar een laag karakteristieke waarde bepaald op basis van zeefproeven, zie ook de uitwerking van de proevenverzameling [14]. Dit is gedaan omdat er voldoende zeefproeven beschikbaar zijn om goede waarde uit af te leiden die goed aansluit bij de lokale situatie. Doordat er voldoende proeven aanwezig zijn is het ook mogelijk om rekening te houden met de regionale spreiding in de resultaten en onderscheid te maken tussen verschillende gebieden;
 - Doorlatendheid zandlaag: De gemiddelde waarde van de doorlatendheid is overgenomen uit voorgaande toetsing [22] en varieert van 40 tot 50 m/d. De in deze toetsing aangehouden waarde betreft een gemiddelde waarde die is afgeleid uit de SOS en REGIS. Deze gemiddelde waarde is middels een variatiecoëfficiënt van 0,5 (conform WBI) omgezet naar een hoog karakteristieke waarde. Op basis van het regionale geohydrologische model REGISII volgt dat deze waarde voor de variatiecoëfficiënt geen

- overdreven veilige waarde betreft. REGIS geeft een gemiddelde variatiecoëfficiënt van ca. 0,54 [-] en een karakteristieke bovengrens van ca. 0,6 [-] in horizontale doorlatendheid voor het Kreftenheye pakket (KRE3) onder de Lekdijk;
- Verzadigd volumiek gewicht van grondsoorten in deklaag: op basis van de volumegewicht bepalingen uit de proevenverzameling [14] en het aanvullend uitgevoerde grondonderzoek [5]. Hierbij is per grondsoort (veen, klei en zand) een lage karakteristieke schatting van de laaggemiddelde waarde gehanteerd conform [23]. Omdat op basis van de beschikbare sonderingen het niet mogelijk is om een onderscheid te maken tussen Klei licht en Klei zwaar zijn de volumegewicht bepalingen van alle kleimonster samengevoegd zodat voor klei één waarde wordt gebruikt. Om de juistheid van deze werkwijze te controleren is het gewicht van de deklaag op zeven verschillende locaties verspreid over het deelproject CUB bepaald waarbij naast een mechanische boring ook een sondering beschikbaar is. Op deze locaties is het gewicht van de deklaag bepaald op basis van mechanische boringen waarbij over de gehele deklaag volumegewichten beschikbaar zijn en op basis van de interpretatie van een sondering waarbij per grondsoort de karakteristieke waarde van het volumegewicht is gehanteerd. De resultaten van deze vergelijking zijn opgenomen in bijlage V. Uit deze vergelijking volgt dat de bepaling van het gewicht van de deklaag op basis van een sondering voor drie locaties leidt tot een kleine overschatting (maximaal 2 kPa) t.o.v. de bepaling met mechanische boringen en volumegewicht bepalingen. Hiermee is aangetoond dat deze werkwijze voldoende conservatief is. Daarnaast is bij de bepaling van de schematiseringsfactor voor opbarsten ook een scenario meegenomen waarbij het gewicht van de deklaag lager is. Hiermee is een voldoende conservatieve bepaling van het gewicht van de deklaag gewaarborgd;
 - Kwelweglengte: Voor de kwelweglengte is geen variatiecoëfficiënt aangehouden. Per dijkpaal is de minimale afstand bepaald (= dijkbasis+voorland indien expliciet aangetoond). Onzekerheden omtrent de kwelweglengte zijn afgevangen in de schematiseringsfactor;
 - Dikte van de deklaag: voor de dikte van de deklaag is geen variatiecoëfficiënt toegepast. De maatgevende deklaagdikte is afgeleid op basis van het grondonderzoek en geotechnische lengteprofielen Hierdoor kan vrij nauwkeurig worden bepaald waar de overgang tussen de cohesieve lagen en het zandpakket is gelegen. Eventuele onzekerheden zijn verder meegenomen in de afleiding van de schematiseringsfactoren;
 - Dikte aquifer: voor de dikte van de aquifer is de minimaal aanwezige waarde aangehouden. Eventuele onzekerheden zijn afgevangen met de schematiseringsfactor;
 - Stijghoogte ter plaatse van uittredepunt: voor de stijghoogte binnendijks is de maatgevende stijghoogte (behorend bij het uittredepunt) gekozen. Hierbij is de stijghoogte gehanteerd die is bepaald in de responsanalyse die is opgenomen in bijlage H. Onzekerheden zijn verdisconteerd in de schematiseringsfactor.
- Binnendijks zijn op een aantal plaatsen kwel sloten en watergangen aanwezig. Binnendijks zijn van de waterpartijen dieptemetingen beschikbaar. Deze zijn gebruikt voor de bepaling van de effectieve deklaagdiktes. Bij de kwel sloten zijn binnendijks geen metingen uitgevoerd. Voor het bepalen van de geometrie omtrent de kwel sloten zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:
 - Diepte harde bodem is overgenomen uit de legger, hierbij is gehanteerd: het winterpeil – waterdiepte = bodem watergang;
 - Taludhellingen van de kwel sloten zijn gelijk aan 1:1,5;
 - De breedte van de watergang op maaiveldniveau is opgemeten uit de BGT en afgerond op 0,5 m.
 - Extra kwelweglengte door aanwezig voorland is op veel plaatsen niet in rekening gebracht omdat hier niet genoeg onderzoekspunten aanwezig zijn. Ter plaatse van de EM-metingen is het

voorland meegenomen op basis van de uitgangspunten uit de technische uitgangspuntennotitie [3].

4.1.2 Schematiseringsfactoren

Voor het uitvoeren van beoordeling is ook een schematiseringsfactor benodigd. In deze paragraaf is per deelfaalmechanisme de afleiding van de schematiseringsfactor nader toegelicht. Hierbij zijn de gehanteerde scenario's, aanpassingen aan de parameters en toegekende kansen weergegeven. Voor het bepalen van de schematiseringsfactor is per deelfaalmechanisme een profiel gekozen dat nabij de veiligheidsfactor 1,0 ligt. Onderstaande opsomming geeft de gekozen profielen:

- Opbarsten: dwarsprofiel 204
- Heave: dwarsprofiel 227
- Piping: dwarsprofiel 238

Voor de inschatting van de scenario's zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Kans van optreden van alle scenario's bij elkaar mag niet groter zijn dan 30%;
- Voor elke parameter die relevant is in de berekening is een scenario opgesteld;
- De kans van optreden per scenario is ingeschat op basis van onderstaande uitgangspunten:
 - Deklaagdikte: Per profiel is de ligging van het maaiveld bekend en is middels het grondonderzoek de laagopbouw gedetailleerd in kaart gebracht. Daarom is voor de deklaagdikte een kans van voorkomen 5% aangehouden;
 - De stijghoogte bij binnenteen: De maatgevende stijghoogte is afgeleid op basis van een uitgebreide responsanalyse van peilbuizen. Daarom is voor de kans van optreden van een scenario met een hogere stijghoogte een kans van 10% ingeschat;
 - Maaiveldniveau en polderpeil; De ligging van het maaiveld en het te hanteren polderpeil die in de analyses (heave en piping) is aangehouden is nauwkeurig te herleiden op dwarsprofielniveau. Daarom is voor de kans van optreden van dit scenario een kans van 5 tot 10% ingeschat;
 - De gehanteerde parameters voor volumiek gewicht is gebaseerd op karakteristieke waarden bepaald op basis van proefresultaten. De kans dat dit afwijkt wordt ingeschat op 10%. Impliciet wordt hier ook rekening gehouden met het scenario waarbij de verhouding van de cohesieve lagen anders is. (Bijvoorbeeld een iets dikker veenpakket en een wat dunner kleipakket of andersom);

In onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de aangehouden scenario's per deelfaalmechanisme, de kans van voorkomen en de afwijking van de betreffende parameter:

Tabel 4-1 Scenario's voor afleiding van schematiseringsfactor voor opbarsten DP204

Scenario	Omschrijving	Aanpassing aan parameter	Kans van optreden [%]
0	Basisschematisatie		
1	Deklaagdikte kleiner -0,50 m	7,05 m > 6,55 m	5%
2	Stijghoogte binnenteen +0,25 m	4,89 > 5,14	10%
3	Gemiddeld volumiek gewicht van de deklaag (-1kPa)	17,1 kN/m ³ > 16,1 kN/m ³	10%

Tabel 4-2 Scenario's voor afleiding van schematiseringsfactor voor heave DP227

Scenario	Omschrijving	Aanpassing aan parameter	Kans van optreden [%]
0	Basischematisatie		
1	Polderpeil/maaiveld 10% lager	2,15 m t.o.v. NAP > 1,94 m t.o.v. NAP	10%
2	Stijghoogte binnenteen +0,25 m	4,01 m t.o.v. NAP > 4,26 m t.o.v. NAP	10%
3	Deklaagdikte kleiner -0,50 m	8,85 m > 8,35 m	5%

Tabel 4-3 Scenario's voor afleiding van schematiseringsfactor voor piping DP238

Scenario	Omschrijving	Aanpassing aan parameter	Kans van optreden [%]
0	Basischematisatie		
1	Deklaagdikte kleiner -0,50 m	9,0 m > 8,5 m	5%
2	Groter verval ΔH (Polderpeil/maaiveld -10%)	5,2 m > 5,8 m	5%
3	Dikker watervoerend pakket +20%	53,0 m > 63,6 m	5%
4	Kortere kwelweglengte -10%	105,0 m > 94,5 m	1%*1

1) De kans van optreden van scenario 4 wordt niet groot geacht omdat in de meeste gevallen is uitgegaan van de ligging van de binnenteen en buitenteen voor het bepalen van de kwelweglengte en de maatgevende lengte is gebruikt binnen het vak van ca. 100m. De kans is vele malen groter dat een deel van het aanwezig voorland (met uitzondering van schaar dijken) nog in rekening kan worden gebracht bij aanvullend onderzoek.

Voor het afleiden van de schematiseringsfactoren is gebruik gemaakt van de rekenblokken die beschikbaar zijn gesteld in het kader van de OI2014v4. De onderliggende berekeningen zijn opgenomen in bijlage M. Samenvattend heeft dit geleid tot de volgende schematiseringsfactoren:

- Opbarsten 1,05
- Heave 1,05
- Piping 1,04

4.1.3 Beoordeling opbarsten

In voorliggende paragraaf is een overzicht gegeven van de uitgevoerde analyse en de resultaten van de toetsing op opbarsten bij het faalmechanisme STPH. De onderliggende berekeningen zijn opgenomen in bijlage N.

4.1.3.1 Analyse

De controle op opbarsten wordt uitgevoerd met onderstaande formule. In deze formule zijn de veiligheidsfactoren voor het deelfaalmechanisme verwerkt.

$$\frac{\Delta\Phi_{c,u}}{\gamma_{up} \cdot \gamma_{b,up}} \geq 1,0$$

Vergelijking 4.1

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 deelfaalmechanisme opbarsten [-]

Het verschil in stijghoogte waarbij de deklaag zal opbarsten is het kritieke stijghoogteverschil en is te berekenen met onderstaande formule:

$$\Delta\Phi_{c,u} = D_{deklaag} \cdot \frac{\gamma_{sat} - \gamma_{water}}{\gamma_{water}}$$

Vergelijking 4.2

Waarin:

$\Delta\Phi_{c,u}$	Kritiek stijghoogteverschil over de deklaag [m]
$D_{deklaag}$	Dikte van de deklaag [m]
γ_{sat}	Verzadigd volumiek gewicht deklaag [kN/m ³]
γ_{water}	Volumiek gewicht water [kN/m ³]

Het optredend stijghoogteverschil is gegeven door de volgende formule.

$$\Delta\Phi = \Phi_{exit} - h_{exit}$$

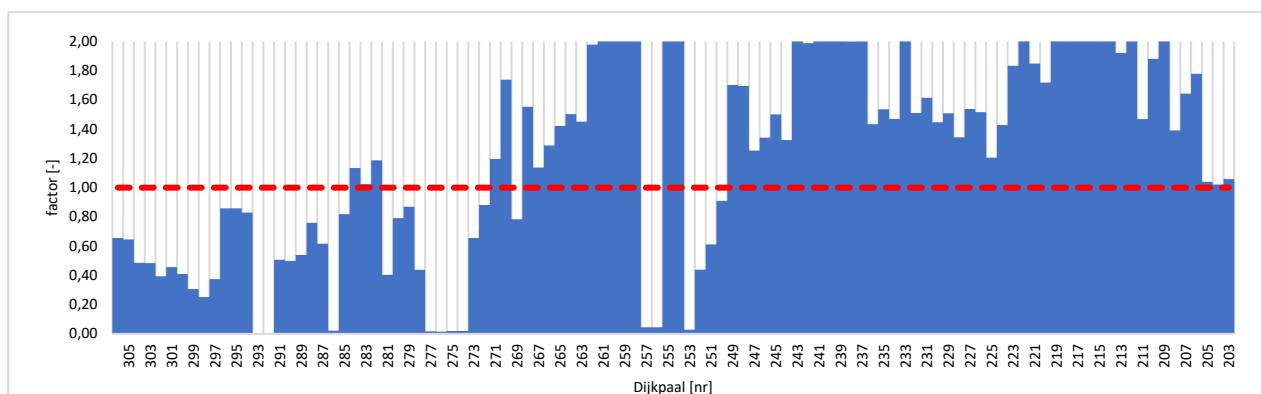
Vergelijking 4.3

Waarin:

$\Delta\Phi$	Optredend stijghoogteverschil [m]
Φ_{exit}	Stijghoogte in watervoerende laag bij uittredepunt [m t.o.v. NAP]
h_{exit}	Maaiveldniveau bij uittredepunt [m t.o.v. NAP]

4.1.3.2 Resultaat

Per dijkpaal zijn de opbarstfactoren afgeleid en getoetst aan de waarde 1,0. Een toetsing aan de waarde 1,0 kan omdat alle veiligheidsfactoren al zijn verdisconteerd in de berekeningen. In onderstaande afbeelding zijn de resultaten grafisch weergegeven. Op de horizontale as zijn de dijkpaalnummers weergegeven en op de verticale as de factor waaraan getoetst is.



Figuur 4.1: Toetsing op opbarsten per dijkpaal

Geconcludeerd kan worden dat met name in het oostelijk deel van het dijktraject voldoet aan de toetsing op opbarsten. Dit komt ook goed overeen met de dikkere deklagen die hier zijn aangetroffen in het grondonderzoek.

4.1.4 Beoordeling heave

In voorliggende paragraaf is een kort overzicht gegeven van de uitgevoerde analyse en de resultaten van de toetsing op heave bij het faalmechanisme STPH.

4.1.4.1 Analyse

Bij dit deelfaalmechanisme wordt de optredende heavegradiënt vergeleken met de kritieke heavegradiënt. De controle op heave vindt plaatst met onderstaande formule. In de formule zijn ook de veiligheidsfactoren van het deelfaalmechanisme heave verwerkt:

$$\frac{i_{c,h}}{\gamma_{he} \cdot \gamma_{b,he}} \geq 1,0$$

Vergelijking 4.4

Waarin:

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

De optredende heavegradiënt wordt berekend met behulp van de volgende formule

$$i = \frac{\Phi_{exit} - h_{exit}}{D_{deklaag}}$$

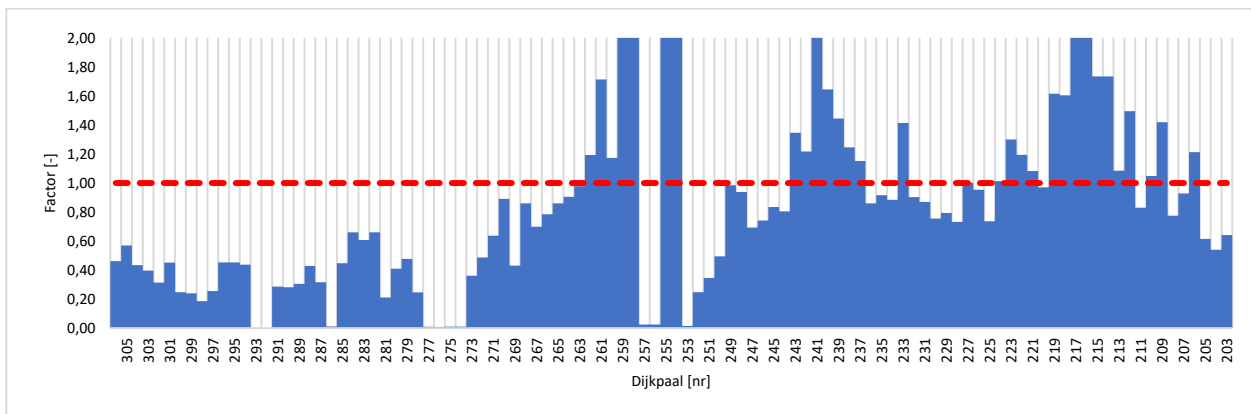
Vergelijking 4.5

Waarin

i	Optredende heavegradiënt [-]
Φ_{exit}	Stijghoogte in de watervoerende laag bij het uittredepunt [m t.o.v. NAP]
h_{exit}	Maaiveldniveau bij uittredepunt [m t.o.v. NAP]
$D_{deklaag}$	Dikte deklaag [m]

4.1.4.2 Resultaat

Per dijkpaal zijn de heavefactoren afgeleid en getoetst aan een waarde 1,0. Een toetsing aan de waarde 1,0 kan omdat alle veiligheidsfactoren al zijn verdisconteerd in de berekeningen. In figuur 4.2 zijn de resultaten grafisch weergegeven. Op de horizontale as zijn de dijkpaalnummers weergegeven en op de verticale as de factor waaraan getoetst is.



Figuur 4.2: Toetsing op heave per dijkpaal

Op basis van figuur 4.2 is evenals bij opbarsten goed te zien waar de dikke deklagen zich in het traject bevinden. De hoge vereiste veiligheidsfactor leidt echter niet overal tot een voldoende oordeel voor het deelfaalmecanisme heave.

4.1.5 Beoordeling piping

In voorliggende paragraaf is een kort overzicht gegeven van de uitgevoerde analyse en de resultaten van de toetsing op het deelmechanisme terugschrijdende erosie.

4.1.5.1 Analyse

Een dijktraject is voldoende beoordeeld op terugschrijdende erosie wanneer het kritiek verval (incl. veiligheidsfactoren) groter is dan het optredend verval volgens:

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

Vergelijking 4.6

Waarin:

ΔH	Optredende stijghoogteverschil over de deklaag [m]
$\Delta H_{c,p}$	Kritieke stijghoogteverschil [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 faalmecanisme piping [-]

Het verval over de waterkering is bepaald op basis van de volgende formule:

$$\Delta H = h - h_{exit} - r_c \cdot D_{deklaag}$$

Vergelijking 4.7

Waarin:

h	Niveau van de buitenwaterstand met een kans van voorkomen gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans P_{max} [m t.o.v. NAP]
h_{exit}	Maaiveldniveau bij uittredepunt [m t.o.v. NAP]
r_c	Reductiefactor voor de weerstand bij het uittredepunt = 0,3 [-]
$D_{deklaag}$	Dikte van de cohesieve deklaag [m]

Er is beoordeeld of het optredend verval over de kering voldoet aan het kritiek verval.

$$\Delta H_{c,p} = L \cdot F_{resistance} \cdot F_{scale} \cdot F_{geometry}$$

Vergelijking 4.8

Waarin:

$\Delta H_{c,p}$	Kritieke verval [m]
L	Kwelweglengte van intredepunt tot uittredepunt $L = X_{exit} - X_{entry}$ [m]
F_i	Factoren te bepalen met het aangepaste rekenmodel van Sellmeijer [-]

$$F_{resistance} = \eta \frac{\gamma_{sub.particles}}{\gamma_{water}} \{\tan(\theta)\}$$

Vergelijking 4.9

$$F_{scale} = \frac{D_{70.m}}{\sqrt[3]{kL}} \left(\frac{D_{70}}{D_{70.m}} \right)^{0,4}$$

Vergelijking 4.10

$$K = \frac{v_{water}}{g} k$$

Vergelijking 4.11

$$F_{geometry} = 0,91 \left(\frac{D}{L} \right) \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{0,28}{2,8} + 0,04} - 1$$

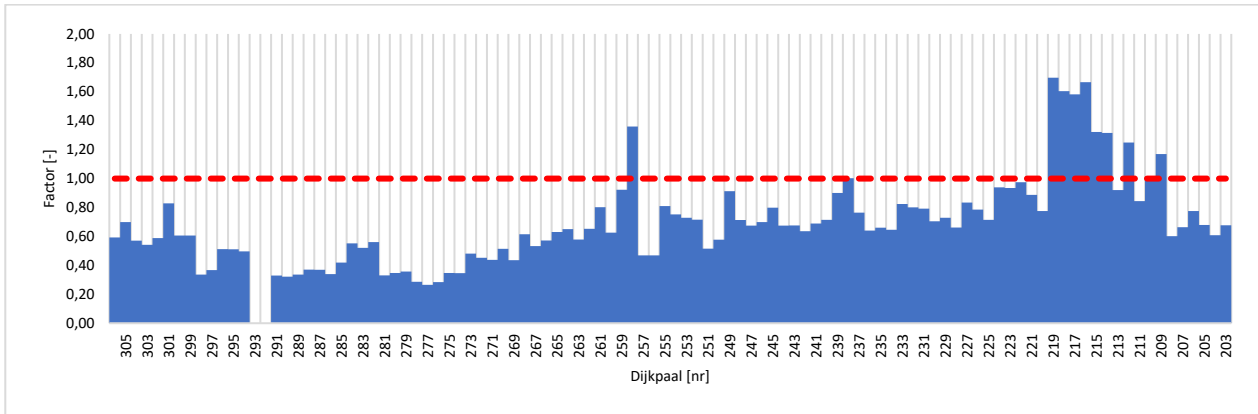
Vergelijking 4.12

Waarin:

L	Kwelweglengte van intredepunt tot uittredepunt $L = X_{exit} - X_{entry}$ [m]
$\gamma_{sub.particles}$	Volumegegewicht van zandkorrels onder water [kN/m ³]
γ_{water}	Volumegegewicht van water [kN/m ³]
D_{70}	70-percentielwaarde van de korrelverdeling van de piping-gevoelige laag [m]
$D_{70.m}$	Referentie D_{70} waarde [m]
K	Intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag [m ²]
k	Doorlatendheid volgens Darcy [m/s]
v_{water}	Kinematische viscositeit van water [m ² /s]
g	Zwaartekrachtversnelling [m/s ²]
D	Dikte van de zandlaag [m]
θ	Rolweerstand van zandkorrels van de aangepast Sellmeijer-regel [°]
η	Coëfficiënt van White, sleepkrachtfactor [-]

4.1.5.2 Resultaat

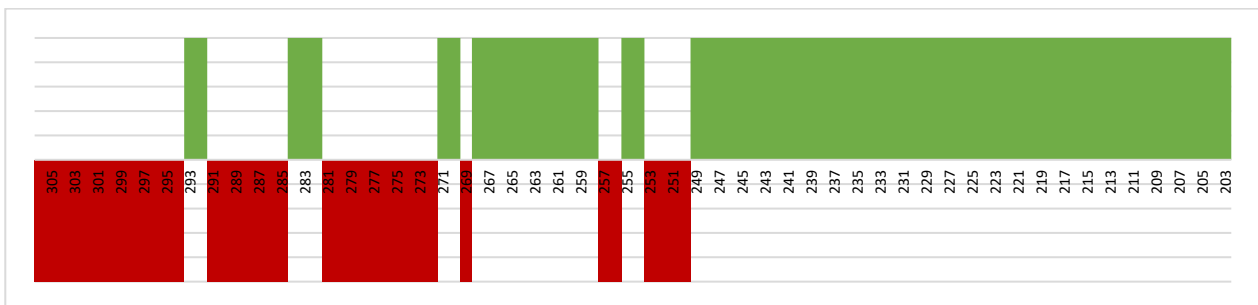
Per dijkpaal zijn de factoren voor piping afgeleid en getoetst aan een waarde 1,0. Een toetsing aan de waarde 1,0 kan omdat alle veiligheidsfactoren al zijn verdisconteerd in de berekeningen. In figuur 4.3 zijn de resultaten grafisch weergegeven. Op de horizontale as zijn de dijkpaalnummers weergegeven en op de verticale as de factor waaraan getoetst is.



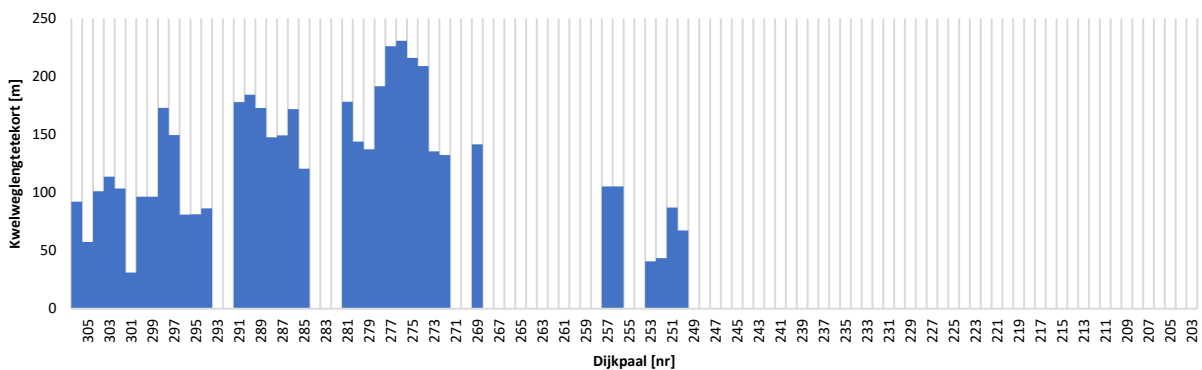
Figuur 4.3: Toetsing op piping per dijkpaal

4.1.6 Assemblage deelfaalmechanismen

Om tot een voldoende eindoordeel te komen dient één van de bovenstaande toetsingen een voldoende te scoren. Daarom zijn de bovenstaande oordelen gecombineerd. In onderstaande afbeelding is een overzicht gegeven van de eindscore van het dijktraject CUB. Dijkpalen waar het oordeel voldoende is, zijn aangegeven in een groene kleur en dijkpalen waar het oordeel onvoldoende is zijn aangemerkt met rood.



Figuur 4.4: Assemblage deelfaalmechanismen Piping beoordeling 2020



Figuur 4.5: Kwelweglengtetekort beoordeling 2020

In totaal zijn er 104 locaties (dijkpalen) beoordeeld op het faalmechanisme piping. In onderstaand overzicht is per deelmechanisme aangegeven hoeveel locaties zijn goedgekeurd of afgekeurd.

Tabel 4-4: Resultaten per deelfaalmecanisme

Deelfaalmecanisme	Totaal aan DWP	Goedgekeurd	Afgekeurd
Opbarsten	104	67	37
Heave	104	33	71
Piping	104	11	93
Totaal (geassembleerd)	104	67	37

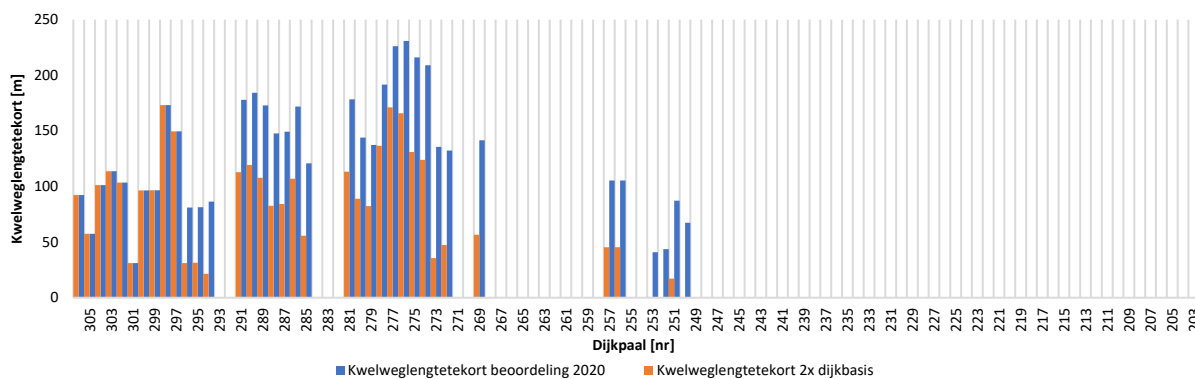
In totaal kan worden gesteld dat 64% van de totale lengte van de waterkering nu kan worden goedgekeurd. Met een trajectlengte van 10,8 km komt dit overeen met 6,9 km. Hierdoor blijft er nog 3,9 km over aan versterkingsopgave.

Een groot deel van de waterkering wordt nu goedgekeurd omdat opbarsten hier niet optreedt. Dit is een direct gevolg van het meenemen van de uitwerking van de peilbuismetingen. Indien de stijghoogte gelijk wordt gesteld aan de maatgevende buitenwaterstand (100% respons) dan treedt vrijwel overal opbarsten op en wordt er veel meer afgekeurd. Gesteld kan worden dat het meenemen van de peilbuismetingen veel heeft opgeleverd. Het meenemen van effectieve k bepaling is een andere mogelijke optimalisatie. Het effect van deze optimalisatie is geen onderdeel van dit rapport maar wordt uitgewerkt in de maatwerkrapport piping [21].

4.1.7 Gevoeligheidsanalyse kwelweglengte en doorlatendheid zandpakket

Een belangrijke parameter bij het uitvoeren van een pipinganalyse is de aanwezige kwelweglengte. De berekeningen zijn nogmaals uitgevoerd waarbij de dijkbasis is vermenigvuldigd met een factor 2. De achtergrond hiervan is dat een erosiepijp tot onder het voorland kan groeien zodat er kortsluiting kan ontstaan met het buitenwater. Hier kan van worden afgeweken indien meer informatie over het voorland bekend is. Gecontroleerd is of er daadwerkelijk een afstand van een dijkbasis aanwezig is tot aan de eerste waterpartij. Daarnaast zijn de resultaten waar een voldoende oordeel wordt behaald op één van de deelfaalmecanismen niet weergegeven.

In onderstaande figuren zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven. Omdat een langere kwelweg geen invloed heeft op de toetsen van opbarsten en heave zijn deze berekeningen achterwege gelaten.



Figuur 4.6: Verschil tussen kwelweglengtetekort bij een berekening met dijkbasis + voorland en 2x dijkbasis

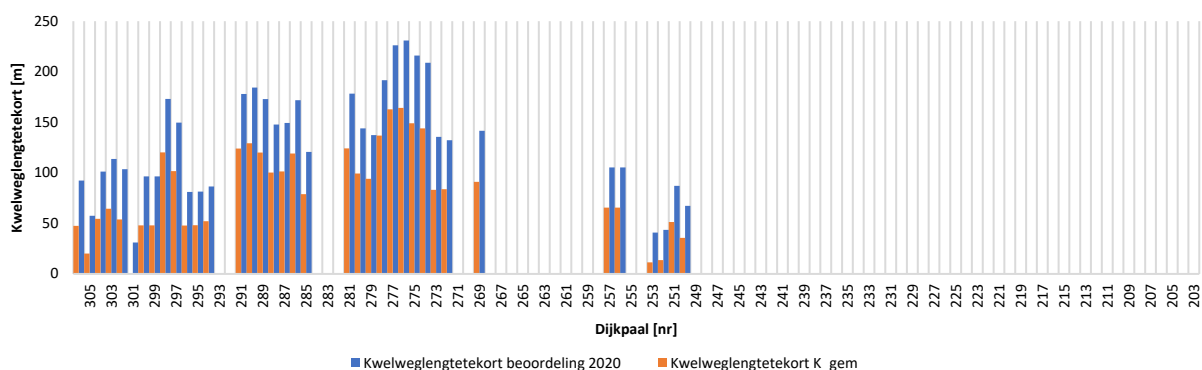


Figuur 4.7: Assemblage met 2x dijkbasis

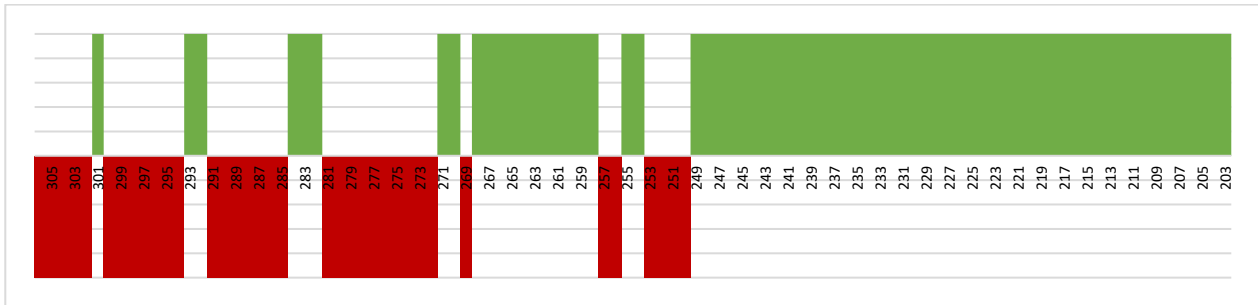
Met het meenemen van een langere kwelweg neemt het kwelweglengtetekort af. Het lijkt dan ook zinvol om, gezien het feit dat er op veel locaties voorland aanwezig is, nader onderzoek uit te voeren naar deze locaties. Hiermee kan de benodigde kwelweglengte verder worden geoptimaliseerd waardoor een ontwerp oplossingen als een berm op meer plaatsen kan worden toegepast. Een goed onderbouwd onderzoek kan uitsluitsel geven over hoeveel voorland er exact kan worden meegenomen.

Een analyse met 2x dijkbasis leidt tot goedkeuring van 64% van de beschouwde dwarsprofielen ten opzichte van 67% met 1x de dijkbasis. Hoewel er nu bij 46 dwarsprofielen een voldoende oordeel voor het deelfaalmecanisme piping wordt gevonden (ten opzichte van 11) is een groot deel van deze locaties al goedgekeurd omdat opbarsten hier niet optreedt.

Daarnaast is ook een gevoeligheidsanalyse met een gemiddelde doorlatendheid van het zandpakket uitgevoerd (variërend van 40 tot 50 m/d) in plaats van een karakteristieke doorlatendheid (variërend van 78 tot 97 m/d). De karakteristieke doorlatendheid kan worden geoptimaliseerd door het meenemen van anisotropie en meerlaagsheid zoals blijkt uit de uitgevoerde maatwerk aanpak voor piping [21] in het parallelle spoor binnen de verkenningfase. Op deze specifieke maatwerklocaties is een karakteristieke effectieve doorlatendheid van het watervoerende zandpakket gevonden, variërend van 55 tot 69 m/d. Met aanvullende HPT-AMPT sonderingen kan deze karakteristieke doorlatendheid verder worden aangescherpt en kunnen deze resultaten ook worden vertaald naar de rest van het traject.



Figuur 4.8: Verschil tussen kwelweglengtetekort met een karakteristieke doorlatendheid en een gemiddelde doorlatendheid zandpakket

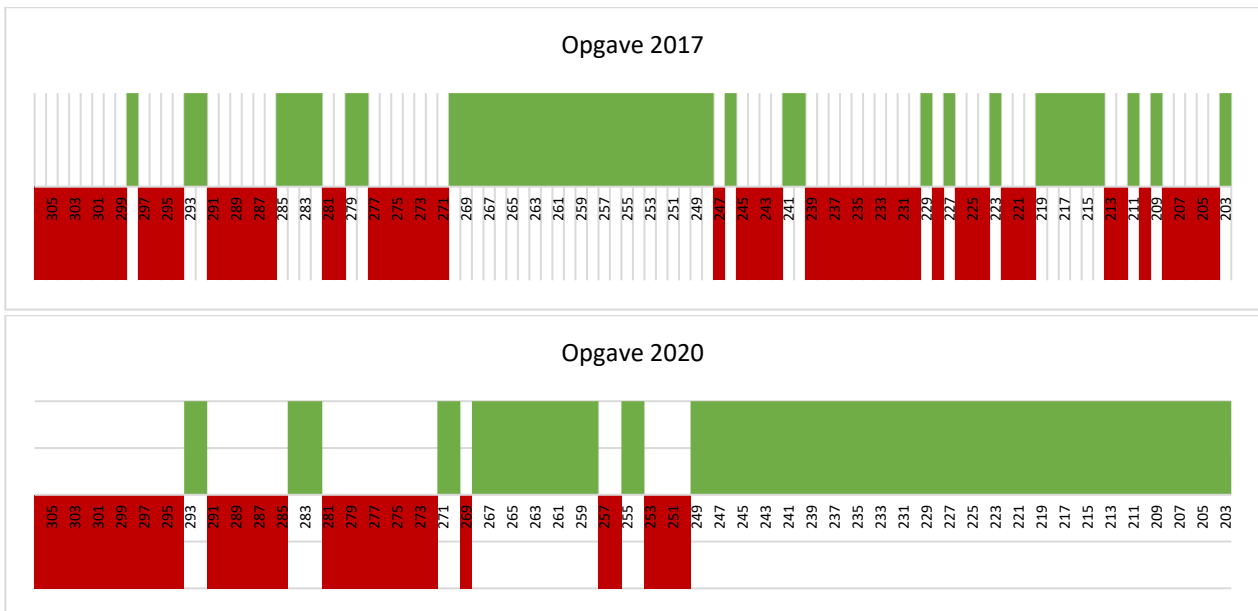


Figuur 4.9: Assemblage met gemiddelde doorlatendheid zandpakket

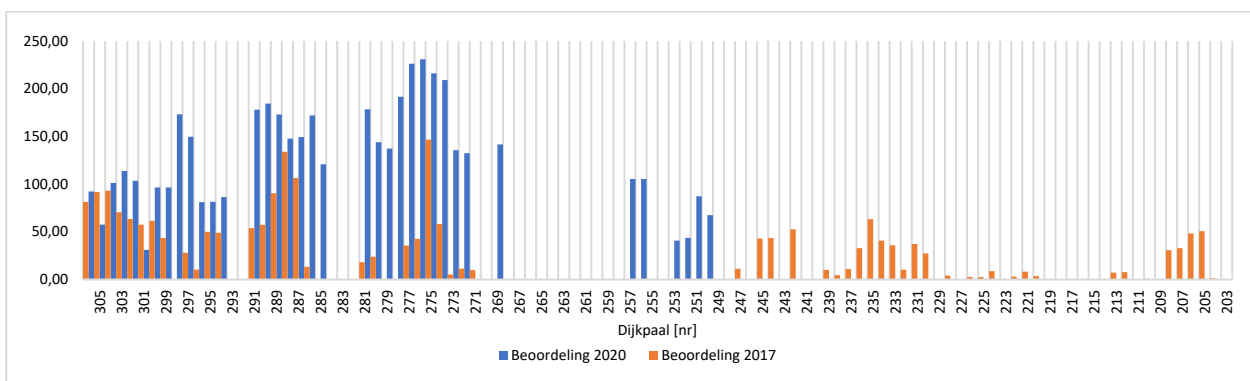
Een analyse met gemiddelde doorlatendheid leidt tot goedkeuring van 65% van de beschouwde dwarsprofielen ten opzichte van 64% met een karakteristieke doorlatendheid. Hoewel er nu bij 25 dwarsprofielen een voldoende oordeel voor het deelfaalmecanisme piping wordt gevonden (ten opzichte van 11) is een groot deel van deze locaties al goedgekeurd omdat opbarsten hier niet optreedt.

4.1.8 Vergelijk met voorgaande beoordeling

In 2017 is een aanscherping gedaan van de veiligheidsopgave voor de Sterke Lekdijk [7]. De in deze analyse verkregen kwelweglengtetekorten zijn uitgezet tegenover de nu bepaalde tekorten. Allereerst is er een vergelijk gemaakt tussen de locatie waar voorheen een veiligheidsopgave voor piping was bepaald en waar volgens deze analyse een veiligheidsopgave is.



Figuur 4.10: Vergelijk veiligheidsopgave piping 2017 met veiligheidsopgave piping 2020



Figuur 4.11: Vergelijk kwelweglengtetekort 2017 met kwelweglengtetekort 2020 (dijkpalen waarbij de beoordeling voor opbarsten of heave voldoende waren zijn buiten beschouwing gelaten bij de resultaten uit 2020)

Wat opvalt is dat de kwelweglengtetekorten in de deze analyse vele malen groter zijn dan de kwelweglengtetekorten uit eerdere analyses. Dit wordt verklaard doordat in deze analyse is gerekend met karakteristieke waarden terwijl het vermoeden bestaat dat in voorgaande analyses gebruik is gemaakt van gemiddelde waarden. Dit is bijvoorbeeld terug te zien in de K waarde van het 1^e watervoerend pakket. In deze analyse is een karakteristieke doorlatendheid van 78 m/dag tot 97 m/dag verkregen. In de voorgaande analyses lijkt te zijn gerekend met een gemiddelde K waarde van 40 m/dag á 45 m/dag. Dit geldt ook voor de overige in de pipinganalyse gehanteerde parameters. Een ander verschil tussen beide analyses is het aangehouden zichtjaar. Waar in 2017 een toetsing is uitgevoerd voor 2023 is nu gekeken naar het zichtjaar 2073. Toch zijn in de beoordeling van 2017 hogere belastingniveaus gehanteerd.

Voorhavendijk

In 2018 is de recent opgeleverde voorhavendijk bij de Beatrixsluis als voldoende beoordeeld in een aanvullende veiligheidsanalyse [12]. In voorliggende analyse wordt echter een negatief oordeel verkregen. Hoewel in beide analyse met karakteristieke waardes wordt gerekend. De gehanteerde parameters komen redelijk overeen met uitzondering van de gehanteerde K waarde en de dikte van de aquifer. Informatie gebruikt in deze analyse wijst op een gemiddelde doorlatendheid van 40 m/dag á 45 m/dag terwijl in de analyses van de voorhavendijk een doorlatendheid van gemiddeld 25 m/dag is gehanteerd. Daarnaast is in deze analyse uitgegaan van een dikte van de aquifer van gemiddeld 50 m met als bron de SOS. Bij de voorhavendijk is in de eerdere veiligheidsanalyse uitgegaan van een dikte van de aquifer van gemiddeld 25 m. Omdat de brondata van deze waardes niet kan worden achterhaald zijn deze waardes niet toegepast in deze analyse.

De gebruikte dikte in de toetsing van de Voorhavendijk is optimistisch. De geologische opbouw is ruwweg in meters vanaf het maaiveld: 0 – 7,5 Echteld (onderverdeeld in klei en zand) >7,5 – 21 Kreftenheye (zand en grind) > 21 – 32,5 Urk (zand en grind) 32,5 – en dieper Streksel (zand en grind). Daarmee is 25 m een positieve benadering en is de aanname van 50m aquifer een realistische.

Maatwerk aanpak piping

Als onderdeel van de verkenningsfase is in een parallel spoor een maatwerk aanpak uitgevoerd naar piping [21]. Door slim te meten en te rekenen aan de sterkte van de dijk in maatwerk analyses is de optimalisatie ruimte in de piping opgave verkend. Dit betekent dat de laatste inzichten met betrekking tot meerlaagsheid (doorlatendheidsvariatie) en anisotropie (verschil tussen horizontale en verticale doorlatendheid) binnen het piping gevoelige zandpakket en de weerstand van het voorland meegenomen worden in de berekeningen. Hiervoor is aanvullend onderzoek uitgevoerd o.b.v. peilbuisonderzoek naar waterdrukken onder de dijk en waterpartijen op het voorland, HPT-AMPT sonderingen waarmee een

continue doorlatendheidsprofiel van de bodem als ook de mate van anisotropie is bepaald. Dit biedt mogelijkheden voor optimalisatie van de opgave.

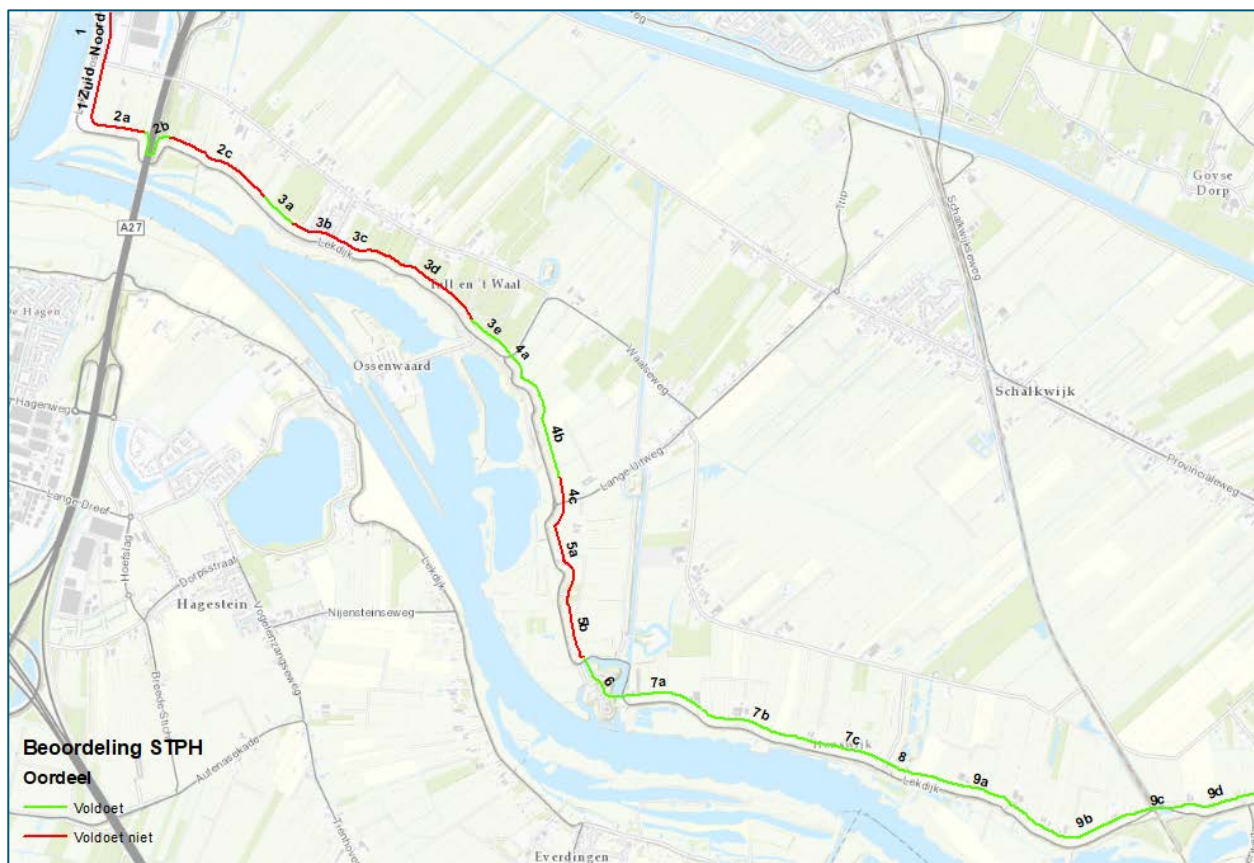
Het onderzoek is uitgevoerd langs een drietal dijktrajecten (dijkvak 4c/5a [248-257], dijkvak 3b [278-282] en dijkvak 2c [284-290]) waarvoor de maatwerkanalyses tot in detail zijn uitgewerkt. Dit zijn dan ook de locaties ten westen van Fort Honswijk waar een pipingopgave is. Binnen de maatwerkaanpak is een vertaling gemaakt naar de rest van het dijktraject CUB en van de Sterke Lekdijk als geheel. De eindresultaten van de maatwerkaanpak zijn beschikbaar en opgenomen in [21].

4.1.9 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk is de veiligheidsopgave met betrekking tot het faalmechanisme piping nader beschouwd en vergeleken met de eerder uitgevoerde veiligheidsanalyse uit 2017 [7]. Op basis van deze beschouwing zijn de volgende conclusies op te maken.

- Ten westen van Fort Honswijk (dijkpaal 245) geldt over het algemeen een pipingopgave met uitzondering van dijkvak 2b, 3a, 3e, 4a en 4b;
- Ten oosten van Fort Honswijk (dijkpaal 245) is geen pipingopgave;
- De kwelweglengtetekorten die volgen uit deze analyse zijn groter dan de tekorten uit eerdere analyses. Dit kan vermoedelijk worden verklaard doordat in deze analyse in de formules is gerekend met karakteristieke waarden waar in voorgaande analyses is gerekend met gemiddelde waarden.

In onderstaande afbeelding is de pipingopgave per dijkvak geprojecteerd over het projectgebied. De beoordeling van het faalmechanisme piping voor Fort Honswijk (dijkvak 6) is separaat opgenomen in hoofdstuk 8.



Figuur 4.12: Score beoordeling piping per dijkvak (het oordeel voor Fort Honswijk is separaat beoordeeld in hoofdstuk 8)

Op basis van voorliggende analyse worden de volgende aanbevelingen gedaan om uit te voeren in de planfase.

- Van de goedgekeurde stukken dijk worden de meeste delen goedgekeurd doordat opbarsten niet optreedt. De gevoeligheidsanalyse waarin 2x de dijkbasis is meegenomen laat zien dat het meenemen van het voorland ook voor het deelmechanisme piping tot een veel gunstiger oordeel kan leiden. In deze analyse zijn op enkele stukken al wel wat meters voorland in rekening gebracht maar er is nog geen vlakdekkend beeld. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar de opbouw van de deklaag in het voorland. Dit kan worden gedaan door het uitvoeren van EM-metingen gecombineerd met boringen in het voorland.
- In het parallel uitgevoerde onderzoek “Maatwerk aanpak piping CUB” [21] is gekeken naar de weerstand van waterbodems en het voorland, meerlaagsheid en de anisotrope binnen het watervoerende pakket. Aanbevolen wordt om ook deze resultaten mee te nemen in de volgende fase van het project. Zie ook het kopje “Maatwerk aanpak piping” in paragraaf 4.1.8.
- In de huidige beoordeling van piping is voor de karakteristieke doorlatendheid van het watervoerende zandpakket een waarde gehanteerd variërend van 78 tot 97 m/d. De karakteristieke doorlatendheid kan worden geoptimaliseerd door het meenemen van anisotropie en meerlaagsheid zoals volgt uit de uitgevoerde maatwerk aanpak voor piping [21] in het parallelle spoor binnen de verkenningsfase. Op deze specifieke maatwerklocaties is een karakteristieke effectieve doorlatendheid van het watervoerende zandpakket gevonden, variërend van 55 tot 69 m/d. Aanbevolen wordt om op basis van aanvullende HPT-AMPT sonderingen de karakteristieke doorlatendheid verder aan te scherpen en te vertalen naar de rest van het traject. Op deze manier kan een grote reductie van het kwelweglengtetekort worden gerealiseerd.
- In de maatwerk aanpak voor piping [21] is voor een aantal dijkvakken de weerstand van het voorland bepaald op basis van peilbuismetingen. Het kwelweglengtetekort kan hiermee significant worden gereduceerd. Aanbevolen wordt om deze aanscherping in de volgende fase mee te nemen in het ontwerp voor een pipingoplossing. Daarnaast wordt aanbevolen om de peilbuizen te blijven monitoren in de verwachting dat in de toekomst het voorland met enige meters onder water staat. Hierdoor kunnen meer peilbuis raaien gebruikt worden in de analyse en zijn de resultaten betrouwbaarder.

5 Beoordeling microstabiliteit

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het faalmechanisme microstabiliteit (STMI) beoordeeld.

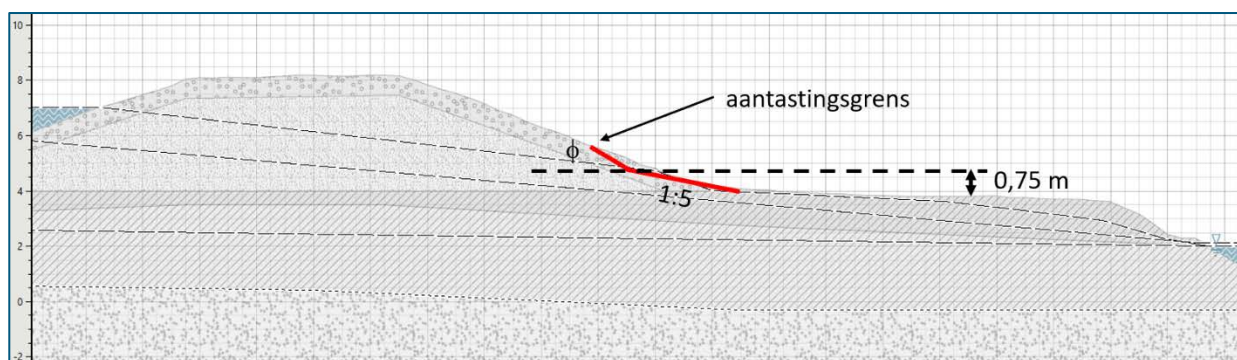
5.2 Beoordeling

Het faalmechanisme microstabiliteit kan conform het WBI [24] op basis van eenvoudige kenmerken van de dijk worden getoetst.

Indien aan een of meerdere van de volgende criteria wordt voldaan, is de bijdrage van microstabiliteit aan de overstromingskans verwaarloosbaar klein:

1. Het wordt aangetoond dat de binnenteen van de waterkering in voldoende mate gedraineerd wordt. Dit kan door aan te tonen dat een drainageconstructie in de teen van de waterkering goed functioneert.
2. De waterkering heeft een (slecht doorlatende) kleikern waarvan de hoogte gelijk is aan of hoger dan de waterstand bij de norm waarvan de basis aansluit op slecht doorlatende ondergrond.
3. Het gehele dijklichaam binnenwaarts van de binnenkruinlijn bestaat volledig uit klei.
4. De waterkering is zandig en heeft een zandig binnentalud met een helling flauwer dan 1V:5H. Met zandig binnentalud wordt bedoeld een binnentalud met ongeveer gelijke doorlatendheid als de kern van de dijk. Een kleibekleding ontbreekt in dit geval.

Dijkvak 6 Fort Honswijk voldoet voor microstabiliteit omdat hier een hoog achterland aanwezig is zodat water niet kan uit treden. De toegangsweg naar Fort Honswijk (groene dijk) DP244+635 bestaat echter uit een dijk die is opgebouwd uit zand met een kleibekleding. Hier is echter geen drainageconstructie aanwezig waardoor dit gedeelte niet beoordeeld kan worden met een eenvoudige toets. Voor dit gedeelte is daarom een gedetailleerde toets uitgevoerd door middel van een geometrische toets van het restprofiel. De geometrische toets gaat uit van een restprofiel benadering waarbij moet worden aangetoond dat voldoende restprofiel aanwezig is zodat geen kruinverlaging kan optreden. Deze geometrische toets is uitgevoerd in figuur 5.1. Hieruit blijkt dat de aantastingsgrens ruim buiten de kruin blijft zodat geconcludeerd kan worden dat geen kruinverlaging kan optreden en microstabiliteit voldoet.



Figuur 5.1: Toetsing groene dijk DP244+635 microstabiliteit met restprofiel

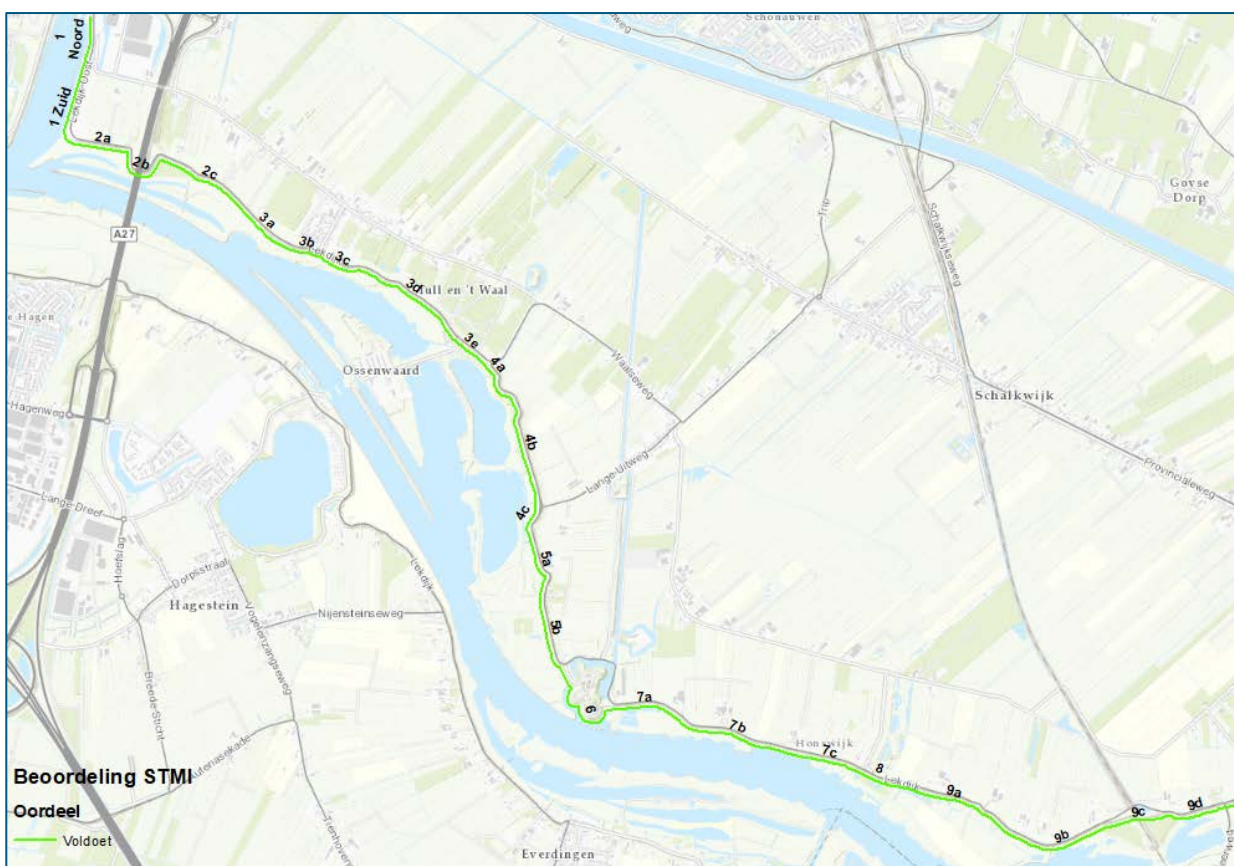
In tabel 5-1 is het veiligheidsoordeel per dijkvak opgenomen. Hierbij is tevens aangegeven waarop het veiligheidsoordeel is gebaseerd.

Tabel 5-1 Resultaten per dijkvak toetsing STMI

Dijkvak	Veiligheidsoordeel
1	Voldoet (dijklichaam van zand met drainerende zandlaag conform [12])
2a	Voldoet (dijklichaam bestaat uit klei)
2b	n.v.t. (Landhoofd A27)
2c t/m 5b	Voldoet (dijklichaam bestaat uit klei)
6 (Groene dijk)	Voldoet (geometrische toets restprofiel)
6 (Fort Honswijk)	Voldoet (hoog achterland)
7a t/m 9c	Voldoet (dijklichaam bestaat uit klei)

5.3 Conclusie

In dit hoofdstuk is de veiligheidsopgave met betrekking tot het faalmechanisme microstabiliteit beschouwd. Hieruit volgt dat alle dijkvakken voldoen voor dit faalmechanisme. In figuur 5.2 zijn de resultaten van de beoordeling van microstabiliteit grafisch weergegeven.



Figuur 5.2: Score beoordeling microstabiliteit

6 Beoordeling grasbekleding

6.1 Inleiding

Voor de beoordeling van de grasbekleding is gekeken naar de vier faalmechanismen van de grasbekleding. Dit zijn de faalmechanismen Gras Erosie Buitentalud (GEBU), Gras Afschuiven Buitentalud (GABU), Gras Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB) en Gras Afschuiven Binnentalud (GABI). Het hoofdstuk behandelt allereerst de faalmechanismen die van invloed zijn op het buitentalud GEBU en GEKB waarna vervolgens de faalmechanismen op het binnentalud worden behandeld (GEKB en GABI). Aan het einde van het hoofdstuk zijn de bevindingen samengevat.

6.2 Buitentalud

6.2.1 GEBU

6.2.1.1 Eenvoudige toets grasbekleding erosie buitentalud

De eenvoudige toets conform het WBI [24] 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 dan kan op grond van de eenvoudige toets geen oordeel worden geveld en dient verder te worden beoordeeld middels 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.

Het dijktraject van CUB bevat voor het grootste gedeelte een kleikern. Een uitzondering hierop is de Voorhavendijk bij de Beatrixsluis en de Groene Dijk waarop de toegangsweg naar Fort Honswijk is gelegen. Hier bestaat de dijk uit een zandkern met kleibekleding gelegen op een cohesieve grondpakket.

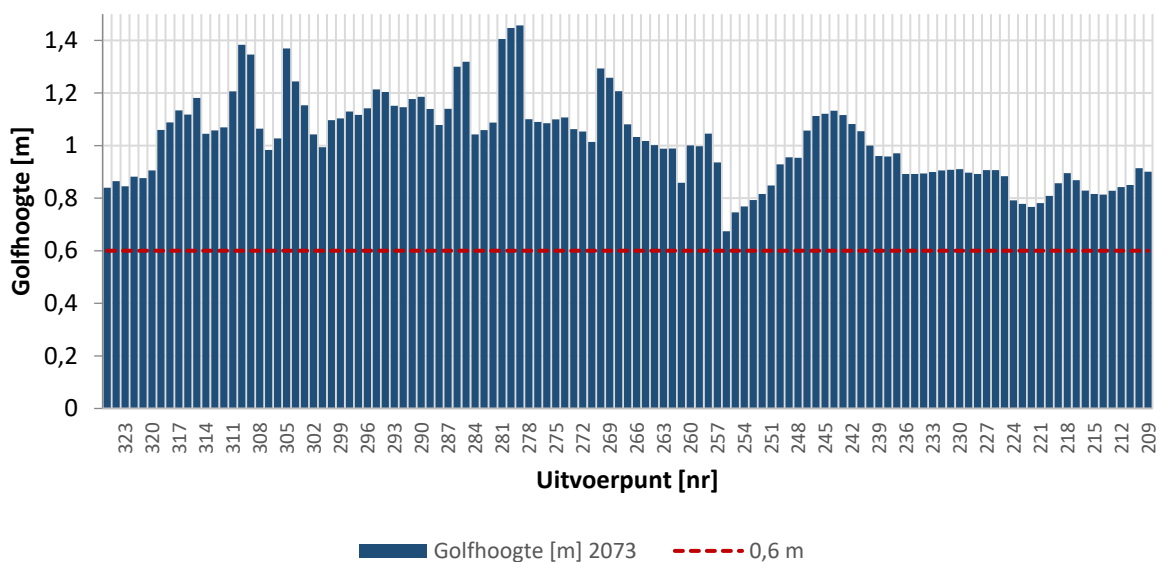
Met behulp van HydraNL is per uitvoerpunt de significante golfhoogte bij de norm uitgerekend en gekoppeld aan de dichtstbijzijnde dijkpaal. Voor deze berekening zijn onderstaande uitgangspunten aangehouden:

- HydraNL-versie 2.7.1 (2019);
- Database: WBI2017_Bovenrijn_44-1_v04;
- Berekeningstype: significante golfhoogte;
- Terugkeertijd 1:10.000 jaar;
- Zichtjaar 2073: lineaire interpolatie tussen de zichtjaren 2050 en 2100.

De golfhoogte is niet bepaald bij een faalkans per vak of doorsnede zodat geen rekening is gehouden met de faalkansbegroting of het lengte-effect. De berekende golfhoogten zijn gebaseerd op marginale golfstatistiek en zijn golven bij de norm. Er wordt geen rekening gehouden met het al dan niet aanwezig zijn van correlatie met de waterstanden. Voor de bovenrivieren waar geen correlatie is tussen wind en waterstand is deze benadering conservatief, behorende bij een eenvoudige toets. Daarnaast zijn voorland, dammen en de golfrichting niet beschouwd.

In onderstaande grafiek zijn de berekende golfhoogtes 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. Bij deze grafiek dient opgemerkt te worden dat het hier om uitvoerpunten gaat en niet om

dijkpaalnummers. Uitvoerpunt 209 is gelegen nabij dijkpaal 203 en uitvoerpunt 323 is gelegen nabij dijkpaal 306.



Figuur 6.1: Significante golfhoogte zichtjaar 2073 per uitvoerpunt (Terugkeertijd 1:10.000 jaar)

Op basis van bovenstaande grafiek kan worden geconcludeerd dat er geen uitvoerpunt is met een voldoende resultaat en dat de toetsing 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. In aanvulling op de TUN [3] is in een review van dit document door Arnold van der Kraan aangegeven dat HDSR een open zode voor de grasbekleding hanteert 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 CUB 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 dat voor elke locatie op de dijk een gedetailleerde toets dient te worden uitgevoerd.

6.2.1.2 Gedetailleerde toets grasbekleding erosie buitentalud

In de gedetailleerde toets voor grasbekleding erosie buitentalud wordt falen gedefinieerd als het moment waarop door erosie de grasbekleding is doorgesleten, zodat deze de ondergrond niet meer tegen erosie beschermt. Bij deze toets wordt waar mogelijk rekening gehouden met zowel falen van de toplaag, de grasbekleding als met de erosie van de kleilaag daaronder. Daarnaast wordt onderscheid tussen de golfklapzone en de golfploopzone. Voordat met een gedetailleerde toets kan worden gestart moet worden gecontroleerd of aan alle toepassingsvoorwaarden wordt voldaan. Dit is met onderstaande stappen uitgewerkt.

Stap G1: Voldoet aan toepassingsvoorwaarden voor de gedetailleerde toets

De graskwaliteit dient een open of gesloten zode te zijn. Aan deze voorwaarde wordt voldaan doordat het uitgangspunt in het project is dat de gehele dijk beschikt over een open zode [3]. De taludhelling dient 1V:2,5H of flauwer te zijn. Gecontroleerd is aan de hand van dwarsprofielen haaks op de dijkpalen of er taludhellingen zijn die steiler zijn dan 1V:2,5H. Deze zijn niet aangetroffen. Aan Stap G1 wordt dus voldaan.

Stap G.2a: analyse belasting en sterkte grasbekleding in de golfoploopzone

In deze stap wordt de erosie van de grasbekleding in de golfoploopzone beoordeeld. Het betreft hier een semi-probabilistische berekening uitgevoerd in BMgrasbuitentalud. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

- BMgrasbuitentalud versie 19.1.2.8540;
- Er is geen rekening gehouden met erosie van de onderlaag;
- De beoordeling vindt plaats voor één, het maatgevend, punt op het buitentalud. Dat maatgevend punt is het laagstgelegen punt van de grasbekleding in de golfoploopzone;
- Voor de kritische stroomsnelheid U_c is uitgegaan van 4,3 (open zode), conform de schematiseringshandleiding grasbekleding [25];
- De benodigde hydraulische belasting bestaat uit het stormverloop (waterstand en golfcondities) die conform bijlage II Hydraulische belastingen [26] wordt bepaald. De hydraulische belastingen worden met behulp van de WBI 2017-software bepaald. De cumulatieve overbelasting wordt in de BMgrasbuitentalud omgerekend naar een veiligheidsfactor. Deze factor wordt getoetst aan de waarde 1,0.

Stap G.2b: Analyse belasting en sterkte grasbekleding in de golfklapzone

In deze stap wordt de erosie van de grasbekleding en eventueel de onderliggende kleilaag in de golfklapzone beoordeeld. De beoordeling wordt uitgevoerd met BMgrasbuitentalud. De software berekent hoe de belastingduur zich verhoudt tot de standtijd van de grasbekleding inclusief eventuele sterkte van de kleilaag onder de grasbekleding. Deze verhouding wordt de faalfractie genoemd. De standtijd, de maat voor de sterkte van de bekleding, is de tijd dat de grasbekleding en eventueel een kleilaag een gegeven golfhoogte kunnen weerstaan. Voor de beoordeling van de grasbekleding in de golfklapzone gelden de volgende uitgangspunten:

- BMgrasbuitentalud versie 19.1.2.8540
- Voor de golfklapberekening zijn de volgende parameters aangehouden:
 - Δz : 0,05 m [3];
 - Min. significante golfhoogte: 0,0 m [3];
 - Max. significante golfhoogte: gelijk aan de hydraulische belasting op doorsnedeniveau;
 - Min. waterstand: minimale hoogte van de teen van de dijk, bij een schaaldijk de gemiddeld laagste waterstand op de rivier;
 - Max. waterstand: Maximale waterstand op doorsnedeniveau [8];
 - Coëfficiënt a: Voor een open zode geldt hier een waarde van 0,8 [3];
 - Coëfficiënt b: Voor een open zode geldt hier een waarde van -0,07 [3];
 - Coëfficiënt c: Voor een open zode geldt hier een waarde van 0,25 [3];
 - Zandgehalte: 0,4 (40%) [3];
 - Dikte kleilaag + gras: 0,5 m [3];
 - $Z_{grass,min}$: minimale hoogte van de teen van de dijk, bij een schaaldijk de gemiddeld laagste waterstand op de rivier;
 - $Z_{grass,max}$: gelijk aan de hydraulische belasting op doorsnedeniveau.

Representatieve profielen

Om een gedetailleerde toets per dijkpaal of uitvoerpunt uit te voeren dienen veel berekeningen te worden gemaakt. Daarom zijn eerst representatieve profielen per dijkvak opgesteld. Bij het selecteren van de representatieve profielen is gelet op de volgende eigenschappen:

- Bestaande dijkvakindeling;
- Oriëntatie van de profielen;
- Steilheid van de hellingen;
- Aanwezigheid van voorland.

Bij het vereenvoudigen van de geometrie zijn de richtlijnen uit de schematiseringshandleiding hoogte gevolgd [27]. Daarnaast is voor het voorland de maximale afstand aangehouden van de buitenteen tot aan het uitvoerpunt in Hydra-NL. Indien er niet voldoende voorland aanwezig is, is de kortste afstand binnen het representatieve vak aangehouden. Binnen het vak is ook gekeken naar de oriëntatie van de profielen. Conservatief is ervoor gekozen om de ongunstigste oriëntatie per vak mee te nemen in de toetsing en het afleiden van de golfcondities. In onderstaande tabel zijn de locaties van de representatieve profielen met de daarbij corresponderende uitvoerpunten van Hydra-NL en locaties in de waterstandsverlooptool samengevat.

Tabel 6-1 Maatgevende locaties met de daaraan gekoppelde invoerpunten van Hydra-NL, locaties uit de waterstandsverlooptool en het HBN [8]

Dijkpaal [-]	Invoerpunt Hydra-NL [-]	Locatie waterstandsverlooptool [-]	HBN 2073 conform [8] [m t.o.v. NAP]
206	213	104605	7,890
210	221	104614	7,782
211	222	104615	7,809
219	231	104625	7,849
239	250	104634	7,487
249	266	104649	7,395
265	282	104681	7,496
266	283	104682	7,418
272	289	104689	7,358
277	294	104696	7,338
288	305	104705	7,266
294	312	104715	7,226

Hydraulische belastingen

Het verloop van de waterstand is berekend met de Waterstandsverlooptool van Rijkwaterstaat. Daarvoor zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Waterstandsverloop tool versie 3.01 (2017);
- Database: Waterstandsverloop_Bovenrijn-WBI2017_v02;
- De maximale waterstand voor verloopmaximum is gelijkgesteld aan de resultaten van de HBN-berekening [8];
- Als terugkeertijd is de eis op doorsnedeniveau aangehouden van 1:222222 [3].

De relevante buitenwaterstanden en significante golfhoogtes zijn berekend met de “Q-variant” in de test modus. Voor deze berekening zijn de volgende randvoorwaarden en uitgangspunten aangehouden:

- HydraNL-versie 2.7.1 (2019);
- Database: WBI2017_Bovenrijn_44-1_v04;
- Voor de frequentie is een terugkeertijd van 1:222222, gelijk aan de faalkanseis op doorsnedeniveau [3];
- Berekeningen zijn uitgevoerd voor de zichtjaren 2050 en 2100. Resultaten voor 2073 zijn lineair geïnterpoleerd;
- Gehanteerde fysische bovengrens van de afvoer is afgetopt op 16000 m³/s vanwege “Lek ontzien” [3];
- Type berekening: Golfcondities bekledingen;
 - Laagste waterstand NAP 2,0 m;
 - Hoogste waterstand NAP 9,0 m;
 - Stapgrootte 0,5 m;
- Parameters voor golfcondities bekledingen;
 - Type: Grasmatt golfklapzone;
 - a – Hm0: 1,0;
 - b – Tp: 0,67;
 - Reductiefactor golfinval, c – beta: 0,0;
- De volgende modelonzekerheden zijn aangehouden;
 - Waterstand;
 - Verwachtingswaarde 0 m;
 - Standaarddeviatie 0,15 m;
 - Aantal door te rekenen waarden 7;
 - Golfhoogte;
 - Verwachtingswaarde factor 0,96;
 - Standaarddeviatie factor 0,27;
 - Aantal door te rekenen waarden 5;
 - Golfperiode;
 - Verwachtingswaarde factor Tm-1,0 1,03;
 - Standaarddeviatie factor Tm-1,0 0,13;
 - Verwachtingswaarde factor Tp 1,03;
 - Standaarddeviatie factor Tp 0,13;
 - Aantal door te rekenen waarden 5.

Resultaten

De berekende golfhoogtes bij verschillende waterstanden, het waterstandsverloop en de opgestelde profielen vormen gezamenlijk de input voor BMgrasbuitentalud. Nadat alles is ingevoerd kan dit programma een veiligheidsfactor per locatie bepalen. De resultaten hiervan zijn per representatief profiel in onderstaande tabel samengevat. De benodigde veiligheidsfactor bedraagt 1,0.

Tabel 6-2 Resultaten gedetailleerde toets GEBU

Dijkpaal	Veiligheidsfactor golfklap	Veiligheidsfactor golfoploop	Toetsoordeel
206	0,15	10,00	Onvoldoende
210	10,00	10,00	Voldoende
211	0,19	10,00	Onvoldoende

Dijkpaal	Veiligheidsfactor golfklap	Veiligheidsfactor golfoploop	Toetsoordeel
219	0,07	10,00	Onvoldoende
239	0,11	10,00	Onvoldoende
249	0,33	10,00	Onvoldoende
265	0,08	10,00	Onvoldoende
266	0,08	10,00	Onvoldoende
272	0,10	10,00	Onvoldoende
277	0,06	10,00	Onvoldoende
288	0,13	10,00	Onvoldoende
294	0,13	10,00	Onvoldoende

Uit tabel 6-2 volgt dat alleen bij dijkpaal 210 de toetsing voor golfklap voldoet. De toetsing voor golfoploop voldoet voor alle dijkpalen.

Beoordeling Voorhavendijk

De berekening met de Q-variant voor de golftrandvoorwaarden is bij de Voorhavendijk niet uitgevoerd. Dit heeft te maken met de recent uitgevoerde dijkverlegging. Om goede berekeningen uit te kunnen voeren dienen de strijklengtes voor deze locaties in de database te worden aangepast. Dat valt buiten de scope van deze beoordeling. De voorhavendijk is echter recent nog voldoende beoordeeld in BMgrasbuitentalud [12]. Daarnaast is een groot deel van de Voorhavendijk nu voorzien van een steenbekleding.

6.2.1.3 Toets op maat grasbekleding erosie buitentalud

Op de gehele waterkering is de grasbekleding in het buitentalud niet bestand tegen erosie. Dit met uitzondering van de Voorhavendijk en een klein stuk gelegen tussen dijkpaal 209 en 210. De dijk tussen dijkpaal 209 en 210 is gelegen in de luwte van het landhoofd van de spoorbrug en er is gerekend met een maximaal voorland (50m). Voor de onvoldoende resultaten is de volgende stap in het toetsproces het uitvoeren van een toets op maat.

Voor het uitvoeren van de toets op maat is gebruik gemaakt van de semi-probabilistische methode die door Fugro is ontwikkeld en voor het eerst is toegepast bij de verkenningsfase van de Grebbedijk [28]. Met deze methode wordt de reststerkte van de klei onderlaag ook meegenomen. Dit betekent wel dat gedurende maatgevende omstandigheden meer schade wordt toegestaan vergeleken met een bekleding waarvan de reststerkte niet wordt aangesproken. Naast het toepassen van een reststerkte analyse zijn ook de golfhoogtes bepaald met inachtneming van de hoek van inval. Daarvoor is de reductiefactor golfinval, $(c - \beta)$ aangepast naar 0,67.

Veiligheidsfilosofie

Voor het uitvoeren van een reststerkte berekening van de onderlaag zijn de volgende uitgangspunten aangehouden met betrekking tot de veiligheidsfilosofie:

- Invloedscoëfficiënten zijn conservatief ingeschat. Merk op dat de som van de gekwadrateerde invloedscoëfficiënten in tabel 6-3 groter is dan 1,0, wat betekent dat conservatieve waarden voor de invloedscoëfficiënten zijn gehanteerd. Deze waarde kan namelijk theoretisch nooit groter dan 1,0 worden.

- Op basis van de beoordeling bij de Grebbedijk met deze methode blijkt dat een relatief hoge invloedscoëfficiënt voor de belasting maatgevend is. Dit sluit aan bij de beoordeling van de grasbekleding conform [25], waarbij wordt uitgegaan van de golfcondities bij de faalkanseis per doorsnede in combinatie met een beperkte veiligheidsfactor op de sterkte. Op basis hiervan is voor de invloedscoëfficiënt voor de golfbelasting uitgegaan van een waarde van $\alpha_s = 1,0$, zodat de rekenwaarde van de golfbelasting wordt bepaald bij een kans van voorkomen gelijk aan de doorsnede-eis. Dit is in lijn met de schematiseringshandleiding grasbekleding [25]. Voor de invloedscoëfficiënt voor de sterkteparameters wordt uitgegaan van de ISO gestandaardiseerde waarde voor de combinatie van de sterkte, welke gelijk is aan $\alpha_R = 0,32$. Op basis van deze invloedsfactor is de veiligheidsfactor bepaald op basis van $\gamma = 1 \pm \alpha_R \cdot \beta_{\text{eis;drsn}} \cdot V$. Voor het erosievolume is een veiligheidsfactor/model coëfficiënt groter dan 1,0 gehanteerd, omdat een groter erosievolume maatgevend is. Deze veiligheidsfactor bedraagt in dit geval 1,37. Voor de insnijddiepte is een veiligheidsfactor/model coëfficiënt kleiner dan 1,0 gehanteerd, omdat een kleinere insnijddiepte maatgevend is. Deze veiligheidsfactor bedraagt in dit geval 0,78. De gehanteerde parameters zijn in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 6-3 Uitgangspunten toets op maat reststerkte benadering

Parameter	Verklaring	
$\beta_{\text{eis;drsn}}$	Doorsnede eis	4,7
α_s	Invloedscoëfficiënt golfbelasting	1,0
α_R ; erosievolume	Invloedscoëfficiënt erosievolume	0,32 ¹
α_R ; insnijddiepte	Invloedscoëfficiënt insnijddiepte	0,32 ¹
$\Sigma \alpha^2$	Som van de gekwadrateerde invloedsfactoren	1,2
$V_{\text{erosievolume}}$	Variatiecoëfficiënt erosievolume	0,25 ²
$V_{\text{insnijddiepte}}$	Variatiecoëfficiënt insnijddiepte	0,15 ²
H_s en T_p	Golfhoogte en golfperiode	Golfcondities bij de faalkanseis per doorsnede
$m_{\text{ce;d}}$	Veiligheidsfactor erosievolume	1,37 ³
$m_{\text{dt;d}}$	Veiligheidsfactor insnijddiepte	0,78 ⁴
C_e	Erosie coëfficiënt klei	0,55

1) ISO gestandaardiseerde invloedscoëfficiënt voor niet-dominante sterkteparameter
2) Overgenomen uit [29]
3) Model coëfficiënt (veiligheidsfactor) bepaald op basis van een normale verdeling: $\gamma = 1 + \alpha \cdot \beta_{\text{eis;drsn}} \cdot V$
4) Model coëfficiënt (veiligheidsfactor) bepaald op basis van een normale verdeling: $\gamma = 1 - \alpha \cdot \beta_{\text{eis;drsn}} \cdot V$.

Geometrie

Voor de bepaling van de hoeveelheid erosie zijn onder andere de taludhelling van het buitentalud en de kruinhoogte van belang. Bij een lagere kruinhoogte zal de erosie dieper insnijden in de kruin van de dijk dan bij een hogere kruinhoogte. Daarnaast zal de erosie dieper insnijden bij een steil talud dan bij een flauw talud. De taludhelling is bepaald uit representatieve profielen per dijkvak.

Hydraulische randvoorwaarden

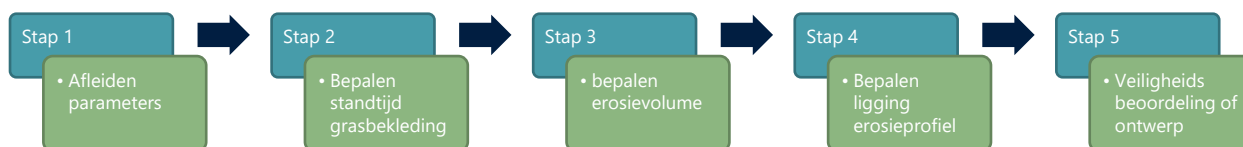
Voor de bepaling van de hoeveelheid erosie zijn onder andere de taludhelling van het buitentalud en de kruinhoogte van belang. Bij een lagere kruinhoogte zal de erosie dieper insnijden in de kruin van de dijk dan bij een hogere kruinhoogte. Daarnaast zal de erosie dieper insnijden bij een steil talud dan bij een flauw talud. De taludhelling is bepaald uit representatieve profielen per dijkvak.

Voor de stormduur zijn de volgende randvoorwaarden aangehouden:

- De storm is geschematiseerd als 'blokfunctie' met een stormduur van 12 uur.
- Vanwege de mogelijkheid van een 2e storm is de stormduur met 25% verhoogd waardoor de totale stormduur uitkomt op 15 uur.

Werkwijze

In onderstaand stroomschema is een kort overzicht gegeven van de gevolgde stappen. Vervolgens is per stap een tekstuele toelichting opgenomen.



Figuur 6.2: Werkwijzer toets op maat reststerkte benadering

Stap 1: Afleiden parameters.

Bij deze stap worden alle benodigde parameters bepaald. Allereerst dient de faalkanseis op doorsnedeniveau te worden afgeleid waarna vervolgens met HydraNL de benodigde hydraulische belastingen wordt bepaald (Q-variant). Voor de stormtijd in het bovenrivierengebied wordt 12 uur aangehouden, met een toeslag van 25% voor een 2e storm, volgens een blokfunctie.

Stap 2: Bepalen standtijd grasbekleding.

Met behulp van de module BMgrasbuitentalud wordt de standtijd van de grasbekleding bij golfklap bepaald. De duur waarover erosie plaatsvindt wordt bepaald door de standtijd in mindering te brengen op de stormtijd. Indien de erosieduur gelijk is aan nul of een negatief getal oplevert dan is er voldoende standtijd van de grasbekleding en zal deze niet bezwijken. Nadere uitwerking is dan niet meer noodzakelijk.

Stap 3: Bepalen erosievolume.

Op basis van de golfcondities op doorsnedeniveau en de erosieduur bekend zijn kan het erosievolume worden bepaald door het invullen van onderstaande vergelijking.

Vergelijking 6.1

$$V_e = 16,7 H_{m0}^2 \left(1 - e^{-2,20 \cdot c_e (\tan \alpha_t)^2 \cdot \min(3,6; 0,0061 \cdot S_{op}^{-1,5}) \cdot \left(1 - \frac{0,4}{H_{m0}}\right)^2 \cdot t} \right)$$

Waarin:

V_e	Erosievolume per meter dijk [m ³ /m]
H_{m0}	Significante golfhoogte [m]
S_{op}	Golfsteilheid gebaseerd op significante golfhoogte en piekperiode bij de teen van de dijk en de equivalente diep water golflengte [-]
c_e	Erosie coëfficiënt [-]
α_t	Binnenwaartse taludhelling, gemiddeld tussen Hs onder SWL en Hs boven SWL [°]
t	Tijdsduur van de erosie [uren]

Stap 4: Bepaling ligging erosieprofiel.

Op basis van het erosievolume kan met behulp van de onderstaande vergelijking de insnijdiepte worden afgeleid. Vervolgens dient te worden bepaald in welke fase van toepassing is. Dit wordt gedaan door het berekenen van de hoek α_t en te bepalen in welke fase het erosieproces zich bevindt. De bepaling van de hoek α_t is te vinden in [30] bijlage 4. Hierin staan ook de overige voorwaarden waaraan een fase moet voldoen.

Vergelijking 6.2

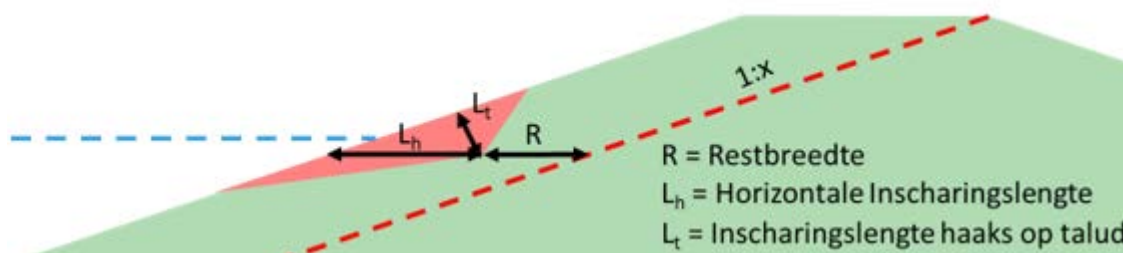
$$D_t = \text{Min}(m_{dt;d} \times (0,4 \times \frac{V_e^{0,25}}{\sqrt{H_s}} + 0,7); m_{dt;d} * 2 \times H_s)$$

Waarin:

D_t	Diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een rechte extrapolatie van het geërodeerde terras [m]
V_e	Erosievolume per meter dijk [m ³ /m]
$m_{dt;d}$	Modelcoëfficiënt [-]
H_s	Significante golfhoogte aan de teen van de dijk [m]

Stap 5: Veiligheidsbeoordeling/ontwerp

Als de ligging van het erosieprofiel bekend is kan per doorsnede voor de verschillende waterstanden worden beoordeeld of er sprake is van bezwijken van de waterkering. Om dit te doen is een definitie van bezwijken opgesteld. Een onvoldoende oordeel wordt aan de waterkering toegekend om moment dat de horizontale inscharingslengte het reststerkteprofiel doorsnijdt. Het reststerkte profiel wordt ingetekend door vanaf de binnenkruin een 1V:3H lijn te trekken richting het buitentalud. In onderstaande afbeelding is dit schematisch toegelicht. Deze definitie van bezwijken is afgestemd met HDSR.



Figuur 6.3: Schematisatie van beoordeling falen bij reststerkte.

Resultaten

De berekeningen zijn geautomatiseerd uitgevoerd. In onderstaande tabel 6-4 zijn de resultaten per dwarsprofiel samengevat. De dijpalen waar een kleilaag groter dan de standaard bekledingsdikte van 0,80 m noodzakelijk is, zijn in het rood gekenmerkt. Bij geen van de profielen wordt de reststerktelijns doorsneden. De uitwerking per berekening is ook opgenomen in bijlage Q. Hierin zijn de erosievolumes ook ingetekend. Door het uitgangspunt van een open zode is er niet veel standtijd van de grasbekleding. Dit leidt tot erosieprofielen die tot 1,7 m haaks op het talud kunnen insnijden. De restprofielen die hieruit volgen zijn relatief groot waardoor een restbreedte van circa 2 m à 3 m overblijft. Door de aangehouden definitie van bezwijken is het oordeel voldoende. Ondanks dat deze definitie met HDSR is afgestemd wordt aanbevolen om na te gaan of deze grote restprofielen niet kunnen leiden tot andere problemen. In het ontwerp in de planfase kan hiermee ook rekening worden gehouden door de taludbekleding op het buitentalud te laten uitwiggen. Hierbij wordt op het bovenste gedeelte van het talud een dunnere

kleibekleding toegepast en naar beneden toe neemt de dikte van de kleibekleding verder toe (zoals de figuren in het Addendum I bij de Leidraad Rivieren, pag. 14).

Tabel 6-4 Resultaten reststerkte berekeningen

Profiel	Waterstand [m t.o.v. NAP]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]	Erosievolume [m ² m ¹]	Inscharing haaks op talud [m]	Oordeel
206	4.0	0.58	2.10	0.09	0.07	Voldoende
206	4.5	0.70	2.51	0.81	0.37	Voldoende
206	5.0	0.81	2.92	2.70	0.80	Voldoende
206	5.5	0.92	3.32	6.05	1.30	Voldoende
206	6.0	0.86	3.60	5.84	1.26	Voldoende
206	6.5	0.79	3.44	3.75	0.97	Voldoende
206	7.0	0.71	2.86	1.32	0.51	Voldoende
210	6.0	0.71	3.04	1.20	0.45	Voldoende
210	6.5	0.64	3.15	0.68	0.30	Voldoende
210	7.0	0.58	2.60	0.11	0.08	Voldoende
211	5.5	0.57	3.27	0.20	0.12	Voldoende
211	6.0	0.74	3.39	2.31	0.71	Voldoende
211	6.5	0.72	3.06	1.52	0.54	Voldoende
211	7.0	0.61	2.65	0.29	0.17	Voldoende
219	4.5	0.63	2.24	0.27	0.17	Voldoende
219	5.0	0.81	2.86	2.42	0.74	Voldoende
219	5.5	0.94	3.60	7.67	1.48	Voldoende
219	6.0	0.90	3.72	7.23	1.43	Voldoende
219	6.5	0.82	3.53	4.41	1.07	Voldoende
219	7.0	0.69	2.84	1.05	0.43	Voldoende
239	5.0	0.70	3.45	1.50	0.52	Voldoende
239	5.5	0.86	3.54	4.27	1.01	Voldoende
239	6.0	0.80	3.40	2.92	0.80	Voldoende
239	6.5	0.72	3.01	1.16	0.44	Voldoende
249	4.5	0.75	3.17	2.04	0.65	Voldoende

Profiel	Waterstand [m t.o.v. NAP]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]	Erosievolume [m ² m ¹]	Inscharing haaks op talud [m]	Oordeel
249	5.0	0.89	3.40	4.89	1.12	Voldoende
249	5.5	0.83	3.59	4.40	1.05	Voldoende
249	6.0	0.77	3.42	2.72	0.78	Voldoende
249	6.5	0.68	2.80	0.80	0.35	Voldoende
265	5.0	0.53	3.94	0.00	0.00	Voldoende
265	5.5	0.82	3.85	4.50	1.04	Voldoende
265	6.0	0.93	3.54	5.69	1.21	Voldoende
265	6.5	0.79	3.05	2.04	0.64	Voldoende
266	5.0	0.57	3.87	0.32	0.17	Voldoende
266	5.5	0.84	3.79	5.32	1.17	Voldoende
266	6.0	0.90	3.43	5.15	1.16	Voldoende
266	6.5	0.76	2.97	1.74	0.59	Voldoende
272	4.0	0.73	3.98	3.09	0.83	Voldoende
272	4.5	1.00	3.64	8.37	1.54	Voldoende
272	5.0	0.99	3.88	9.43	1.64	Voldoende
272	5.5	0.94	3.75	7.32	1.42	Voldoende
272	6.0	0.87	3.36	4.32	1.04	Voldoende
272	6.5	0.71	2.86	1.05	0.42	Voldoende
277	4.0	0.64	3.92	1.12	0.42	Voldoende
277	4.5	0.92	3.75	6.28	1.27	Voldoende
277	5.0	0.96	3.82	7.53	1.42	Voldoende
277	5.5	0.91	3.68	5.66	1.20	Voldoende
277	6.0	0.86	3.12	3.07	0.83	Voldoende
277	6.5	0.67	2.78	0.58	0.27	Voldoende
288	4.5	0.64	3.68	1.29	0.49	Voldoende
288	5.0	0.93	3.65	8.02	1.53	Voldoende
288	5.5	0.92	3.82	8.59	1.59	Voldoende
288	6.0	0.84	3.60	5.35	1.20	Voldoende

Profiel	Waterstand [m t.o.v. NAP]	Golfhoogte [m]	Piekperiode [s]	Erosievolume [m ² m ¹]	Inscharing haaks op talud [m]	Oordeel
288	6.5	0.70	2.88	1.25	0.49	Voldoende
294	3.5	0.60	3.09	0.38	0.21	Voldoende
294	4.0	0.85	3.52	5.01	1.15	Voldoende
294	4.5	0.94	3.50	6.82	1.38	Voldoende
294	5.0	0.90	3.74	7.06	1.40	Voldoende
294	5.5	0.85	3.60	5.26	1.18	Voldoende
294	6.0	0.81	3.05	2.74	0.80	Voldoende
294	6.5	0.60	2.66	0.23	0.14	Voldoende

6.2.2 GABU

6.2.2.1 Eenvoudige toets

Het afschuiven van de bekledingslaag van het buitentalud kan plaatsvinden als gevolg van golfwerking in combinatie met een hoge grondwaterstand in het zand onder de bekleding. Op het moment van maximale golf terugtrekking heerst er een ongunstig buitenwaarts gericht verhang over de bekledingslaag waardoor deze kan opdrukken of afschuiven. Dit mechanisme speelt alleen bij een zanddijk met kleibekleding. Indien de kern van de dijk uit klei bestaat dan is dit mechanisme niet relevant. Gezien de kern van de waterkering bestaat uit klei kan geconcludeerd worden dat de waterkering voldoet op dit mechanisme (Stap E.1).

Binnen het traject van CUB zijn echter 2 locaties aan te merken waar sprake is van een waterkering met een zandkern, Het betreft hier de volgende 2 locaties.

- Voorhavendijk Beatrixsluis;
- Groene dijk (Toegangsweg Fort Honswijk).

Voorhavendijk Beatrixsluis

De voorhavendijk bij de Beatrixsluis kan worden goedgekeurd conform stap E.3 van de toetsing GABU. De kleilaagdikte is gelijk aan 1,5 m en is daarmee groter dan de optredende golfhoogte van 0,84 m. (zie beoordeling Voorhavendijk [12]).

Groene dijk

De groene dijk is gelegen nabij dijkpaal 245. Voor deze toetsing dient de significante golfhoogte te worden afgeleid bij de norm. In figuur 6.1 is voor dijkpaal 245 uit te lezen dat de significante golfhoogte 1,12 m bedraagt. Uitgaande van een taludbekleding van 0,80 m kan worden geconcludeerd dat het oordeel uit de eenvoudige toets onvoldoende is en dat een gedetailleerde toets noodzakelijk is.

Voor het uitvoeren van een gedetailleerde toets moet worden voldaan aan 2 toepassingsvoorwaarden:

- De bekleding ligt niet op een zandscheg;
- De taludhelling is minder steil dan 1V:2,5H.

De groene dijk voldoet aan deze toepassingsvoorwaarden en de beoordeling kan worden doorgezet. Aan de hand van onderstaande empirische vergelijking wordt de gedetailleerde toets uitgevoerd.

$$\frac{H_{m0}}{\Delta_g \cdot d_{klei} \cdot \cos(\alpha)} \leq 3$$

Waarin:

H_{m0}	Golfhoogte bij de norm [1,12 m]
Δ_g	Relatieve dichtheid kleilaag $(\rho_g - \rho_w) / \rho_w$ [(1700 kg/m ³ - 1000 kg/m ³) / 1000 kg/m ³ = 0,7]
d_{klei}	Dikte van de kleilaag [0,8 m]
α	Taludhelling [DWP 244+635 1V:2,9H = 19,04°]

Na invulling van de formule wordt een waarde van 2,12 gevonden. Deze waarde is kleiner dan 3. Geconcludeerd kan worden dat de groene dijk voldoet voor het faalmechanisme GABU.

6.3 Binnentalud

6.3.1 GEKB

De waterkering bij CUB dient ontworpen te worden met inachtneming van een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. Dit betekent dat water over de dijk heen kan lopen. Het gevolg hiervan is dat er erosie van gras kan ontstaan van de kruin of het binnentalud. Bij de uitvoering van de hoogtetoets, zie paragraaf 2.4, is geconcludeerd dat de waterkering overal voldoende op hoogte is in het zichtjaar 2073 met een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. Bij het bepalen van de benodigde kruinhoogte wordt rekening gehouden met het feit dat de grasbekleding op de kruin of het binnentalud niet mag bezwijken. Verder volgt uit het OI2014v4 [31] dat een kritiek overslagdebiet van 5,0 l/s/m toelaatbaar is omdat voor alle dijkvakken wordt voldaan aan de volgende eisen:

- Aanwezigheid van een open of gesloten zode op een minimale kleidikte van 0,4 m wat blijkt uit de uitgevoerde inspectie van de dijkbekleding [32] en het geotechnisch lengteprofiel [4].
- De optredende golfhoogte is kleiner dan 2 m zoals volgt uit paragraaf 6.2.1.1.
- De taludhelling is flauwer dan 1:2,3 zoals volgt uit bijlage B.

Geconcludeerd kan worden dat de waterkering voldoet voor het faalmechanisme Gras Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB).

6.3.2 GABI

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 moeten 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.

6.3.2.1 Eenvoudige toets

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

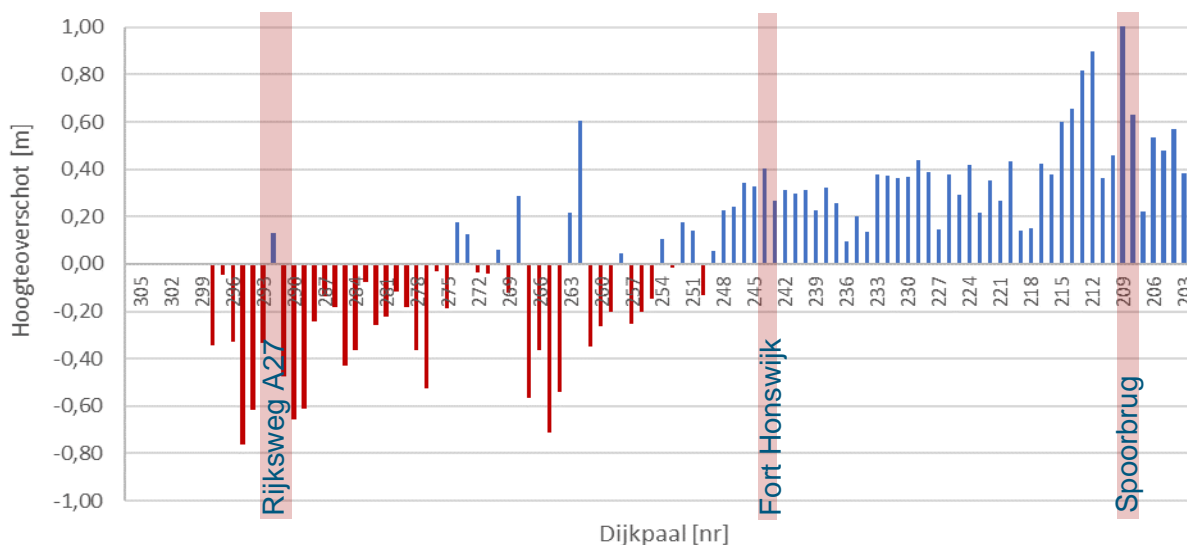
Stap E.1: De bekleding voldoet op basis van eenvoudige kenmerken

- 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 [8] 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. Een uitzondering hierin is de Voorhavendijk. Door de recente veranderingen van ligging en geometrie van de Voorhavendijk kan hiervoor geen overslagdebiet worden berekend zonder eerst aanpassingen te doen aan de lokale uitgangspunten.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:5H en bestaat niet uit veen;
 - De binnendijkse taludhellingen bij CUB zijn steiler dan 1V:5H.
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:3H en de dijk bestaat uit stevige klei;
 - De binnendijkse taludhellingen bij CUB zijn 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;
 - De binnendijkse taludhellingen bij CUB zijn steiler dan 1V:4H.
- De dijk bestaat uit zand, al dan niet voorzien van een kleibekleding, en heeft een goed werkende drainage bij de binnenteen.
 - Voor het grootste deel van het traject bestaat de dijk uit een kleibekleding. Uitzonderingen hierop zijn:
 - Voorhavendijk bij de Beatrixsluis
 - Op deze locatie is in de ontwerptekeningen [12] (figuur 12) een 0,5 m dikke drainerende zandlaag zichtbaar.
 - Groene dijk (toegangsweg naar Fort Honswijk)
 - Op deze locatie is het overslagdebiet kleiner dan 0,1 l/s/m

Resultaten

In onderstaande grafiek 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.



Figuur 6.4: Hoogteoverschot of -tekort per dijkpaal met een overslagdebiet van 0,1 l/s/m

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, 5,0 en 1,0 l/s/m.
- De berekeningen voor de Voorhavendijk zijn in bovenstaande grafiek niet gepresenteerd. Immers de dijk is hier nu verlegd en de nieuwe situaties is anders dan van waar in de database vanuit wordt gegaan. Daarnaast voldoet de Voorhavendijk volgens een ander criterium. De berekeningen zijn wel uitgevoerd. Hierin valt op dat bij dijkpaal 299 (uitvoerlocatie LE_1_44-1_dk_00224) een lagere HBN wordt bepaald dan bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m. Dit ligt niet in de lijn van de verwachtingen. De rest van de resultaten volgt exact de trend van de berekeningen van 10, 5,0 en 1,0 l/s/m. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

Tabel 6-5 Resultaten per dijkvak toetsing GABI (eenvoudige toets)

Dijkvak	Veiligheidsoordeel
1	Voldoet
2a	Voldoet niet
2b	n.v.t. (Landhoofd A27)
2c	Voldoet niet
3a	Voldoet niet
3b	Voldoet niet
3c	Voldoet niet
3d	Voldoet niet
3e	Voldoet niet
4a	Voldoet niet
4b	Voldoet niet
4c	Voldoet niet
5a	Voldoet niet
5b	Voldoet niet
6	Voldoet
7a	Voldoet
7b	Voldoet
7c	Voldoet
8	Voldoet
9a	Voldoet

Dijkvak	Veiligheidsoordeel
9b	Voldoet
9c	Voldoet

Geconcludeerd kan worden dat van de 104 (inclusief 8 locaties bij de Voorhavendijk) beoordeelde locaties (dijkpalen) er 38 niet voldoen aan de benodigde kruinhoogte voor een overslagdebiet van 0,1 l/s/m. Dit betreft de dijkvakken 2a en 2c t/m 5b). De Voorhavendijk (dijkvak 1) wordt conform [12] goedgekeurd door de aanwezigheid van een 0,5 m dikke drainerende zandlaag.

HDSR is voornemens een beleidsbesluit te nemen omtrent de taludhellingen van het binnentalud. Vanuit beheer en onderhoud is het wenselijk om voor het gehele binnentalud een helling 1:3 aan leggen. Indien de bekledingslaag dan bestaat uit sterke klei dan zal dit na de dijkversterking in een eenvoudige toets leiden tot een voldoende oordeel. Daarom is nu geen gedetailleerde toets uitgewerkt voor de onvoldoende locaties.

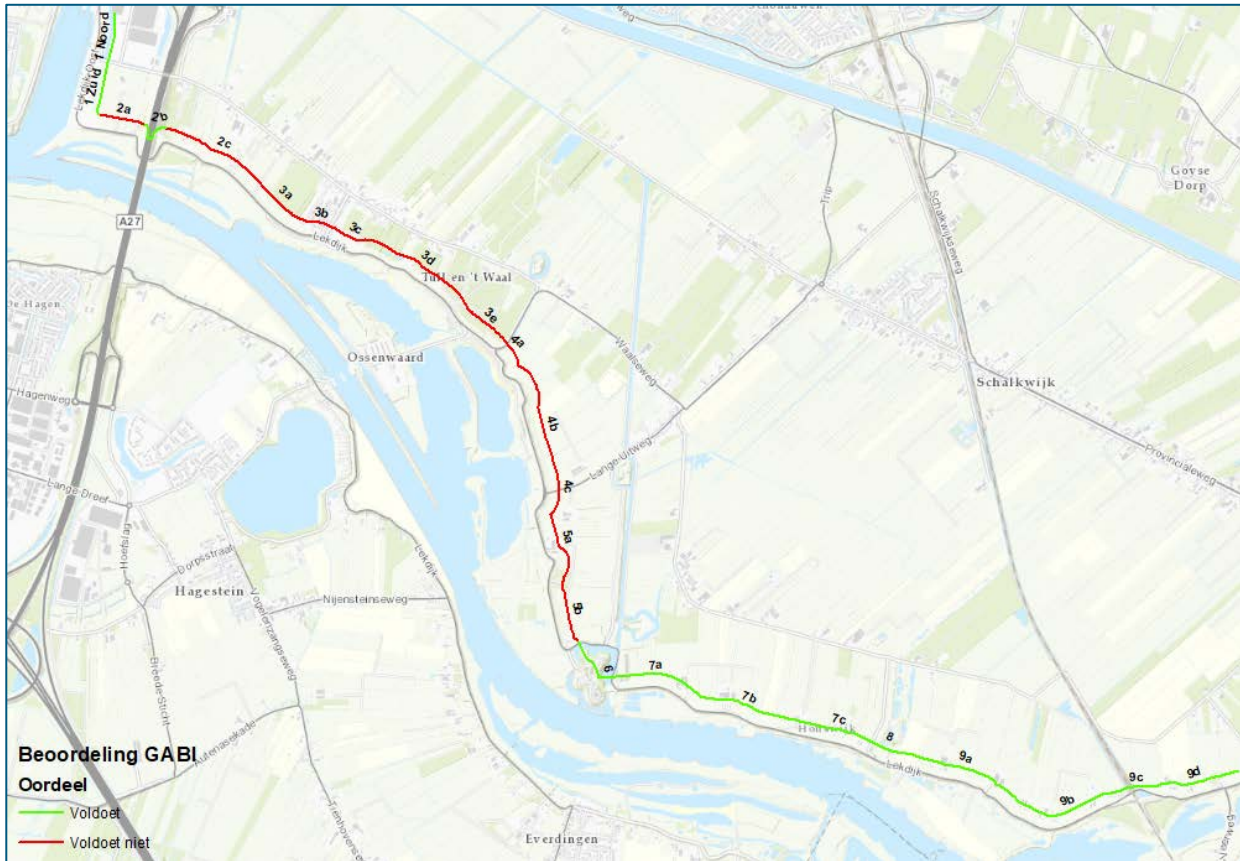
6.4 Conclusies

In voorliggend hoofdstuk is een aanscherping van de veiligheidsopgave uitgevoerd voor de grasbekleding voor dijktraject 44-1 van de Culemborgse veer (dijkpaal 202) tot en met de Voorhavendijk bij de Beatrixsluis (dijkpaal 306). Onderstaand zijn per deelmechanisme de conclusies en aanbevelingen samengevat. Voor meer gedetailleerde resultaten wordt verwezen naar de diverse paragrafen binnen dit hoofdstuk.

Na aanleiding van de uitgevoerde analyses kunnen de volgende conclusies worden opgemaakt:

- Buitentalud
 - GEBU: Grote delen van de waterkering voldoen nog niet na het uitvoeren van de gedetailleerde toets. Na uitvoeren van een reststerkte benadering in de toets op maat kan echter worden gesteld dat na het optreden van erosie aan het buitentalud de waterkering nog voldoet.
 - GABU: Doordat het merendeel van de waterkering bestaat uit een kleidijk kan de waterkering op dit faalmechanisme worden goedgekeurd middels de eenvoudige toets. Er zijn echter 2 locaties waar de waterkering een zandkern heeft. De Voorhavendijk bij de Beatrixsluis en de Groene dijk waarop de toegangsweg naar Fort Honswijk is gelegen. De Voorhavendijk kan worden goedgekeurd omdat een dikke kleibekleding op het buitentalud aanwezig is en de Groene dijk kan worden goedgekeurd in de gedetailleerde toets.
- Binnentalud
 - GEKB: Bij het bepalen van de benodigde kruinhoogte wordt rekening gehouden met het feit dat de grasbekleding op de kruin of het binnentalud niet mag bezwijken. De waterkering overal voldoende op hoogte is in het zichtjaar 2073 met een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. De waterkering voldoet aan de eisen die worden gesteld aan een overslagdebiet van 5,0 l/s/m zodat het faalmechanisme GEKB voldoet.
 - GABI: Met behulp van een berekening van de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m kan middels de eenvoudige toets gesteld worden dat een deel van de waterkering niet voldoet. Het betreft de dijkvakken 2a en 2c t/m 5. HDSR is voornemens om de toekomstige binnentaluds te voorzien van een taludhelling 1V:3H. Indien de bekleding dan bestaat uit sterke klei dan wordt overal een voldoende oordeel verkregen in de eenvoudige toets voor GABI.

Alleen voor het faalmechanisme GABI voldoen de dijkvakken 2a en 2c t/m 5b niet. Voor de drie andere faalmechanismen GEBU, GABU en GEKB voldoen alle vakken. Omdat alleen voor het faalmechanisme GABI dijkvakken niet voldoen, zijn in figuur 6.5 alleen de resultaten van de beoordeling van GABI grafisch weergegeven.



Figuur 6.5: Score beoordeling Gras Afschuiven Binnentalud (GABI)

7 Stabiliteit steenzetting

7.1 Inleiding

Binnen het dijktraject zijn 2 locaties aan te merken waar een harde bekleding aanwezig is. Het betreft de volgende 2 locaties:

- De Voorhavendijk bij de Beatrixsluis
- Tussen dijkpaal 228 en 234. Hier is de waterkering een schaaldijk.

De bekleding bij de Voorhavendijk ligt laag op het talud en is bedoeld om schade door scheepsgolven in de dagelijkse situatie te voorkomen. Deze bekleding heeft geen waterkerende functie [12]. Daarom is de bekleding op deze locatie niet nader beoordeeld. De bekleding tussen dijkpaal 228 en 234 is wel beoordeeld. De uitwerking hiervan is in dit hoofdstuk opgenomen.

7.2 Analyse

Alvorens de steenbekleding kan worden beoordeeld met de WBI-software dient te worden gekeken of aan de toepassingsvoorwaarden (Stap G.1) wordt voldaan. In onderstaand overzicht is gekeken of dit voor de steenbekleding bij de Lekdijk in het traject CUB (tussen dijkpaal 228 en 234) het geval is.

Stap G.1 Voldoet aan toepassingsvoorwaarden

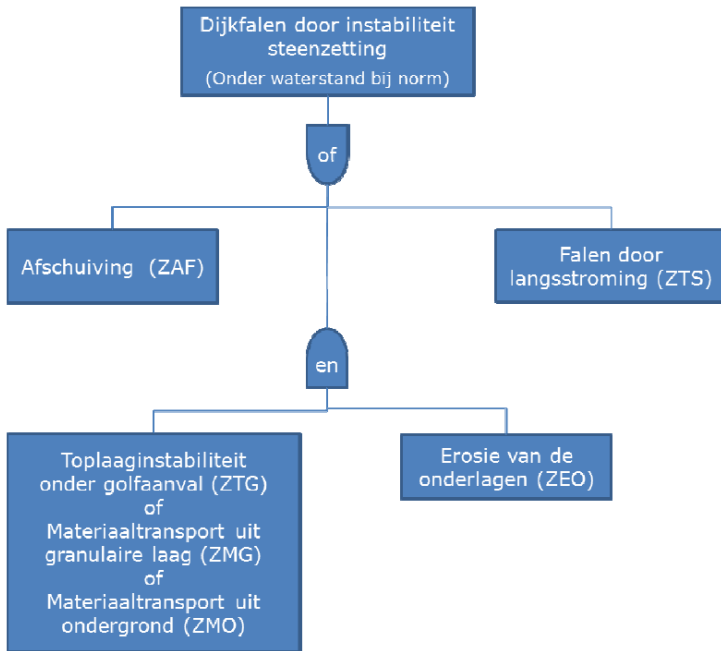
In deze stap wordt gecontroleerd de rekenmodellen voor dit type steenbekleding toepasbaar zijn. Daarnaast wordt gekeken of er sprake is van een bijzondere situatie. Indien er sprake is van een bijzondere situatie dan kan er geen oordeel worden geveld middels de gedetailleerde toets.

Stap G.2 Analyse belasting en sterkte met betrekking tot stabiliteit steenzetting

De steenbekleding krijgt een voldoende oordeel als de onderstaande zes mechanismen, of een combinatie daarvan, een voldoende oordeel hebben.

- Topstabiliteit onder golfaanval (ZTG)
- Erosie van de onderlaag (ZEO)
- Toplaag van de steenzetting onder langsstroming (ZTS)
- Afschuiven van de steenzetting onder maatgevende omstandigheden (ZAF)
- Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG)
- Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO)

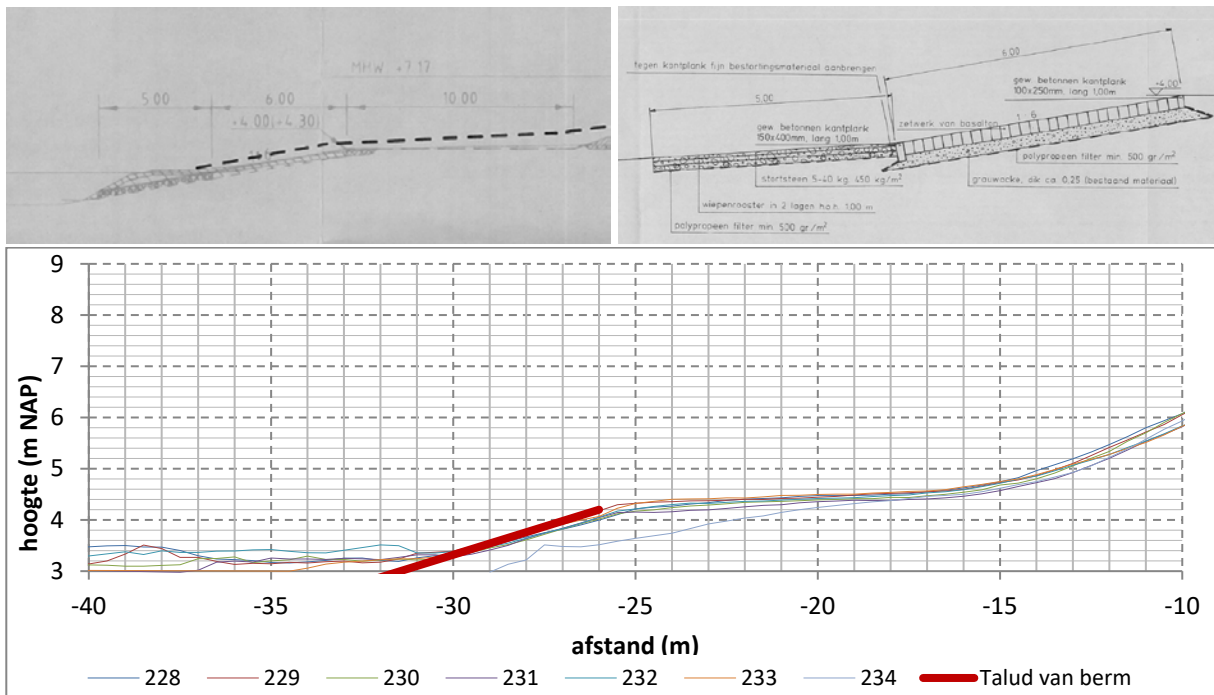
Het eindoordeel wordt opgesteld middels het handteren van onderstaande foutenboom.



Figuur 7.1: Foutenboom beoordeling steenbekleding [24]

Randvoorwaarden en uitgangspunten

In onderstaand figuur is de ligging van de steenbekleding in de dwarsprofielen van dp 228 t/m dp 234 weergegeven. Linksboven is een revisietekening te zien uit 1991 [33]. Rechtsboven is een afbeelding weergegeven uit een detailtekening uit het bestek van 1988 [34]. De onderstand grafiek geeft een inschatting van de ligging van de steenbekleding op basis van AHN3.0 data.



Figuur 7.2: Geometrie van de steenbekleding tussen dijkpaal 228 en dijkpaal 234

Onderstaand overzicht geeft de aangehouden randvoorwaarden en uitgangspunten in de berekening.

- Er is gebruik gemaakt van Steentoets v17.1.2.1 voor beoordelen
- Sterkte
 - Type bekleding: Basalton
 - Ligging: van dijkpaal 228 tot en met dijkpaal 234. Maatgevend profiel dijkpaal 231
 - Dijknormaal ten opzichte van het noorden 192 graden
 - Niveau binnenteen: NAP 4,6 m
 - Helling (tan α) 0,07
 - Niveau ondergronds NAP 3,3 m
 - Niveau bovengrens NAP 4,3 m
 - Helling (tan α) 0.1667
 - Toplaag 27,1
 - Onderlaag: gr ge
 - Eigenschappen toplaag
 - Dikte van de toplaag: 0,25 m
 - Relatieve open oppervlak 12%
 - Er zijn geen gaten in de steen
 - Karakteristieke opening 70 mm
 - Soortelijk gewicht 2300 kg/m³
 - Eigenschappen bovenste filterlaag
 - Dikte van de bovenste filterlaag 0,25 m
 - D15 3,0 mm
 - Eigenschappen Klei
 - Dijkopbouw heeft een kleikern
 - Dikte van de kleikern 3,0 m
 - Erosiebestendigheid van de klei is gelijk aan categorie C1
 - Ervaring
 - Werking van het filter: goed
 - Overgangsconstructie: goed
- Belasting
 - Gemiddeld lage waterstand NAP 1,25 m
 - Gemiddeld hoge waterstand NAP 4,70 m
 - Toetspeil NAP 7,24 m
 - Stroomsnelheid 0,60 m

7.3 Resultaat

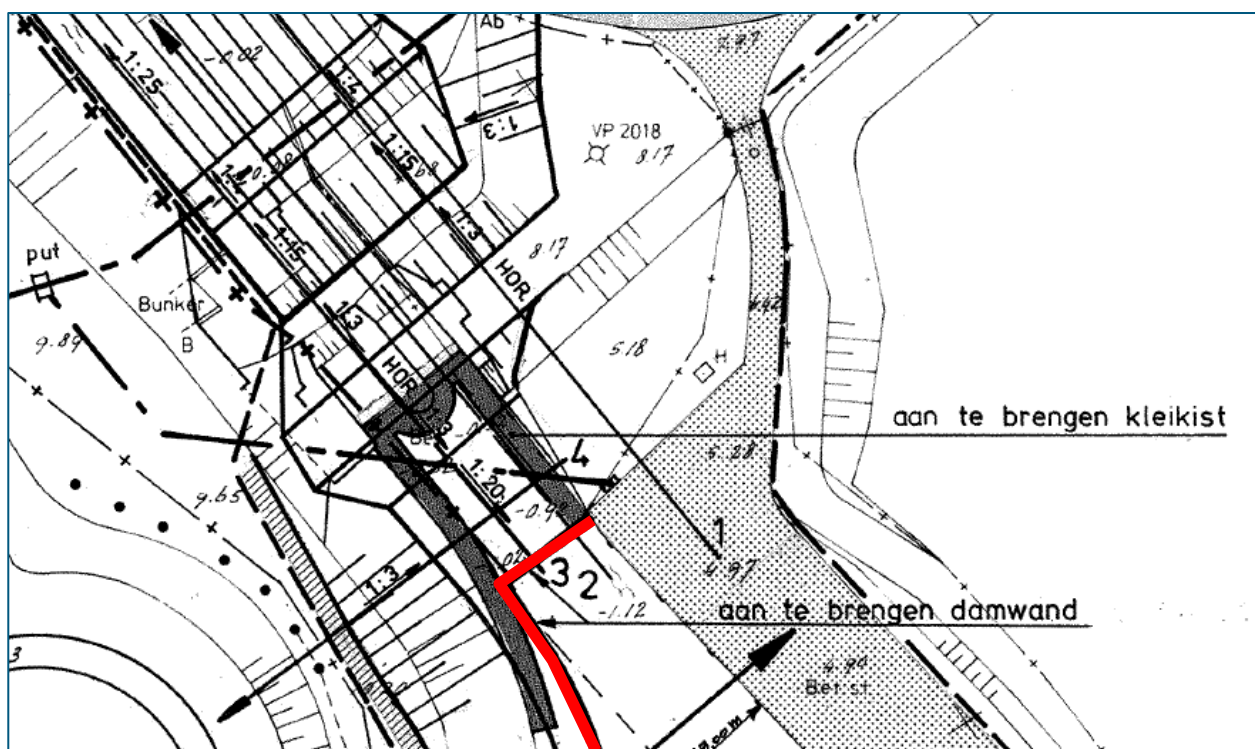
Na beoordeling middels steentoets (v17.1.2.1) kan geconcludeerd worden dat de bekleding het oordeel “stabiel” krijgt. Hoewel materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMG, ZMO) “niet stabiel” is, is het oordeel voor erosie van de onderlagen (ZEO) stabiel. Dit samen resulteert in een voldoende oordeel.

8 Beoordeling Fort Honswijk

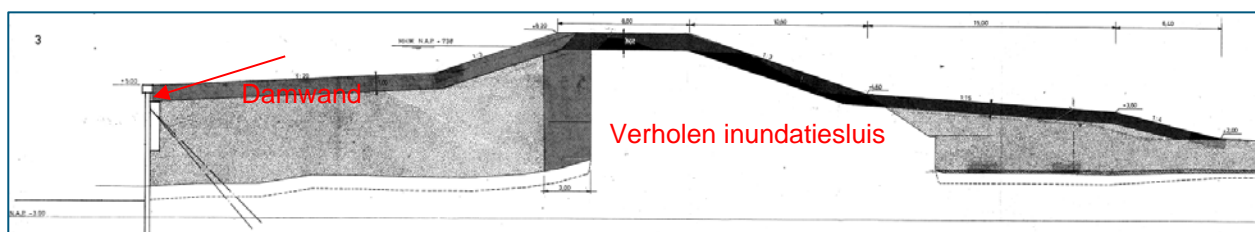
In dit hoofdstuk worden de bijzondere waterkerende constructies rondom Fort Honswijk beoordeeld. Het betreft de damwand ter plaatse van de verholen inundatiesluis en de damwand ter plaatse van de buitenteen van de grondwal. Tevens worden de grondwal en de groene dijk (= toegangsweg tot Fort Honswijk) nader beoordeeld.

8.1 Verholen inundatiesluis

In 1985 is de inundatiesluis langs Fort Honswijk gedempt. Hierbij is enkele tientallen meters voor de inundatiesluis een damwandconstructie aangebracht die aansluit op de bestaande kade. De inundatiesluis en de ruimte tussen damwand en inundatiesluis is vervolgens opgevuld met puin, zandige klei, zand en een klei afdeklag van 1,00 m, zie figuur 8.1 en de dwarsdoorsnede in figuur 8.2. Op deze manier is een doorlopende waterkering gecreëerd tussen de grondwal van Fort Honswijk en de Lekdijk.



Figuur 8.1: Bovenaanzicht verholen inundatiesluis



Figuur 8.2: Dwarsdoorsnede damwand en verholen inundatiesluis

In deze paragraaf wordt de verholen inundatiesluis beoordeeld op hoogte, piping en heave, sterkte en stabiliteit van de damwandconstructie (stabiliteit buitenwaarts) en macrostabiliteit binnenwaarts. De

uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het beoordelen van de damwandconstructie staan beschreven in bijlage O.

8.1.1 Hoogte

In opdracht van gemeente Houten is in 2018 een hoogtemeting [35] uitgevoerd bij Fort Honswijk aan de hand van GPS / TPS metingen. Voor de beoordeling van de hoogte van de verholen inundatiesluis is de minimale hoogte van de buitenkruinlijn uit deze GPS / TPS metingen als maatgevend beschouwd. De minimale buitenkruinhoogte van de verholen inundatiesluis bedraagt volgens deze inmeting NAP +8.14 m. Voor Fort Honswijk geldt een autonome bodemdaling van 2 mm /jaar. Voor het zichtjaar 2073 geldt dus een buitenkruinhoogte van NAP +8.03 m. Het hydraulisch belastingniveau langs de verholen inundatiesluis is NAP +7.361 m bij zichtjaar 2073. De verholen inundatiesluis voldoet aan de beoordelingsspoor hoogte.

Tabel 8—1: Hydraulische randvoorwaarden verholen inundatiesluis

HR verholen inundatiesluis	2050	2100	2073
HBN	7.326	7.401	7.361
WS	7.26	7.29	7.274
Hm0	0.17	0.25	0.207
Tm-1,0	1.54	1.82	1.669
Hvi tov N	221.6	219.5	221
Q	15883	16000	15937

8.1.2 Piping en heave

Uit eerdere beoordeling kan gesteld worden dat de bodem van de fortgracht binnendijs op circa NAP +0,90 m ligt. Het streefpeil in de gracht ligt op NAP +2,00 m. De dijk heeft, op basis van de beschikbare tekening en GIS data, een breedte van minimaal 60 m (afstand damwand tot binnenteen). Op basis van het grondonderzoek van Wiertsema-Inpijn-Blokpoel [5] is een veilige aanname genomen voor de onderkant van de deklaag van NAP +5,5 m (zie schematisatie damwandberekening). De tussenzandlaag/zandaanvulling achter de damwand is afgesloten en dus niet gevoelig voor piping.

De beoordeling op piping wordt uitgevoerd met de empirische rekenregel van Lane:

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3}L_h + L_v\right)}{C_{w,creep}}$$

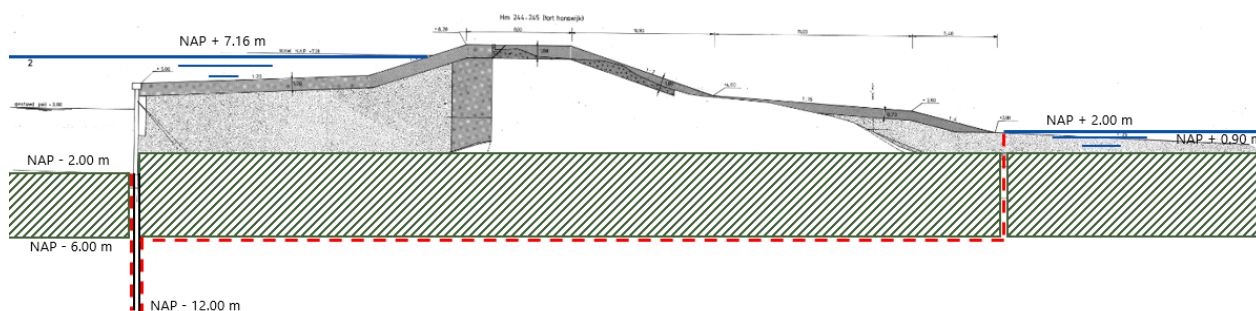
Waarin:

- L_h De horizontale kwelweglengte langs onderkant deklaag = dijkbreedte = minimaal 60m
- L_v De verticale kwelweglengte langs damwand buitendijs (-2 tot -12=) 10m + (-12 tot -6,0=) 7,0 m = 17,0 m en de verticale kwelweglengte bij mogelijke uittredepunt binnendijs (-6,0 tot 0,9 =) 6,9m
- C_{w,creep} De creep-factor bedraagt 6 bij een mediane korreldiameter tussen de 210 en 300 (matig grof zand).

Het maximaal toelaatbare verval wordt bepaald door $\Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3} \cdot 60 + 17,0 + 6,9\right)}{6} = 7,32 \text{ m}$

Het optredend verval bedraagt = $7,16 - 2,00 = 5,16$ m

De verholen inundatiesluis bij Fort Honswijk voldoet aan het beoordelingsspoor piping en heave.



Figuur 8.3: Schematisatie kwelweglengte

8.1.3 Sterkte en stabiliteit

De damwandberekening is uitgevoerd met het eendimensionaal eindig elementenprogramma D-Sheet Piling (versie 19.2), waarmee momenten, dwarskrachten en verplaatsingen van een al dan niet (meervoudig) gestempelde of verankerde damwand kunnen worden berekend. De gronddruk op de damwand wordt in de berekening afhankelijk gesteld van de uitbuiging van de wand. De spanningsrekrelatie van de grond wordt beschreven door een multi-lineaire veer karakteristiek bestaande uit drie tussentakken.

Als maatgevende situatie is aan de rivierzijde een laagwater beschouwd van NAP +1,5 m. Vanwege de aanwezigheid van een drainageconstructie achter de damwand is voor de grondwaterstand achter de damwand een conservatief niveau van NAP +2,0 m gehanteerd. Als conservatief uitgangspunt is een bovenbelasting van 20 kN/m² gehanteerd als bovenbelasting over het gehele maaiveld.

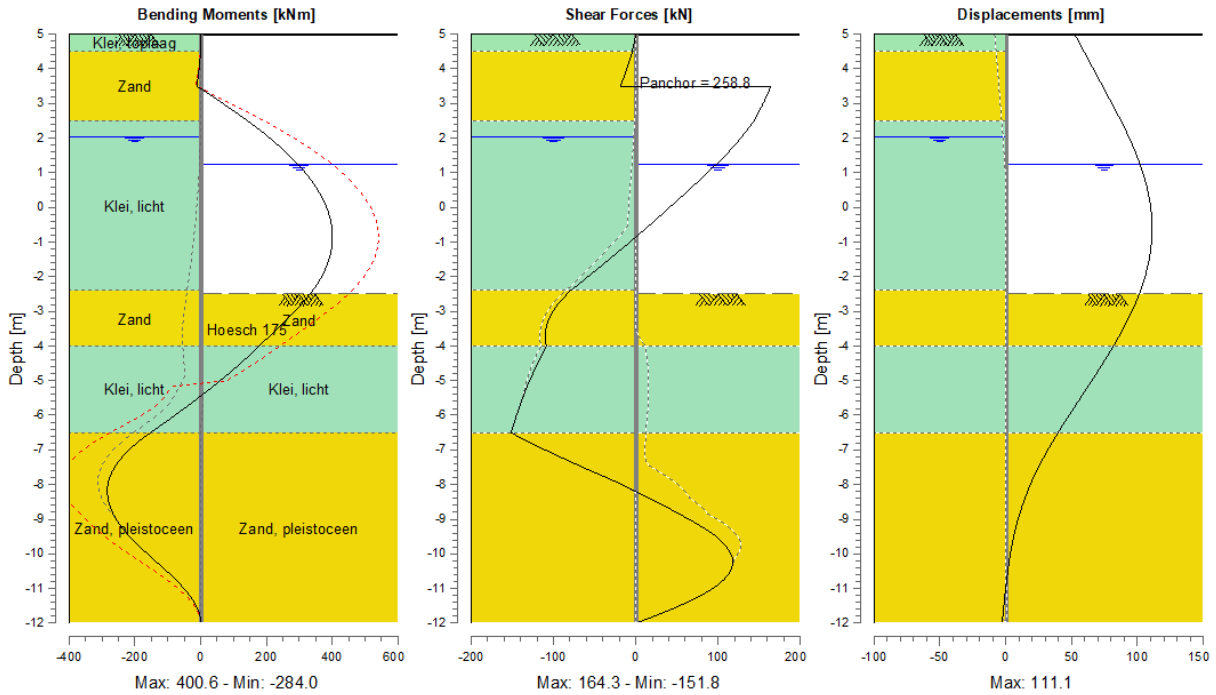
Op basis van de uitgangspunten, beschreven in bijlage O, is een analyse uitgevoerd naar de stabiliteit van de damwand. Voor de damwand Hoesch 175 is een damwandberekening uitgevoerd met D-Sheet Piling conform veiligheidsklasse RC3. De damwandberekening is opgenomen in bijlage P. In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de damwandberekening opgenomen.

Tabel 8—2: Resultaten damwandberekening met D-Sheet Piling

Partiele factor set	Maximale buigend moment [kNm]	Maximale Dwarskracht [kN]	Ankerkracht [kN]	Maximale verplaatsing [mm]	Stabiliteitsfactor [-]
RC3	401	164	259	111	2.07

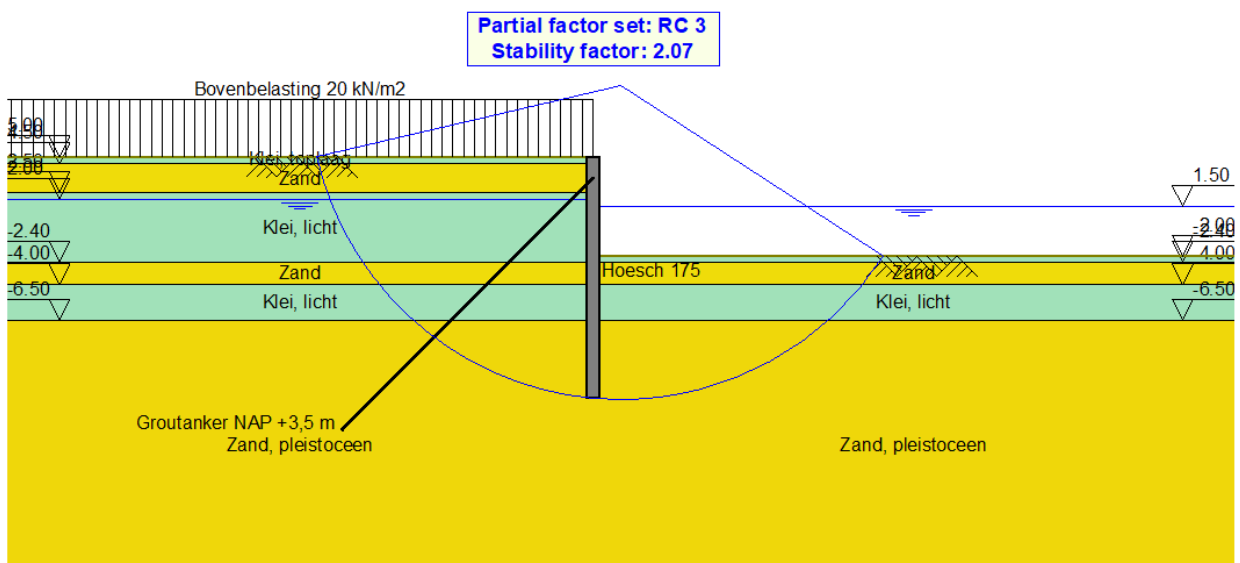
Moments/Forces/Displacements - Stage 5: Laagwater + 20 kN/m²

Step 6.3 - Partial factor set: RC 3



Figuur 8.4: Buigende momenten, dwarskrachten en horizontale verplaatsing van de damwand

Overall Stability - Stage 5: Laagwater + 20 kN/m²



Figuur 8.5: Stabiliteitsfactor van de damwandconstructie

De beoordeling op sterkte en stabiliteit van de damwand vindt plaats door een controle op het moment:

$$M_{s;d} \leq M_{r;d} = 401 \leq 1021 \quad \text{Voldoet}$$

De beoordeling op sterkte van de anker vindt plaats door een controle op de normaalkracht:

$$F_{s;d} \leq F_{r;d} = 259 \leq 270 \quad \text{Voldoet}$$

De beoordeling op verticaal evenwicht van de damwand vindt plaats door de punt- en schachtweerstand van de damwand te toetsen aan de rekenwaarde van de normaalkracht net onder de ankerogding:

$$N_{s;d} \leq R_{b;d} + R_{s;d} = 259 \leq 676 \quad \text{Voldoet}$$

De beoordeling op algehele stabiliteit (optreden van glijvlak of grondbreuk) van de damwand vindt plaats door een controle op de stabiliteitsfactor:

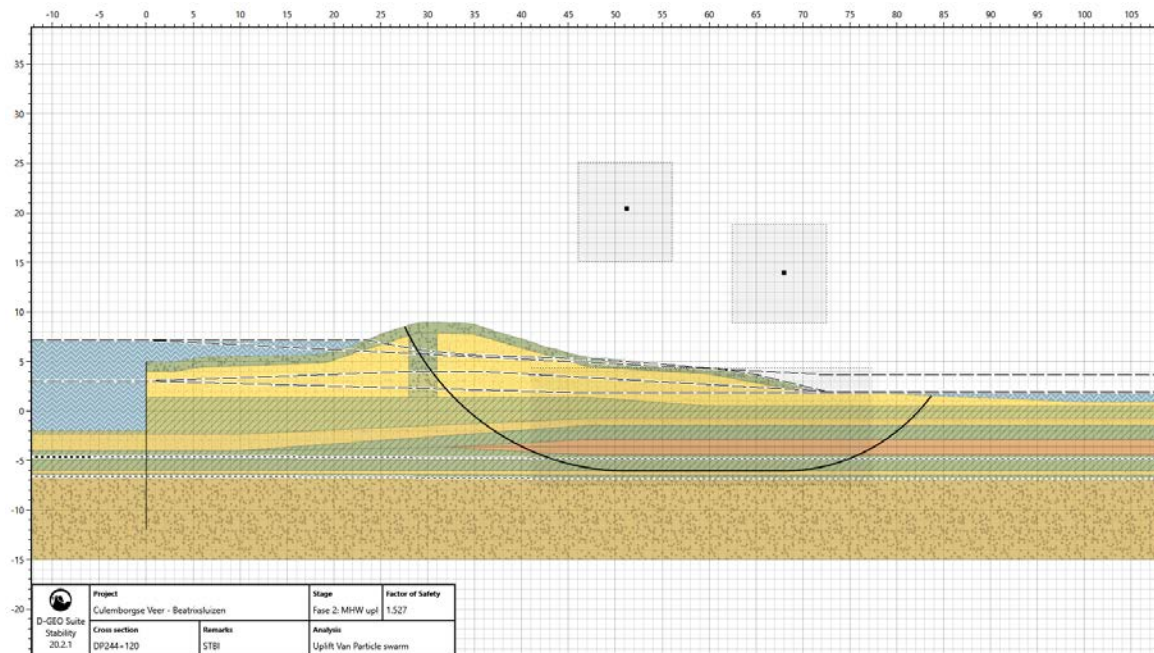
$$\text{Stabiliteitsfactor} = 2.07 \geq 1.7 \quad \text{Voldoet}$$

De damwand en de ankers voldoen aan het beoordelingsspoor sterkte en stabiliteit. Het groutlichaam van de ankers is niet getoetst. Aangezien de damwand in de huidige toestand geen vervormingen vertoont, mag er vanuit worden gegaan dat het groutlichaam van de ankers voldoen.

8.1.4 Macro stabiliteit binnenwaarts

Conform de tekeningen van de verholen inundatiesluis is tussen de damwandconstructie en inundatiesluis een kleikist aangebracht, die is opgevuld met zand. Op de kleikist en de zandophoging is een afdeklaag van klei aangebracht van 1,0 m op de buitentalud, kruin en binnentalud en 0,7 m op de binnenberm. Voor de sterkteparameters zijn de waarden gehanteerd uit tabel 3-2. Voor de afdeklaag en de kleikist zijn de parameters van klei dijksmateriaal gehanteerd en voor het aanvulzand de parameters van ophoogmateriaal zand.

Voor de binnenwaartse macro stabiliteit van het grondlichaam ter plaatse van de verholen inundatiesluis is een berekening uitgevoerd in D-GEO Suite Stability. De waterstand bij norm bedraagt op deze locatie NAP + 7,155 m en het streefpeil in de gracht ligt op NAP +2,00 m. De stijghoogte in de watervoerend laag is NAP + 3,69 m. Het dwarsprofiel voldoet aan de binnenwaartse stabiliteit (S.F. = 1,53 \geq 1,36). Deze waarde is ook opgenomen in tabel 3-12 (dijkpaal 244+120).



Figuur 8.6: Stabiliteit binnenwaarts verholen inundatiesluis DP244+120, maatgevende glijcirkel (S.F.=1,53)

8.2 Grondwal

8.2.1 Hoogte

Op basis van de inmeting uit 2018 van de gemeente Houten [35] is de hoogte van de grondwal van het fort beoordeeld. Conform de schematiseringshandleiding Hoogte is het niveau van de buitenkruinlijn maatgevend. Voor de beoordeling van de hoogte zijn twee locaties beschouwd waar het buitenkruinniveau het laagst is. Deze locaties wordt als maatgevend beschouwd voor de gehele grondwal.



Figuur 8.7: Beschouwde locaties hoogtetoets grondwal

De maatgevende hoogte van de buitenkruinlijn van de grondwal bedraagt NAP + 7.96 m bij locatie 1 en NAP + 7.76 m bij locatie 2.

Voor deze twee locaties is het hydraulisch belastingniveau (HBN) bepaald middels het programma Hydra-NL. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 8—3.

Tabel 8—3: Hydraulische randvoorwaarden grondwal

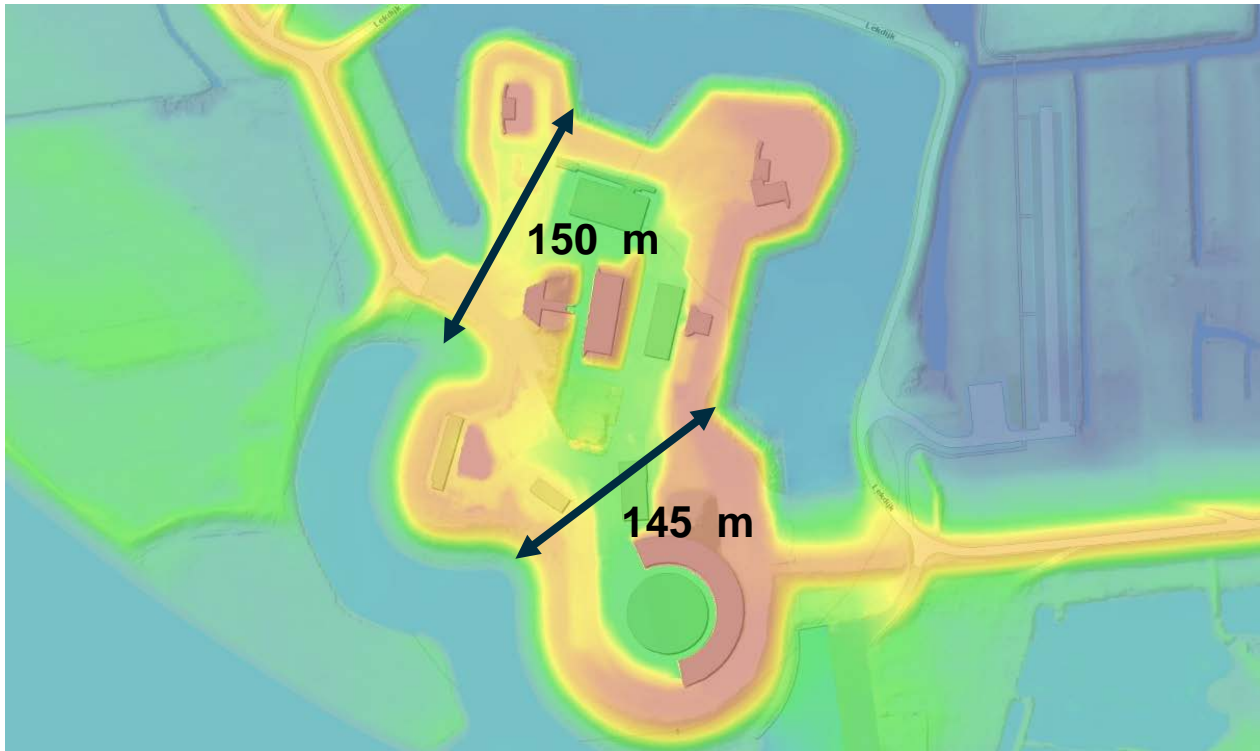
HR locatie 1	2050	2100	2073	HR Locatie 2	2050	2100	2073
HBN	7.375	7.485	7.426	HBN	7.47	7.602	7.531
WS	7.07	7.07	7.070	WS	7.12	6.99	7.060
Hm0	0.32	0.4	0.357	Hm0	0.38	0.51	0.440
Tm-1,0	2.01	2.21	2.102	Tm-1,0	1.91	2.49	2.177
Hvi tov N	225	225	225	Hvi tov N	247.5	270	258
Q	15930	15955	15942	Q	15886	15897	15891

Het hydraulisch belastingniveau bij zichtjaar 2073 op locatie 2 met een hoogte van NAP +7,53 m geldt hierbij als maatgevend.

Ook bij de grondwal geldt een autonome bodemdaling van 2 mm/jaar. Voor de hoogte van de maatgevende locatie 2 volgt hieruit een buitenkruinniveau van $\text{NAP } +7,76 \text{ m} - 50 \times 0,002 \text{ m} = \text{NAP } + 7.66 \text{ m}$ bij zichtjaar 2073. De grondwal langs Fort Honswijk voldoet hiermee aan het beoordelingsspoor hoogte ($\text{NAP } +7.66 \text{ m} > \text{NAP } +7.531 \text{ m}$).

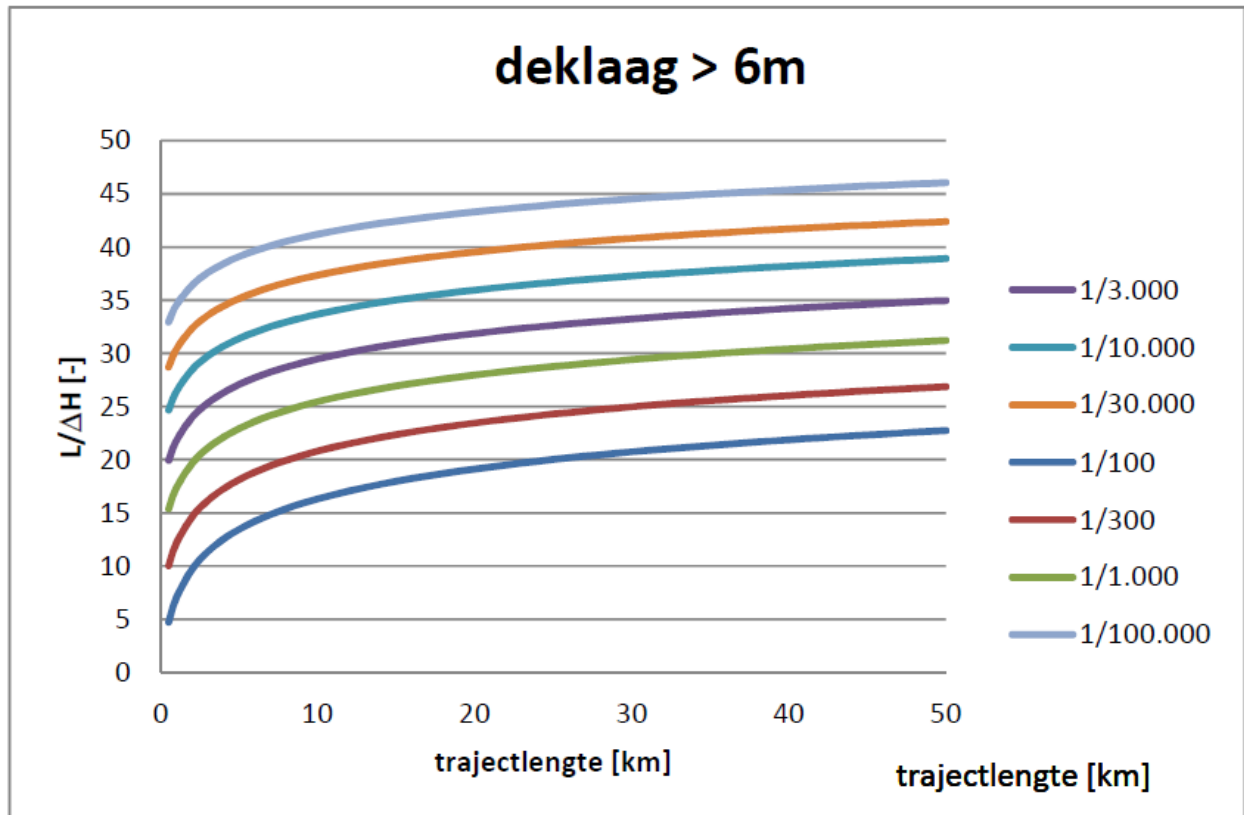
8.2.2 Piping

Het fort bestaat uit een hoog maaiveld met bebouwing en is omringd door de grondwal. Langs een deel van de grondwal bevindt zich een kade met een damwandconstructie. Gesteld kan worden dat de waterkering die bestaat uit het fort veilige afmetingen heeft. Bij een bepaalde verhouding tussen kwelweglengte en het verval over de waterkering is de kans op piping verwaarloosbaar.



Figuur 8.8: Maatgevende kwelweglengte Grondwal Fort Honswijk

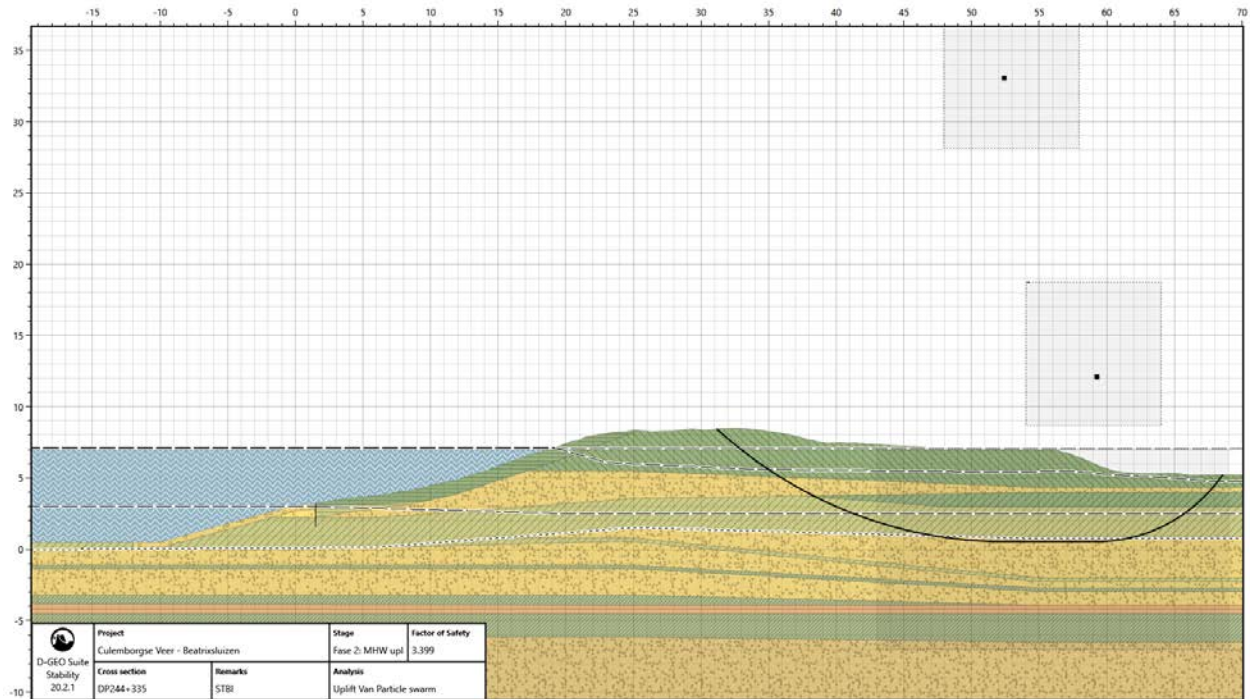
De minimale afstand tussen intredepunt en uitredepunt bedraagt 145 m. Het verschil tussen de buitenwaterstand bij norm en de waterstand bij uitredepunt is 5,12 m. De verhouding tussen de kwelweglengte en het verval bedraagt 28. De deklaagdikte onder de grondwal is groter dan 6,0 m. Conform het WBI [24] is de kans op piping verwaarloosbaar als de verhouding tussen de kwelweglengte en het verval over de waterkering groter is dan 25 bij een overstromingskans van 1/10.000. De grondwal voldoet hiermee op piping.



Figuur 8.9: Verhouding tussen kwelweglengte en verval over de waterkering in functie van de trajectlengte bij deklaag > 6 m (overgenomen uit [24])

8.2.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

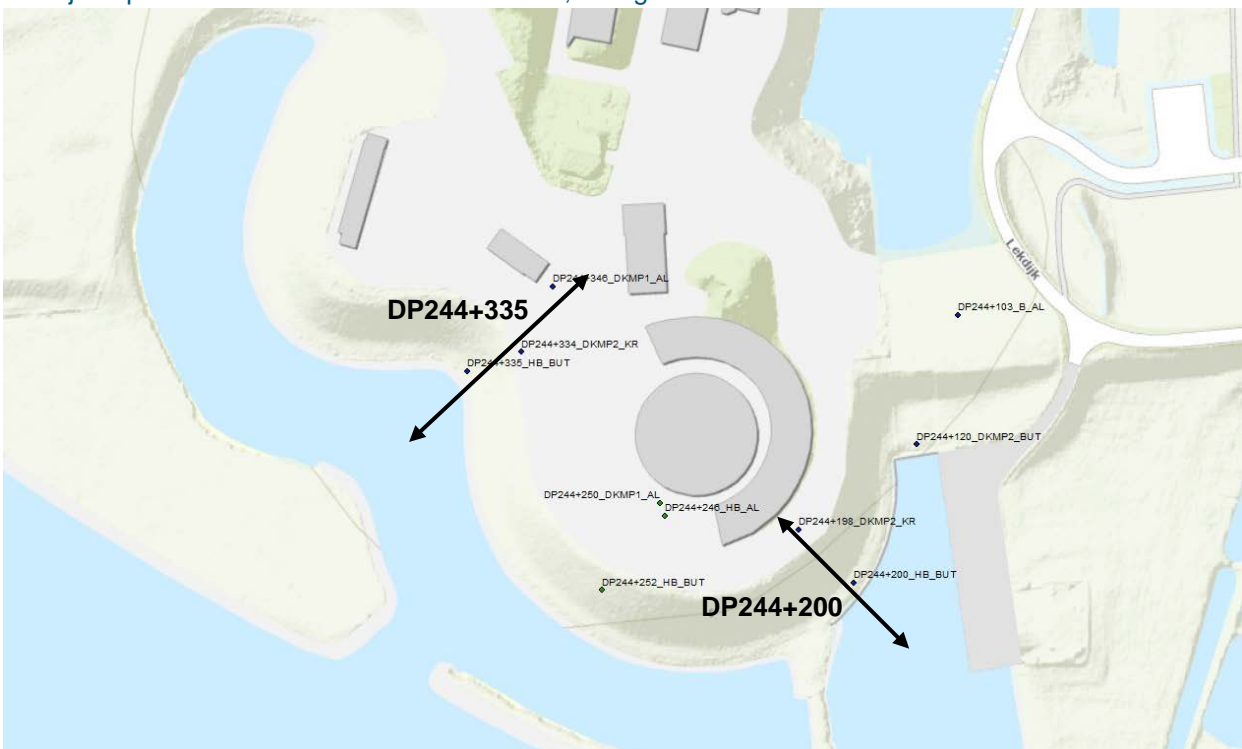
Voor de binnenwaartse macrostabieliteit van het grondlichaam ter plaatse van de grondwal is een berekening uitgevoerd in D-GEO Suite Stability. De waterstand bij norm bedraagt op deze locatie NAP + 7,12 m. In Fort Honswijk zijn geen peilbuizen aanwezig achter de grondwal. Voor de stijghoogte in het watervoerend pakket is uitgegaan dat deze volledig ongedempt blijft. Het dwarsprofiel voldoet ruim aan de binnenwaartse stabieliteit (S.F. = 3,40 ≥ 1,36).



Figuur 8.10: Stabiliteit binnenwaarts grondwal DP244+335, maatgevende glijcirkel (S.F.= 3,40)

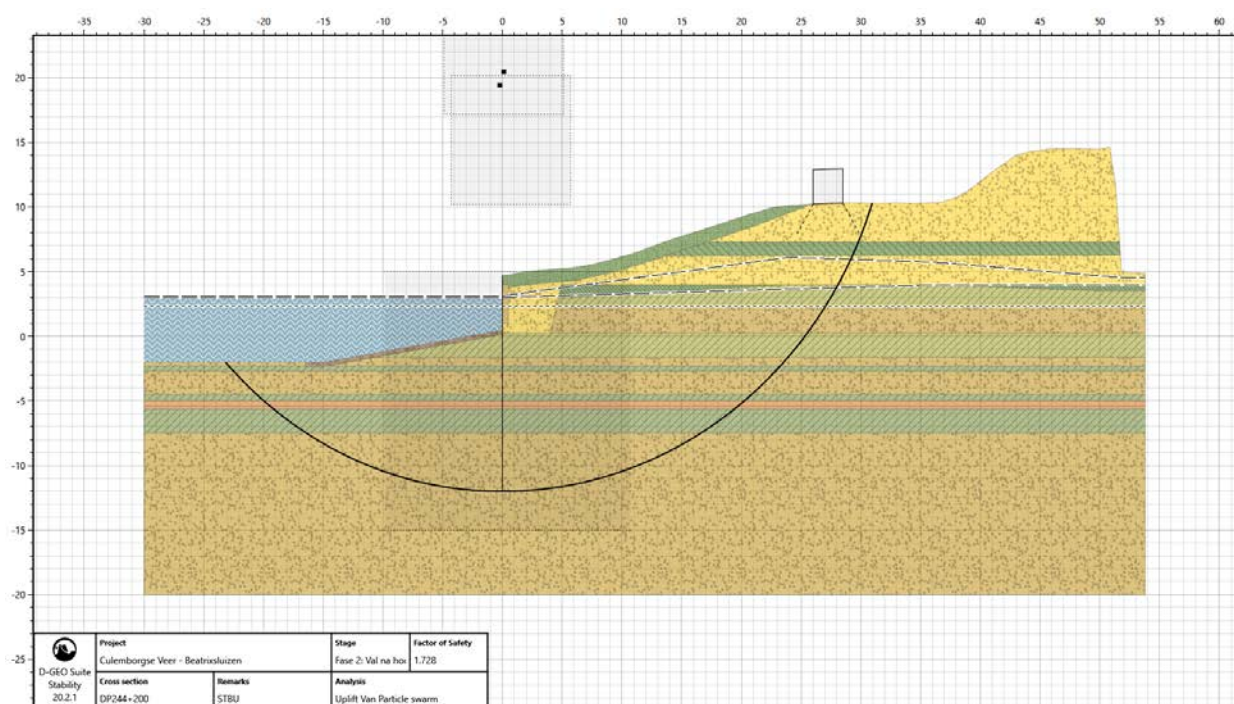
8.2.4 Macro stabiliteit buitenwaarts

Voor de buitenwaartse stabiliteit van de grondwal zijn 2 representatieve profielen beoordeeld. Het gaat hierbij om profielen DP244+200 en DP244+335, zie figuur 8.11.



Figuur 8.11: Beschouwde profielen buitenwaartse stabiliteit grondwal

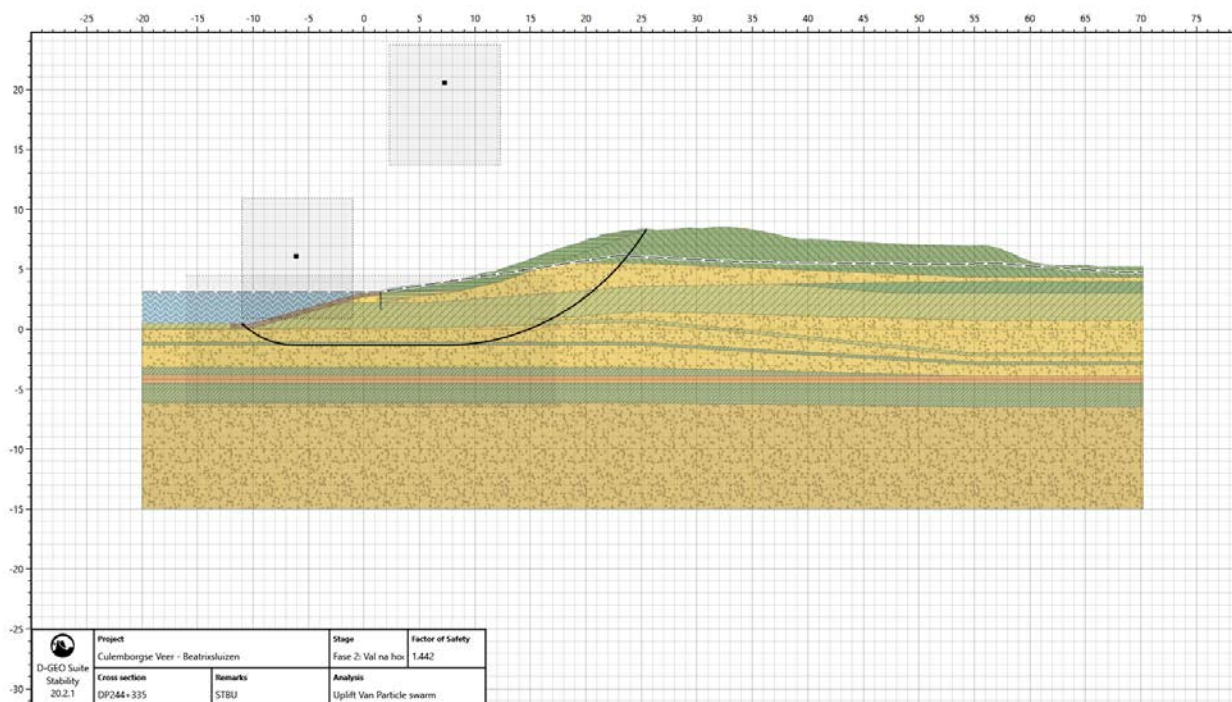
Langs een deel van de grondwal bevindt zich een kade langs de buitenteen. Deze kade loopt vanaf de verholen inundatiesluis tot ca. DP244+200. In het profiel van DP244+200 bevindt zich een kadeconstructie in de vorm van een verankerde damwand. Om een indicatie van de optredende maatgevende glijvlakken te krijgen is de damwand in de berekening geschematiseerd als een "forbidden line". De stabiliteitsfactor bij dit profiel bedraagt voor buitenwaartse stabiliteit $S.F. = 1,73$ en voldoet hiermee aan de eis ($S.F. > 1,29$). Wanneer geen forbidden line wordt geschematiseerd wordt een stabiliteitsfactor van $S.F. = 0,69$ gevonden waarbij een kleine glijcirkel optreedt ter plaatse van het verticale gedeelte van de wand.



Figuur 8.12: Stabiliteit buitenwaarts grondwal DP244+200, maatgevende glijcirkel ($S.F. = 1,73$)

Uit het verloop van de maatgevende glijcirkel blijkt dat dit glijvlak de actieve wig van de damwand kruist. De damwand aan de buitenteen van de grondwal heeft hiermee een stabiliteitsverhogende functie. Om op deze locatie de buitenwaartse stabiliteit verder te kunnen beoordelen is een berekening met het eindige elementen programma Plaxis uitgevoerd en beoordeeld conform de POVM Publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies (PPL) en de POVM Publicatie Rekentechnieken, EEM toepassing binnen het ontwerp (PPE). Deze beoordeling is opgenomen in bijlage U. Uit deze beoordeling volgt dat de damwand voldoet.

Op het overige deel van de grondwal bevindt zich langs het buitentalud een glooiingsconstructie bestaande uit een gesloten perkoenpalenrij en stortsteen op wiepen. De perkoenpalenrij is in het profiel geschematiseerd als "forbidden line". De bodemhoogte van de waterpartij langs de buitenteen bevindt zich op NAP + 0,5 m. De stabiliteitsfactor bij dit profiel bedraagt voor buitenwaartse stabiliteit $S.F. = 1,44$ en voldoet hiermee aan de eis ($S.F. > 1,29$). Uit de maatgevende glijcirkel blijkt dat deze niet door de perkoenpalenrij gaat en daarmee niet relevant is voor de buitenwaartse stabiliteit.



Figuur 8.13: Stabiliteit buitenwaarts grondwal DP244+335, maatgevende glijcirkel (S.F.=1,44)

8.2.5 Bomen op grondwal (NWObo)

Een niet waterkerend object (NWO) op of nabij een waterkering kan leiden tot schade aan de waterkering. Het ontwortelen van een boom (windworp) kan bijvoorbeeld het dijkprofiel dusdanig aantasten dat de veiligheid van de waterkering daardoor wordt gereduceerd. In deze paragraaf wordt een toets uitgevoerd van de aanwezige bomen op de grondwal. Hierbij is gebruik gemaakt van “WBI2017 Bijlage III, Sterkte en veiligheid” [24]. De bomen staan op de kruin van de waterkering en hebben daarmee invloed op de sterkte van de waterkering.

Door de aanwezigheid van een niet-waterkerend object kan er sprake zijn van een verstoring van de waterkerende functie in een bepaalde zone rondom het NWO, die verstoringzone wordt genoemd. De 2-dimensionale begrenzing daarvan in het dwarsprofiel wordt het verstoringprofiel (ontgrondingskuil) genoemd.

Voor het bepalen van het verstoringprofiel op de kruin is uitgegaan van een stamdiameter tussen 41 - 80 cm (afgaande van de veldinspectie) en een grondwaterstand (GRW) die lager is dan mv -0,5 m. Uit tabel 8—4 kan worden afgeleid dat de omvang van de diameter van de wortelkluif in dit geval 5,6 m bedraagt en de kluifdiepte 1,0 m.

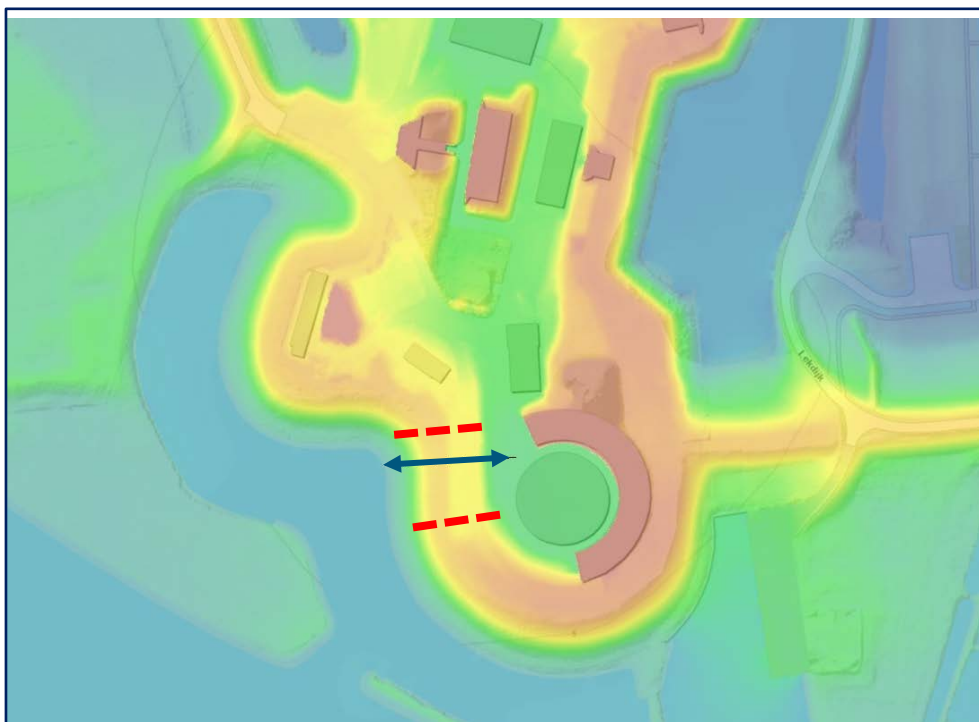
Tabel 8—4: Ontgrondingskuil bij windworp als functie van de grondwaterstand en stamdiameter (WBI 2017 [24])

Parameters	Omvang wortelkluif d [m] bij stamdiameter [cm]			
	15 - 40 cm	41 - 80 cm	81 - 120 cm	>120 cm
GRW > mv - 0,5 m				
Kluit diameter [m]	3,6	6,5	7,7	8,5

Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland) [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m]	2 maal de stamdiameter			
GRW < mv – 0,5 m	2,8	4,5	5,0	6,0
Kluit diameter [m]	2,8	5,6	7,2	6 * stam diameter
Kluit diepte (kruin, binnentalud en achterland) [m]	0,8	1,0	1,2	1,4
Kluit diepte (voorland en buitentalud) [m]	2 maal de stamdiameter			

Doordat windworp niet kan worden uitgesloten omdat de bomen groter zijn dan 5 m en een natuurlijke kroonvorm hebben, is in een nadere analyse binnen de toets op maat uitgevoerd waarbij de ontgrondingskuil als scenario is meegenomen in de schematisering voor de faalmechanisme hoogte. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Kruinniveau circa NAP +8,0 m;
- Niveau ontgrondingskuil = NAP +8,0 m – 1,0 m = NAP +7,0 m;
- Hydraulisch belastingniveau ($q = 0,1 \text{ l/s/m}$) = NAP +7,53 m.



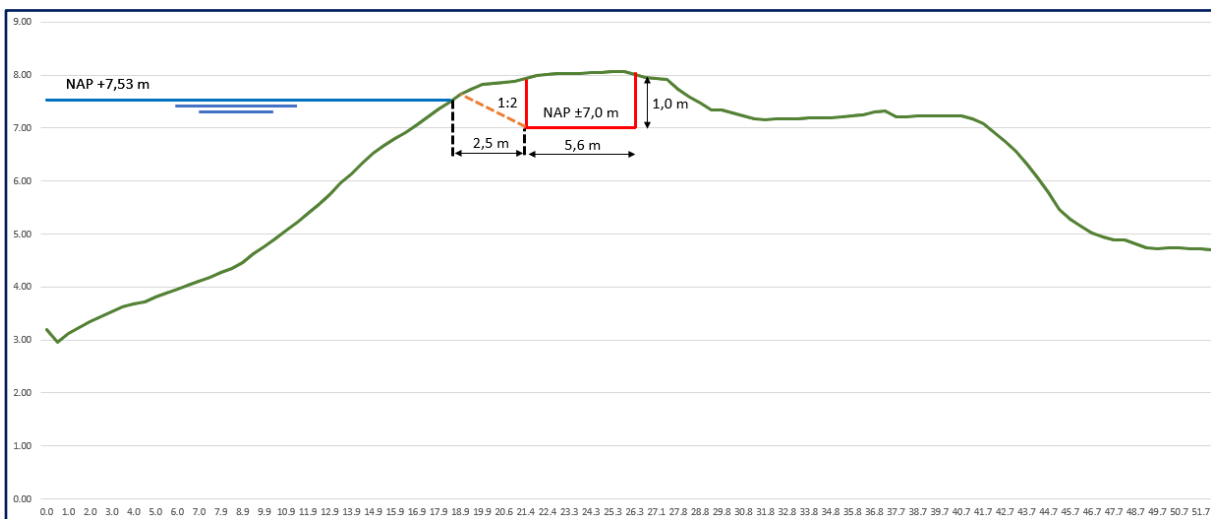
Figuur 8.14: Hoogtecontouren Fort Honswijk (AHN3) met representatief dwarsprofiel en zone met beperkte kruinbreedte.

In figuur 8.14 is tussen de rode stippellijnen over een lengte van 40 m een relatief beperkte kruinbreedte aanwezig van circa 9 m met bomen op de kruin. Een foto van de situatie is opgenomen in figuur 8.15.



Figuur 8.15: Foto van situatie ter plaatse van de grondwal met bomen op de kruin

In figuur 8.16 is indicatief de ontgrondingskuil als gevolg van windworp ingetekend met een secundair (additioneel) glijvlak met een taludhelling van 1:2 (= klei materiaal).



Figuur 8.16: Representatief dwarsprofiel met afmetingen ontgrondingskuil en secundair glijvlak

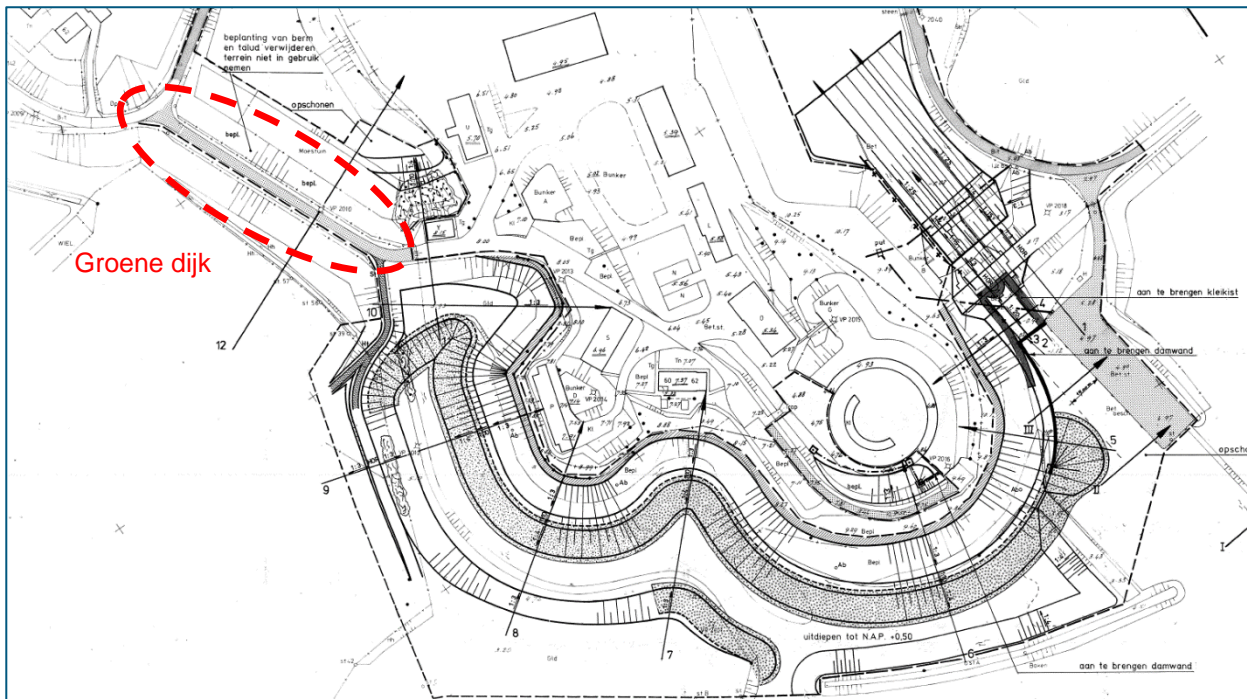
Bij het Hydraulisch Belasting Niveau behorende bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m worden geen eisen gesteld aan de grasbekleding op de kruin en binnentalud. Bij het representatieve dwarsprofiel is dit een niveau van NAP +7,53 m.

Conform "Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen" [36] is bij bomen op de kruin enerzijds de breedte van de kruin en anderzijds de plaats van de bomen bepalend voor de beoordeling. Na het ontstaan van een ontgrondingskuil en secundair glijvlak moet een restbreedte van de kruin van meer dan 3 meter overblijven. Uit figuur 8.16 volgt dat na het ontstaan de ontgrondingskuil en secundaire afschuiving er onvoldoende restbreedte van de kruin aanwezig. Er blijft minder dan 0,5 meter kruinbreedte over langs de buitenkruinlijn bij een hoogte van NAP +7,53 m (= overslagdebiet groter dan 0,1 l/s/m).

Deze restbreedte is onvoldoende over de strekking van 40 m zodat in geval van windworp van bomen en het ontstaan van een ontgrondingskuil vervolgens bresvorming kan optreden. Door de aanwezigheid van de bomen voldoet de hoogte niet op dit gedeelte van de grondwal.

8.3 Groene dijk

Naast de grondwal van Fort Honswijk is er ook een gedeelte dat bestaat uit een groene waterkering. Op de groene dijk bevindt zich de toegangsweg naar het fort (zie Figuur 8.17 en Figuur 8.18). De totale lengte van de dijk bedraagt circa 120 m. Dit deel van de waterkering is niet specifiek benoemd in de eerdere toetsrondes. In deze paragraaf zal hier verder specifiek op in worden gegaan. De berekeningsresultaten zijn tevens opgenomen in tabel 3-12 bij dijkpaal 244+635.



Figuur 8.17: Groene dijk bij Fort Honswijk



Figuur 8.18: Groene dijk met toegangsweg naar Fort Honswijk

8.3.1 Hoogte

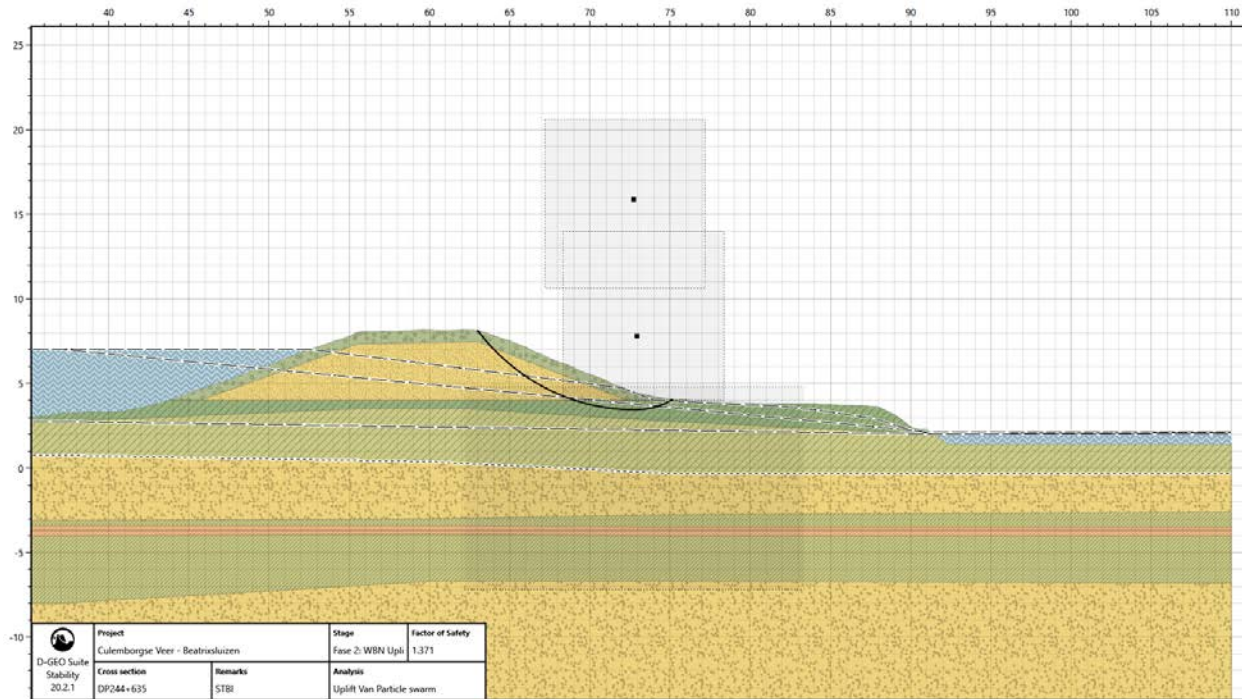
De maatgevende kruinhoogte bedraagt op basis van de hoogtemeting van Gemeente Houten [35] NAP + 7,70 m. De autonome bodemdaling van 2 mm/jaar zodat voor het zichtjaar 2073 een autonome bodemdaling van 0,1 m wordt gevonden. De kruinhoogte voor het zichtjaar 2073 bedraagt NAP +7,60 m. Het hydraulisch belastingniveau voor het zichtjaar 2073 langs de groene dijk bedraagt NAP +7,45 m. De groene dijk voldoet aan de kerende hoogte.

8.3.2 Piping

De beoordeling op piping is uitgevoerd zoals beschreven in hoofdstuk 4. Het profiel moet voldoen aan een van de volgende drie deelfaalmechanismen om te voldoen aan piping: opbarsten, heave of terugschrijdende erosie. De berekende veiligheidsfactoren zijn respectievelijk 1.16, 0.61 en 0.53. Er wordt voldaan aan de deelfaalmechanismen wanneer de veiligheidsfactor groter is dan 1.0. Hieruit volgt dat de deklaag voldoende dik is waardoor opbarsten niet op kan treden. Op basis van de berekende veiligheidsfactoren voldoet de groene dijk op het mechanisme piping.

8.3.3 Macrostabieliteit binnenwaarts

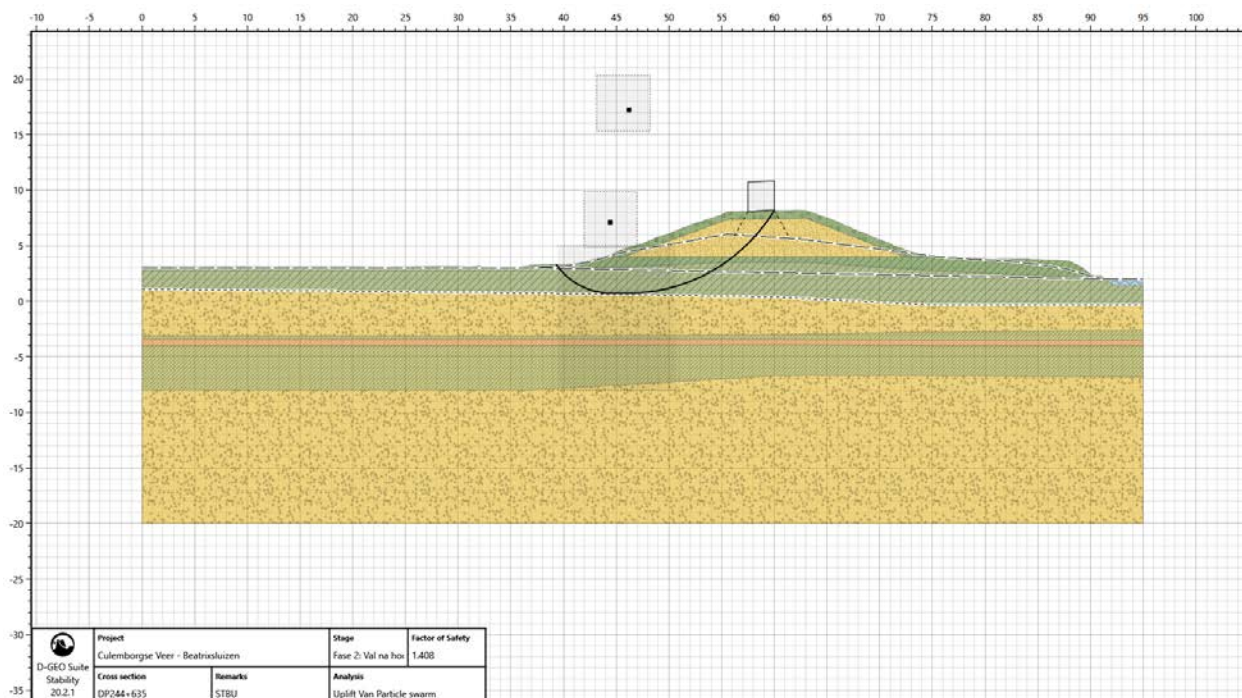
Voor de binnenwaartse macrostabieliteit van het grondlichaam ter plaatse van de groene dijk is een berekening uitgevoerd in D-Stability. De waterstand bij norm bedraagt op deze locatie NAP + 7.02 m en het streefpeil in de gracht ligt op NAP +2,00 m. De helling van het binnentalud is 1:2.6. Op basis van de peilbuisanalyse wordt uitgegaan dat de stijghoogte ter plaatse van de binnenteen van de groene dijk volledig wordt gedempt. De gemiddelde stijghoogte in de watervoerend laag is NAP + 2,12 m. Het dwarsprofiel voldoet aan de binnenwaartse stabiliteit ($S.F. = 1,37 \leq 1,36$). Deze waarde is ook opgenomen in tabel 3-12 bij dijkpaal 244+635.



Figuur 8.19: Stabiliteit binnenwaarts groene dijk, maatgevende glijcirkel (S.F.=1,37)

8.3.4 Macrostabiliteit buitenwaarts

De buitenwaartse stabiliteit is beoordeeld bij de situatie val na hoogwater. De helling van het buitentalud bedraagt 1:2.9. Het dwarsprofiel voldoet aan de eis voor de buitenwaartse stabiliteit (SF= 1,41 < 1,29). Deze waarde is ook opgenomen in tabel 3-12 bij dijkspaal 244+635.



Figuur 8.20: Stabiliteit buitenwaarts groene dijk, maatgevende glijcirkel (S.F.=1,41)

8.4 Conclusies en aanbevelingen

Verholen inundatiesluis

- De aanwezige damwand die de buitenwaartse macrostabiliteit verzorgd is voldoende beoordeeld door middel van een D-Sheet Piling berekening.
- De overige faalmechanismen hoogte, piping en binnenwaartse macrostabiliteit voldoen eveneens.

Grondwal

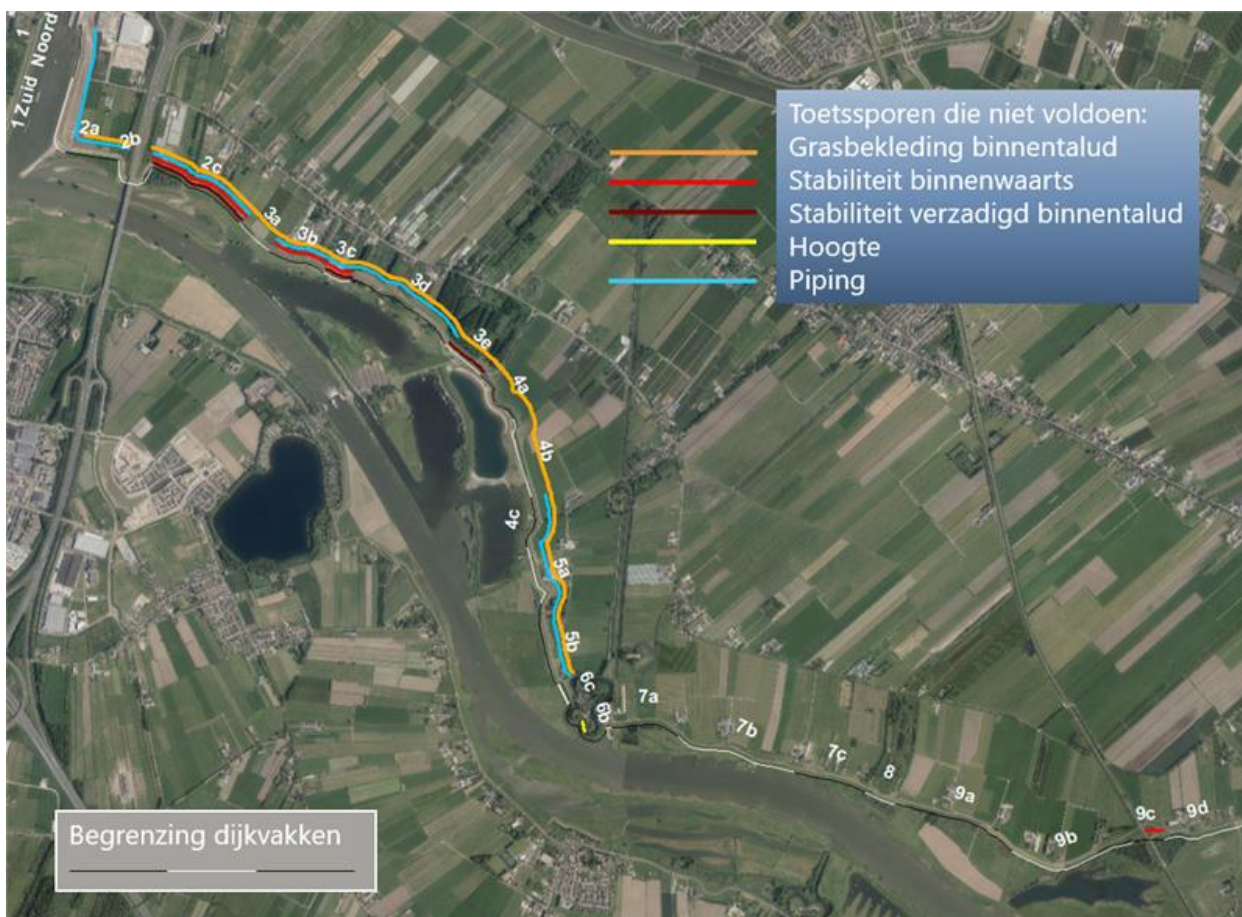
- Door de aanwezigheid van een relatief dikke deklaag en de breedte van het achterland voldoet de grondwal op piping.
- Door de aanwezigheid van een hoog en breed achterland voldoet de binnenwaartse macrostabiliteit.
- Het gedeelte van de buitenzijde van de grondwal waar een perkoenpalenrij is aangebracht met een teenconstructie voldoet m.b.t. buitenwaartse macrostabiliteit.
- Langs een gedeelte van de buitenzijde van de grondwal bevindt zich een kadeconstructie bestaande uit een verankerde damwand die een stabiliteitsverhogende functie heeft. Deze damwand is beoordeeld met het eindige elementenprogramma Plaxis conform de POVM Publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies (PPL) en de POVM Publicatie Rekentechnieken, EEM (PPE). Hieruit volgt dat de damwand voldoet.
- Door de aanwezigheid van bomen op de grondwal voldoet de hoogte niet overal in geval van het ontstaan van een ontgrondingskuil. Deze restbreedte is onvoldoende over de strekking van 40 m zodat in geval van windworp van bomen en het ontstaan van een ontgrondingskuil vervolgens bresvorming kan optreden. Door de aanwezigheid van de bomen voldoet de hoogte niet op dit gedeelte van de grondwal.

Groene dijk

- Dit gedeelte van Fort Honswijk voldoet voor alle beschouwde faalmechanismen.

9 Eindconclusie van de veiligheidsanalyse

Op basis van de uitgevoerde analyses in de hoofdstukken 2 tot en met 8 kan een eindconclusie worden getrokken met betrekking tot de veiligheidsopgave voor deelproject CUB. De geassembleerde veiligheidsopgave is opgenomen in figuur 9.1. In deze figuur zijn alleen de dijkvakken opgenomen waar een veiligheidsopgave is voor de betreffende faalmechanismen.



Figuur 9.1: Resultaat aangescherpte veiligheidsanalyse (zichtjaar 2073) per dijkvak en per faalmechanisme

In tabel 9-1 een samenvatting gegeven van de veiligheidsopgave per dijkvak en per faalmechanisme. Hierin geeft een rood vakje aan dat het betreffende faalmechanisme bij het betreffende dijkvak niet voldoet en er een veiligheidsopgave is. Een groen vakje geeft aan dat bij het betreffende dijkvak het betreffende faalmechanisme voldoet en er geen veiligheidsopgave is.

Tabel 9-1 Resultaat aangescherpte veiligheidsanalyse (zichtjaar 2073) per dijkvak en per faalmechanisme

Dijkvak	HT	STBI (verzadigd)	STBI	STBU	STPH	STMI	GEBU	GABU	GEKB	GABI
1										
2a										
2b										
2c										
3a										
3b										
3c										
3d										
3e										
4a										
4b										
4c										
5a										
5b										
6										
7a										
7b										
7c										
8										
9a										
9b										
9c										
9d										

¹⁾ Ter plaatse van dijkvak 6 (Fort Honswijk) is er over een strekking van circa 40 m een beperkte kruinbreedte aanwezig waarop bomen staan. In geval van windworp van deze bomen kan een ontgrondingskuil ontstaan waarna bresvorming kan optreden.

De in tabel 9-1 opgenomen afkortingen van de verschillende faalmechanismen worden hieronder nader verklaard:

HT = Hoogte

STBI verzadigd = Stabiliteit binnenwaarts voor het scenario met een verzadigd binnentalud

STBI = Macro stabiliteit binnenwaarts

STBU = Macro stabiliteit buitenwaarts

STPH = Piping

STMI = Micro stabiliteit

GEBU = Grasbekleding erosie buitentalud

GABU = Grasbekleding afschuiving buitentalud

GEKB = Grasbekleding erosie kruin en binnentalud

GABI = Grasbekleding afschuiving binnentalud

Referenties

- [1] „Bundeling veiligheidsopgave, Dijkversterking Culemborgse Veer - Beatrixsluis,” Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0008, 22 november 2019.
- [2] Veiligheidsanalyse bijzondere waterkerende constructies, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0010: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 6 december 2019.
- [3] Technische uitgangspuntennotitie, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0019: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 22 november 2019.
- [4] Grondonderzoek Sterke Lekdijk Culemborgse Veer - Beatrixsluis (CUB), Resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek, 02P011039-03-adv-01: Wiertsema-Inpijn-Blokpoel V.O.F., 19 juli 2019.
- [5] Aanvullend grondonderzoek Culemborgse Veer - Beatrixsluizen (CUB-a),, Projectnummer 02P011039-08: Wiertsema-Inpijn-Blokpoel V.O.F., Augustus 2020.
- [6] CUB-A, monitoring waterspanning, concept: Wiertsema-Inpijn_Blokpoel V.O.F., 30 maart 2020.
- [7] Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping toetsresultaat noordelijke Lekdijken en voormalige C-Keringen - Uitwerking onderzoeksplan, Neijenhuis P. et al: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 30 juni 2017.
- [8] Strategische Nota van Uitgangspunten, 1497540-v3, versie 1.1: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 17 september 2019.
- [9] Excel met hydraulische randvoorwaarden voor CUB, DM1464826: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, DM53PRD-#1464826-v1-Aangepaste_oplevering_Hydraulische_randvoorwaarden_DR44-1.
- [10] KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.v.m. golfoverslag OI2014v4, KPR, 8 maart 2018.
- [11] Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn en Lekdijk ten behoeve van het project Centraal Holland, Resultaten geotechnisch onderzoek, documentnummer 02P006468-RG-01: Inpijn-blokpoel, 23 oktober 2015.
- [12] Veiligheidsoordeel Voorhavendijk, PR3845.10: Ter Horst, W. et al, HKV, november 2018.
- [13] UO primaire waterkering oost, dwarsprofielen DWP-9 t/m DWP-12, EPC-TMO-UO-GPW-TOV-5014: Sas van Vreeswijk, 28-10-2016.
- [14] Rapportage proevenverzameling Culemborgse Veer - Beatrixsluis, SLD-RHD-TM-CUB-NA-TM-109: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 22 november 2019.
- [15] Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016.
- [16] Plan van aanpak aanvullende peilbuizen en waterspanningsmeters, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0040: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 9 december 2019.
- [17] Betrekkingslijnen Rijntakken versie 2018, Referentie 4500283440: Rura-Arnheim, 03-05-2019.
- [18] „Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken,” Technisch Adviescomisie voor de Waterkeringen, ISBN-90-369-5565-3, 1 september 2004.
- [19] Beoordeling binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, Dijkversterking Wijk bij Duurstede - Amerongen, C03011.000750: Sweco-Arcadis, 27-3-2019.
- [20] Primaire Waterkering Oost (buitenzijde), UO Optimalisatie taludbescherming, EPC-TMO-UO-GPW_BER-401: Sas van Vreeswijk, 09-06-2017.
- [21] Maatwerk aanpak piping CUB, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TS-0166: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 26-02-2021.

- [22] Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, projectnummer C03011.000406: Arcadis, 23 december 2015.
- [23] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, 1202123-003-GEO-0002: Deltares, maart 2012.
- [24] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.
- [25] „Schematiseringshandleiding grasbekleding,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 28 november 2019.
- [26] „Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 29 januari 2019.
- [27] „Schematiseringshandleiding hoogte,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 28 november 2019.
- [28] „Reststerkte bij erosie buitentalud,” Waterschap Vallei en Veluwe, Referentie: 17M3041-R-013-v05, 4 september 2019.
- [29] Prediction of the erosion velocity of a slope of clay due to wave attack, 1209437-017-HYE-0003: Deltares, 20 juli 2020.
- [30] „Erosie van een dijk na bezwijken van de steenzetting door golven, SBWReststerkte analyse Deltagootproeven,” Deltares, 18 mei 2012.
- [31] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Versie OI2014v4: RWS, februari 2017.
- [32] Visuele inspectie dijkbekleding, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0119: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 7 oktober 2020.
- [33] Waterschap kromme rij, verbetering noorder lekdijk (hm 204 t/m 244) dwarsprofiel 18-22, 633-66419, tekening 11-10: Heidemij Adviesbureau, augustus 1991.
- [34] Waterschap kromme rij, verbetering noorder lekdijk, (hm 204 t/m 244), details, 633-66419, tekening 14-13: Heidemij Adviesbureau, 19-4-1988.
- [35] Fort Honswijk te Schalkwijk, Situatie- en hoogtemeting, Gemeente Houten, P18120SKW: Infra Plus, 12-12-2018.
- [36] Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen, STOWA, 2000.
- [37] HWBP Handreiking verkenning versie 2, Hoogwaterbeschermingsprogramma, Oktober 2017.
- [38] „Plan van aanpak verkenningfase project dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis,” Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, versie 1.0, 20 maart 2019.
- [39] Grondonderzoek Lekdijk en Gekanaliseerde Hollandse IJssel, Resultaten grondonderzoek en beoordeling NKT dijkvakken 44 en 15, nummer 02P008121-adv-03: Inpijn-blokpoel, 28 april 2017.
- [40] Grondonderzoek sterke Lekdijk, Deeltraject Voldoende Trajecten (VT), Resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek, nummer 02P011039: Wiertsema-Inpijn-Blokpoel V.O.F., 10 mei 2019.
- [41] Veiligheidsanalyse voorhavendijk Beatrixsluis, PR3845.10: HKV, september 2018.
- [42] Schematiseringshandleiding piping, WBI 2017, Status definitief, versie 3.0: RWS, 28 november 2019.
- [43] Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken - Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie, Groene versie 2018, Versienummer D2: RWS, 1 november 2018.
- [44] Leidraad Kunstwerken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, mei 2003.
- [45] „Aanscherping veiligheidsanalyse Culemborgse veer - Beatrixsluis, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0138,” medio november 2020.

Bijlagen

- Bijlage A: Rapportage invloed kruinhoogte op overslag en macrostabiliteit**
- Bijlage B: Factsheets per dijkvak**
- Bijlage C: Onderbouwing keuze 15 maatgevende profielen**
- Bijlage D: Gedraineerde grondparameters klei**
- Bijlage E: Rapportage bepaling POP waarden CUB**
- Bijlage F: Overzicht alle beschikbare peilbuizen**
- Bijlage G: Beschikbare puilbuismetingen**
- Bijlage H: Responsanalyse**
- Bijlage I: Overzicht beschikbare peilbuizen**
- Bijlage J: Peilbuismetingen Inpijn-Blokpoel**
- Bijlage K: Berekening opbarstveiligheid deklaag**
- Bijlage L: Stabiliteitsberekeningen**
- Bijlage M: Schematiseringsfactor piping**
- Bijlage N: Berekeningsresultaten pipinganalyse**
- Bijlage O: Uitgangspunten damwandberekening verholen inundatiesluis**
- Bijlage P: Damwandberekening verholen inundatiesluis**
- Bijlage Q: GEBU: resultaten reststerkte berekeningen graserosie buitentalud**
- Bijlage R: Steentoets**
- Bijlage S: Gevoeligheidsanalyse piping voor toename stijghoogte in watervoerende pakket**
- Bijlage T: Gevoeligheidsanalyse stabiliteit binnenwaarts voor toename stijghoogte in watervoerende pakket**
- Bijlage U: Plaxis beoordeling kadeconstructie buitenteen Fort Honswijk (STBU)**
- Bijlage V: Vergelijking bepaling gewicht van deklaag**

A Rapportage invloed kruinhoogte op overslag en macrostabiliteit

Invloed kruinhoogte op overslag en macrostabiliteit

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

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

STERKE LEKDIJK

Culemborgseveer - Beatrixsluis

Titel	Invloed kruinhoogte op overslag en macrostabiliteit
Kenmerk	SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0140
Versie	Definitief
Datum	23-07-2020
Projectnaam	Dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluizen
Projectnummer	BF5981

Opgesteld door:

G.J. van Boven

Datum

23-07-2020

Handtekening



Gecontroleerd door

J. Hockx

Datum

23-07-2020

Handtekening



Vrijgegeven door:

E. Arnold

Datum

23-07-2020

Handtekening



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Lekdijk tussen het traject Culemborgse Veer – Beatrixsluis dient ontworpen te worden op een maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m [1]. Binnen het spoor macrostabiliteit binnenwaarts wordt hier conform [1] rekening mee gehouden door een gevoeligheidsanalyse uit te voeren waarbij ook de overslagdebieten 0,1 l/s/m, 1 l/s/m en 10 l/s/m worden beschouwd. In deze analyse wordt de macrostabiliteit bij een verzadigde dijk beschouwd bij verschillende overslagdebieten. De uitkomsten hiervan worden daaropvolgend vergeleken met de onverzadigde dijk. Een dergelijke gevoeligheidsanalyse is niet noodzakelijk als overslag fysisch niet kan optreden doordat de dijk voldoende hoog is. Op basis van de resultaten uit de veiligheidsanalyse [2], die gebaseerd is op voorgaande toetsingen [4] en [5], is geconcludeerd dat de Lekdijk voldoende hoog is met uitzondering van het deel ten westen van de rijksweg A27. In deze rapportage is opnieuw naar de hoogte van de dijk gekeken en een vergelijk gemaakt tussen de bestaande hoogte van de Lekdijk en de benodigde hoogte bij de verschillende overslagdebieten voor het zichtjaar 2073.

1.2 Doel

Het doel van deze rapportage is:

- Inzichtelijk maken waar overslag kan optreden bij een overslagdebiet gelijk aan 5,0 l/s/m;
- Inzichtelijk maken waar een overslagdebiet van 1,0 l/s/m of groter kan optreden en als gevolg hiervan bij de beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud zowel een verzadigd als onverzadigd binnentalud moet worden beschouwd.

1.3 Beschikbare bronnen

- [1] Technische uitgangspuntennotitie, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 22 november 2019, Referentie: BF5981-SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0019;
- [2] Bundeling veiligheidsopgave, Dijkversterking Culemborgse Veer - Beatrixsluis," Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Referentie: BF5981-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001, 12 juli 2019;
- [3] Haalbaarheid Satellietmetingen Zetting Lekdijk en omgeving (paragraaf 3.2)," Sensor, Juni 2018. (Shapefile in GIS: "SLD_Bodemdaling.shp");
- [4] Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en Lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, 23-12-2015;
- [5] Neijenhuis P. et al, 30 juni 2017, Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping;
- [6] Toetsresultaat noordelijke Lekdijken en voormalige C-Keringen – Uitwerking Onderzoeksplan;
- [7] KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4," KPR, 8 maart 2018;
- [8] Strategische Nota van Uitgangspunten Sterke Lekdijk," Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Referentie: 1497540-v3, versie 1.1, 17 september 2019.

1.4 Uitgangspunten

Voor het vergelijk zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

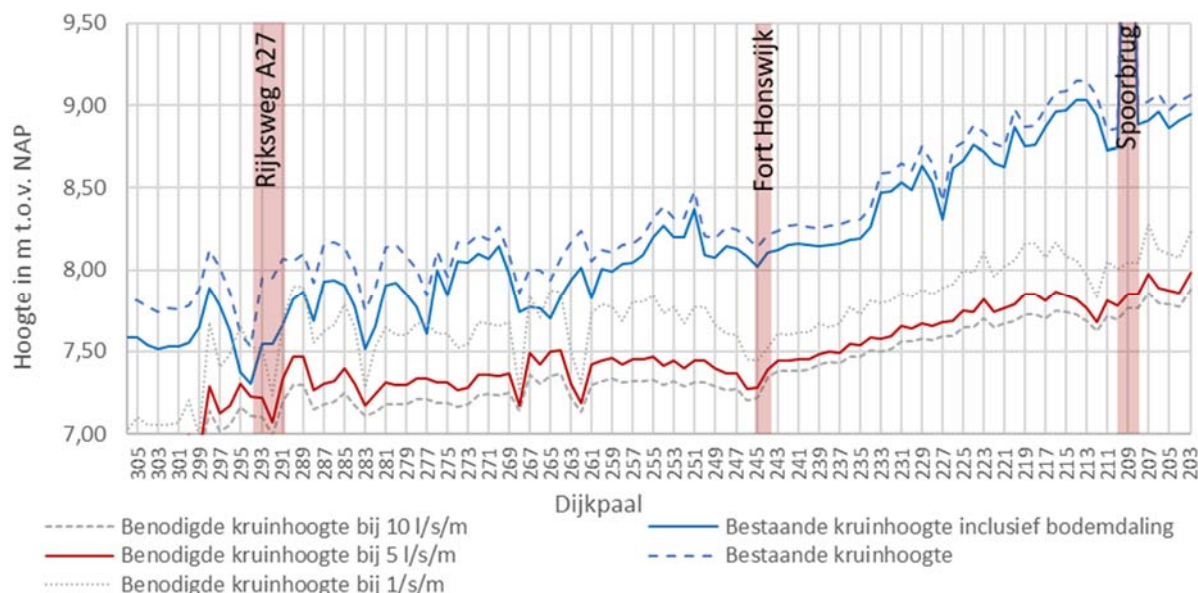
- De benodigde kruinhoogte is overgenomen uit de Technische uitgangspuntennotitie (TUN) [1]. De benodigde kruinhoogten zijn bepaald bij doorsnede-eis (1/41667 per jaar);
- De bestaande kruinhoogte is opgemeten uit het AHN3 meetdata (inwinningsjaar 2015) hierbij is de maximale hoogte per dwarsprofiel gehanteerd;

- Het zichtjaar is gelijk aan 2073 conform TUN [1]. De opnamedatum van de AHN3 metingen is gelijk aan 2015. Dit resulteert in 58 jaar bodemdaling ten opzichte van de metingen uit het AHN3;
- Toeslagen conform TUN [1]:
 - Bodemdaling varieert van 2 mm tot 7 mm per jaar en is geïnventariseerd op dijkpaalniveau middels de geleverde shapefile [2].
 - Conform het OI2014v4 wordt er in het ontwerp geen rekening gehouden met een robuustheidstoeslag. In de huidige ontwerpmethodiek (Hydra-NL) worden modelonzekerheden meegenomen in de statistiek waarbij een voldoende mate van robuustheid is verwerkt. Geacht wordt dat in de huidige vastgestelde hydraulische randvoorwaarden voldoende robuustheid zit waardoor een extra robuustheidstoeslag overbodig is.

2 Analyse

Door HDSR zijn de benodigde kruinhoogtes bepaald bij 3 verschillende overslagdebieten [8]. Het betreft de volgende debieten: 1,0 l/s/m, 5,0 l/s/m en 10,0 l/s/m. De benodigde kruinhoogte bij de verschillende overslagdebieten voor het zichtjaar 2073 is bepaald middels lineaire interpolatie tussen de zichtjaren 2050 en 2100.

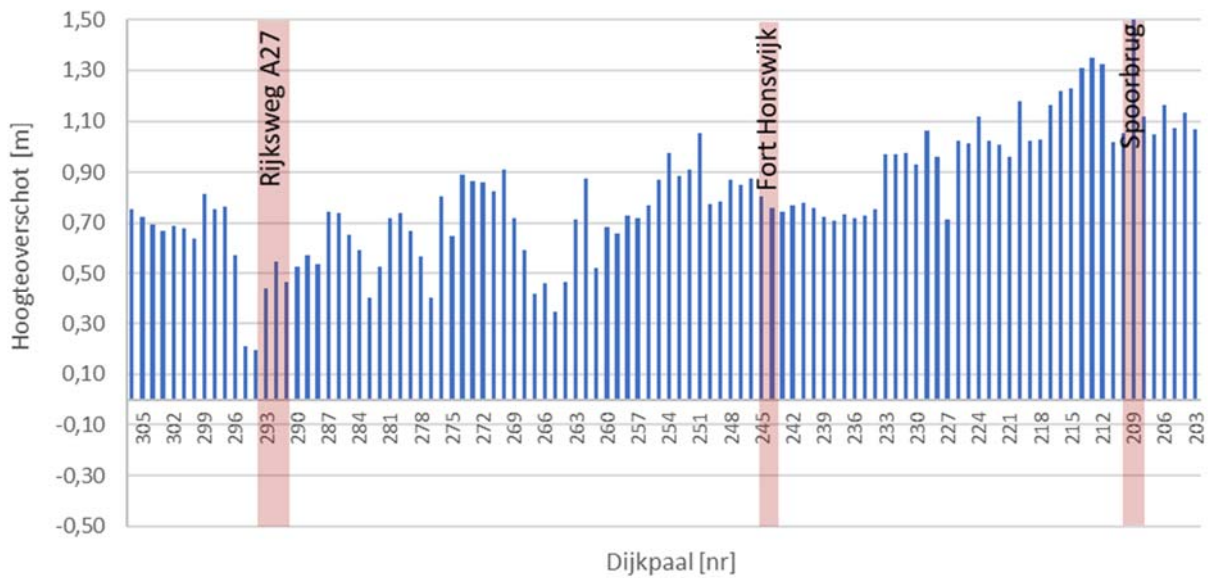
In onderstaande grafiek zijn de benodigde kruinhoogtes per overslagdebiet grafisch weergegeven en afgezet tegenover de bestaande kruinhoogte van de waterkering voor het zichtjaar 2073. Bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte is rekening gehouden met de optredende bodemdaling. Een tabel die ten grondslag ligt aan deze grafieken is toegevoegd in bijlage A1.



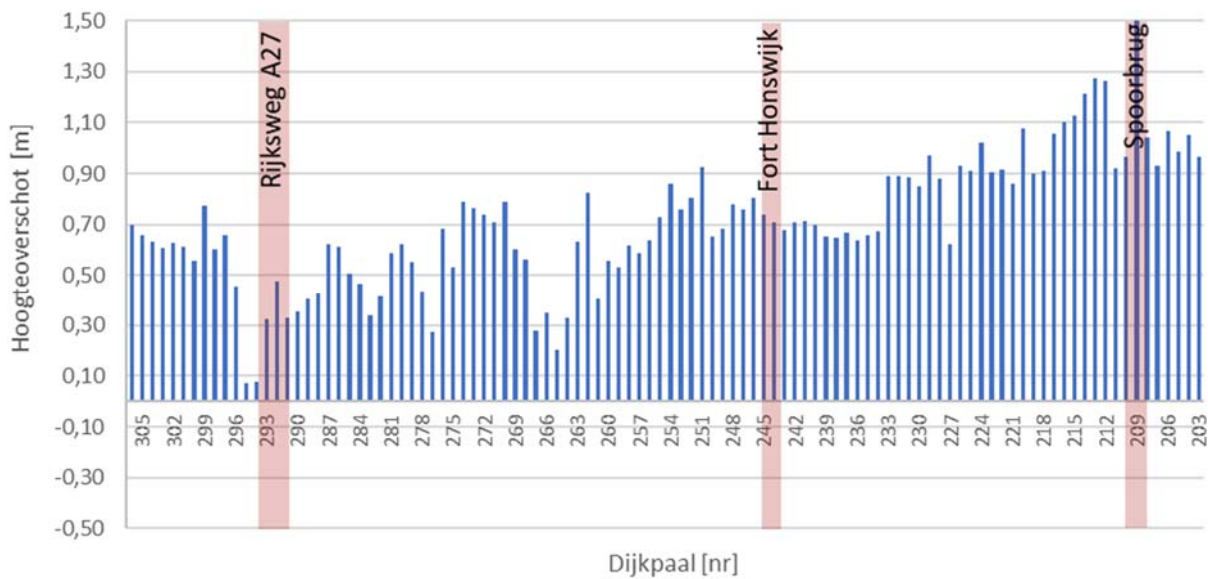
Figuur 2.1: Vergelijking van bestaande kruinhoogte en benodigde kruinhoogte bij diverse overslagdebieten voor zichtjaar 2073

In onderstaande 3 figuren is ter verduidelijking het verschil tussen de kruinhoogte inclusief bodemdaling voor het zichtjaar 2073 met de benodigde kruinhoogte bij de verschillende overslagdebieten grafisch weergegeven.

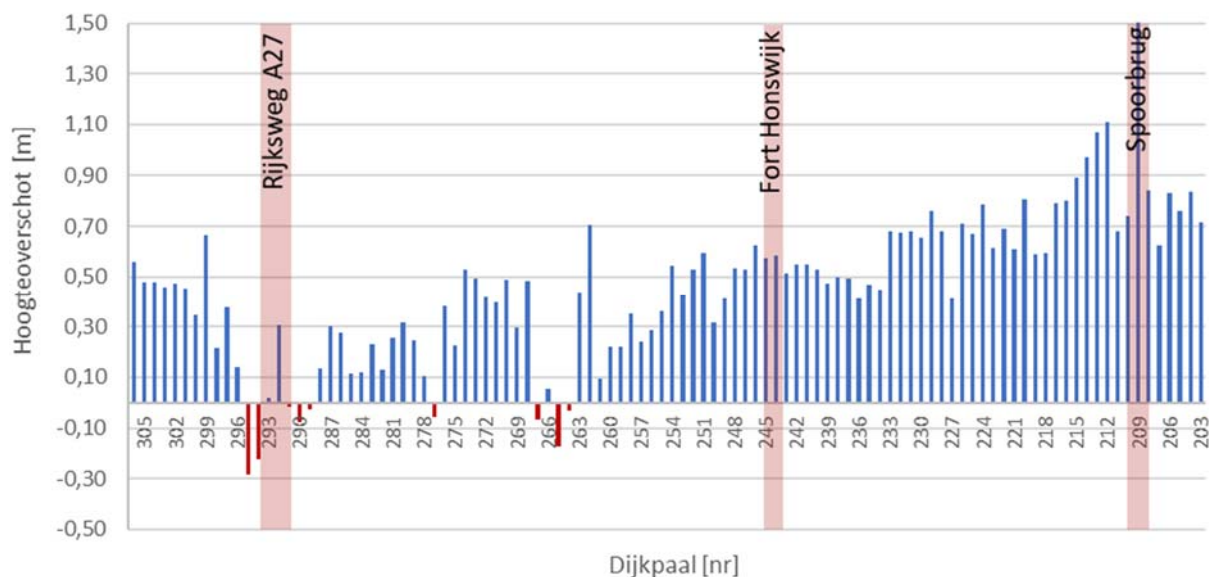
Het hoogteoverschot is gelijk aan het verschil tussen de bestaande kruinhoogte (inclusief bodemdaling) en de benodigde kruinhoogte gegeven een bepaald overslagdebiet.



Figuur 2.2: Verschil tussen bestaande kruinhoogte (incl. bodemdaling) en benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 10 l/s/m voor zichtjaar 2073



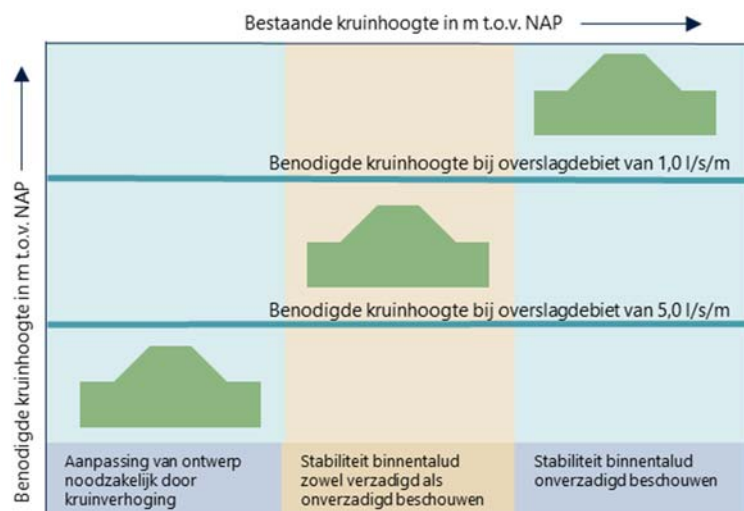
Figuur 2.3: Verschil tussen bestaande kruinhoogte (incl. bodemdaling) en benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5 l/s/m voor zichtjaar 2073



Figuur 2.4: Verschil tussen bestaande kruinhoogte (incl. bodemdaling) en benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 1 l/s/m voor zichtjaar 2073

Op basis van bovenstaande grafieken valt op te maken dat:

- Voor het gehele deelproject CUB geldt dat de bestaande kruinhoogte hoger is dan de benodigde kruinhoogte behorende bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. Hieruit kan worden geconcludeerd dat voor het gehele deelproject CUB de bestaande kruinhoogte (inclusief autonome bodemdaling) voldoet en een lager overslagdebiet optreedt dan het maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m.
- Bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m zijn er meerdere locaties zichtbaar waar de dijk niet voldoende hoog is. Deze locaties zijn voornamelijk gelegen tussen de Honswijckerwaard tot aan de Rijksweg A27 en het deel ten westen van de Rijksweg A27. Het hoogtetekort varieert hier van enkele centimeters tot maximaal 0,3 m.
- De benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 0,1 l/s/m is nog niet bepaald. Gezien de stapgrootte tussen de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m naar 1,0 l/s/m is het logisch te verwachten dat in ieder geval delen van de dijk tussen Fort Honswijk en de Rijksweg A27 niet voldoende hoog zijn voor toepassing van een overslagdebiet van 0,1 l/s/m.
- De dijk wordt ontworpen op een overslagdebiet van 5 l/s/m. Dit betekent in de praktijk dat lagere overslagdebieten mogelijk zijn indien de bestaande kruinhoogte hoger is dan de benodigde kruinhoogte (bij 5,0 l/s/m). Conform de KPR factsheet [7] moet bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m of groter bij de beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd worden beschouwd. Figuur 2.4 laat zien dat dit geldt voor de dijkpalen 264 en 265 (dijkvak 4a), 267 (dijkvak 3e), 277 (dijkvak 3c), 289, 290 en 291 (dijkvak 2c), 294 en 295 (dijkvak 2a). Voor de dijkvakken waar binnen deze dijkpalen vallen dienen daarom bij de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit beide scenario's (onverzadigd en verzadigd binnentalud) te worden beschouwd. In figuur 2.5 is van bovenstaande beschrijving een overzicht gegeven. In dit figuur wordt de bestaande kruinhoogte vergeleken met de benodigde kruinhoogte gegeven een bepaald overslag debiet.



Figuur 2.5: Bepaling ligging freatische lijn in binnentalud bij verschillende overslagdebieten en bestaande kruinhoogtes

Indien de bestaande kruinhoogte lager is dan de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m dan is de bestaande dijk te laag en dient een kruinverhoging te worden toegepast. In het geval de bestaande kruinhoogte tussen de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 5,0 l/s/m of 1,0 l/s/m is gelegen dan dient het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd te worden geschematiseerd. Als de bestaande kruinhoogte hoger is dan de benodigde kruinhoogte bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m dan kan het binnentalud als onverzadigd worden beschouwd.

2.1 Vergelijk met eerdere beoordelingen op hoogte

In een voorgaande veiligheidsbeoordeling (Dijkversterking Centraal Holland 2015 [4]) is ter plaatse van de rijksweg A27 een deel van de waterkering afgekeurd op hoogte. In voorliggende beoordeling van de hoogte voldoet de gehele waterkering. Om inzichtelijk te maken waarom nu tot een ander oordeel is gekomen zijn de verschillen tussen beide beoordelingen in tabel 2.1 weergegeven.

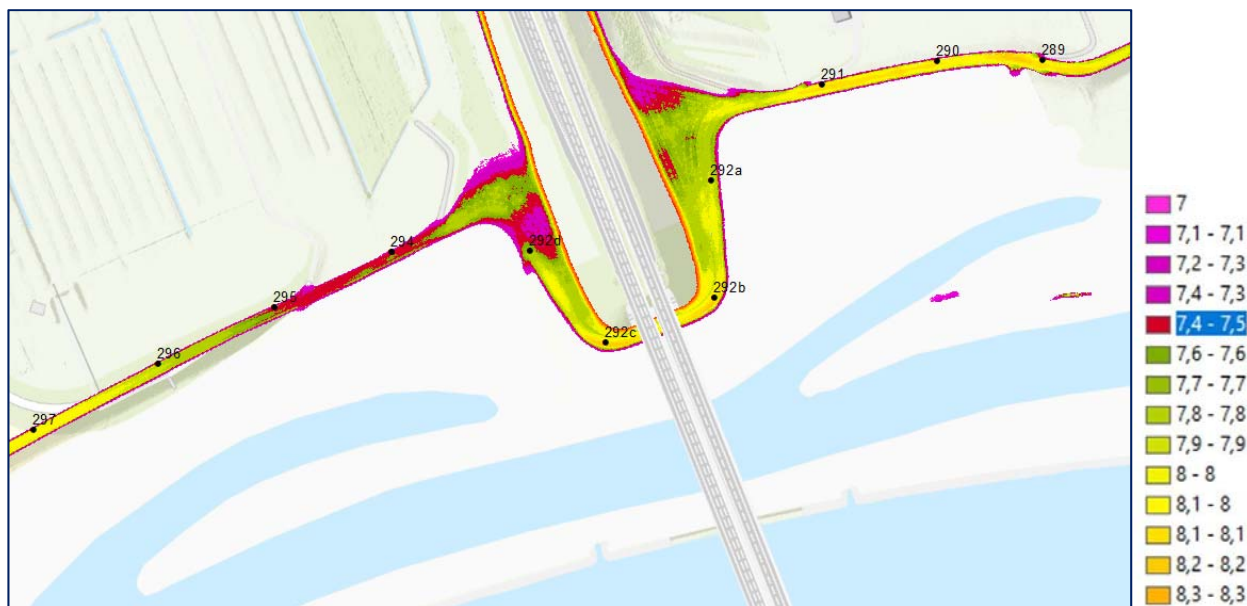
Tabel 2.1: Vergelijking tussen beoordeling 2015 en huidige beoordeling 2020

Beoordeling 2015 (zichtjaar 2023)				Beoordeling 2020 (zichtjaar 2073)			
Dijkpaal	HBN 10 l/s/m NAP [m]	Kruinhoogte (incl. bodemdaling) NAP [m]	Hoogte overschot [m]	Dijkpaal	HBN 5 l/s/m NAP [m]	Kruinhoogte (incl. bodemdaling) NAP [m]	Hoogte overschot [m]
				289	7,46	7,87	0,40
290	7,42	7,41	-0,02	290	7,46	7,82	0,36
				291	7,34	7,66	0,33
				292	7,07	7,54	0,48
				293	7,22	7,54	0,32
				294	7,23	7,30	0,08
				295	7,30	7,38	0,07
				296	7,17	7,63	0,45
				297	7,13	7,78	0,66
				298	7,29	7,89	0,60
				299	6,88	7,65	0,77
				300	6,99	7,55	0,56
				301	6,91	7,53	0,61
302	7,24	7,67	0,43	302	6,90	7,53	0,63

Uit de beoordelingsrapportages en tabel 2.1 kunnen de volgende verschillen worden gevonden:

- De beoordeling van 2015 is uitgevoerd bij een dijkpaal om de kilometer. Voorliggende beoordeling is uitgevoerd per dijkpaal.
- Er is verschil in de gehanteerde kruinhoogte:
 - In voorgaande beoordeling is uitgegaan van 0,5 cm bodemdaling per jaar. De bodemdaling in voorliggende analyse gaat veelal uit van 0,2 cm tot 0,4 cm. Bij 3 dijkpalen (291, 292 en 293) is hier 0,7 cm gehanteerd.
 - Hoogte van de waterkering is in voorgaande analyses gebaseerd op AHN2 (inwinningsjaar 2008). Deze analyse gaat uit van AHN3 (inwinningsjaar 2015).
 - In de beoordeling van 2015 is de minimale kruinhoogte gehanteerd op het traject dijkpaal 290-301. Vervolgens is deze ingevuld bij het berekende HBN behorende bij dijkpaal 290. De gehanteerde kruinhoogte bij dijkpaal 290 komt daarom niet goed overeen met de kruinhoogte die in de huidige beoordeling 2020 wordt gehanteerd;
- Er is een verschil in HBN:
 - De waterkering wordt ontworpen op een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. De beoordeling 2015 is uitgevoerd bij een overslagdebiet van 10,0 l/s/m;
 - De eerdere beoordeling is uitgevoerd met het zichtjaar 2023. Voorliggende beoordeling gaat uit van zichtjaar 2073;
 - In een beoordeling wordt uitgegaan van de signaleringswaarde. Voor een ontwerp wordt uitgegaan van de grenswaarde.

Tussen dijkpaal 294 en 295 is het laagste stuk waterkering in het traject dijkpaal 290-301 te vinden (zie figuur 2.6). De huidige hoogte (AHN3 2015) bedraagt hier tussen NAP 7,4 m en NAP 7,5 m. Dit komt overeen met de aangehouden waarde in de beoordeling van 2015 [4].



Figuur 2.6: Hoogte van de waterkering tussen dijkpaal 289 en 297 op basis van AHN3 (inwinningjaar 2015).

3 Conclusies

In voorliggende rapportage is onderzocht op welke locatie langs het deelproject CUB golfoverslag kan worden verwacht bij verschillende overslagdebieten. Op basis hiervan kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De dijk dient conform de TUN ontworpen te worden op een overslagdebiet van 5,0 l/s/m. Op het gehele deelproject CUB is er voor het zichtjaar 2073 voldoende overhoogte aanwezig zodat een lager overslagdebiet optreedt dan het maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m.
- Conform de KPR factsheet [7] moet bij een overslagdebiet van 1,0 l/s/m of groter bij de beoordeling van de macrostabiliteit van het binnentalud zowel verzadigd als onverzadigd worden beschouwd. figuur 2.4 laat zien dit geldt voor de dijkpalen 264 en 265, 267, 277, 289, 290 en 291, 294 en 295. Voor de dijkvakken waar binnen deze dijkpalen vallen dienen daarom bij de beoordeling van de binnenwaartse macrostabiliteit beide scenario's (onverzadigd en verzadigd binnentalud) te worden beschouwd.



A1 Bijlage



Dijkpaal nummer	Hydra Loc	Kruinhoogte	Bodemdaling	Kruinhoogte inclusief schatting bodemdaling	1:41667		
					1 l/s/m	5 l/s/m	10 l/s/m
-		[m + NAP]	[mm]	[m + NAP]	[m + NAP]	[m + NAP]	[m + NAP]
203	LE 1 44-1 dk 00116	9.06	2	8.95	8,23	7,98	7,88
204	LE 1 44-1 dk 00117	9.03	2	8.91	8,07	7,86	7,78
205	LE 1 44-1 dk 00118	8.97	2	8.86	8,10	7,87	7,79
206	LE 1 44-1 dk 00119	9.07	2	8.96	8,12	7,89	7,80
207	LE 1 44-1 dk 00120	9.02	2	8.91	8,28	7,98	7,86
208	LE 1 44-1 dk 00121	9.00	2	8.89	8,05	7,85	7,77
209	LE 1 44-1 dk 00121	11.22	2	11.11	8,05	7,85	7,77
210	LE 1 44-1 dk 00127	8.86	2	8.75	8,00	7,78	7,69
211	LE 1 44-1 dk 00128	8.85	2	8.73	8,05	7,81	7,71
212	LE 1 44-1 dk 00129	9.06	2	8.94	7,83	7,68	7,62
213	LE 1 44-1 dk 00130	9.15	2	9.04	7,96	7,76	7,68
214	LE 1 44-1 dk 00131	9.15	2	9.03	8,06	7,82	7,73
215	LE 1 44-1 dk 00132	9.09	2	8.97	8,08	7,84	7,74
216	LE 1 44-1 dk 00133	9.08	2	8.97	8,17	7,86	7,75
217	LE 1 44-1 dk 00134	8.98	2	8.87	8,08	7,81	7,70
218	LE 1 44-1 dk 00136	8.87	2	8.76	8,16	7,85	7,73
219	LE 1 44-1 dk 00136	8.87	2	8.75	8,16	7,85	7,73
220	LE 1 44-1 dk 00137	8.98	2	8.87	8,06	7,79	7,69
221	LE 1 44-1 dk 00138	8.74	2	8.63	8,02	7,77	7,67
222	LE 1 44-1 dk 00139	8.77	2	8.65	7,96	7,74	7,65
223	LE 1 44-1 dk 00140	8.84	2	8.72	8,11	7,82	7,70
224	LE 1 44-1 dk 00141	8.88	2	8.76	7,98	7,74	7,64
225	LE 1 44-1 dk 00142	8.78	2	8.66	7,99	7,75	7,65

226	LE 1 44-1 dk 00143	8.74	2	8.62	7,91	7,69	7,60
227	LE 1 44-1 dk 00144	8.42	2	8.31	7,89	7,68	7,59
228	LE 1 44-1 dk 00145	8.65	2	8.53	7,85	7,65	7,57
229	LE 1 44-1 dk 00146	8.75	2	8.64	7,88	7,67	7,58
230	LE 1 44-1 dk 00147	8.61	2	8.49	7,83	7,64	7,56
231	LE 1 44-1 dk 00148	8.65	2	8.54	7,86	7,65	7,56
232	LE 1 44-1 dk 00149	8.60	2	8.48	7,81	7,59	7,51
233	LE 1 44-1 dk 00150	8.59	2	8.47	7,79	7,58	7,50
234	LE 1 44-1 dk 00151	8.38	2	8.26	7,81	7,59	7,50
235	LE 1 44-1 dk 00152	8.31	2	8.19	7,73	7,54	7,46
236	LE 1 44-1 dk 00153	8.30	2	8.19	7,77	7,55	7,46
237	LE 1 44-1 dk 00154	8.28	2	8.16	7,67	7,50	7,43
238	LE 1 44-1 dk 00155	8.27	2	8.15	7,65	7,50	7,44
239	LE 1 44-1 dk 00156	8.26	2	8.14	7,67	7,49	7,42
240	LE 1 44-1 dk 00157	8.27	2	8.15	7,62	7,45	7,39
241	LE 1 44-1 dk 00158	8.28	2	8.16	7,62	7,45	7,38
242	LE 1 44-1 dk 00159	8.27	2	8.15	7,60	7,44	7,38
243	LE 1 44-1 dk 00160	8.24	2	8.13	7,61	7,45	7,38
244	LE 1 44-1 dk 00161	8.22	2	8.10	7,52	7,39	7,34
245	LE 1 44-1 dk 00168	8.14	2	8.02	7,44	7,28	7,22
246	LE 1 44-1 dk 00169	8.20	2	8.08	7,45	7,27	7,21
247	LE 1 44-1 dk 00170	8.24	2	8.13	7,60	7,37	7,27
248	LE 1 44-1 dk 00171	8.26	2	8.14	7,61	7,37	7,27
249	LE 1 44-1 dk 00172	8.19	2	8.08	7,67	7,40	7,29
250	LE 1 44-1 dk 00174	8.21	2	8.09	7,77	7,44	7,31
251	LE 1 44-1 dk 00174	8.48	2	8.37	7,77	7,44	7,31
252	LE 1 44-1 dk 00175	8.32	2	8.20	7,67	7,40	7,29

253	LE 1 44-1 dk 00176	8.32	2	8.20	7,78	7,45	7,32
254	LE 1 44-1 dk 00177	8.39	2	8.27	7,73	7,42	7,29
255	LE 1 44-1 dk 00179	8.32	2	8.20	7,84	7,47	7,33
256	LE 1 44-1 dk 00180	8.21	2	8.09	7,80	7,46	7,32
257	LE 1 44-1 dk 00180	8.16	2	8.04	7,80	7,46	7,32
258	LE 1 44-1 dk 00181	8.15	2	8.04	7,69	7,42	7,31
259	LE 1 44-1 dk 00182	8.11	2	7.99	7,77	7,46	7,33
260	LE 1 44-1 dk 00183	8.12	2	8.00	7,78	7,45	7,32
261	LE 1 44-1 dk 00184	8.06	4	7.82	7,73	7,42	7,30
262	LE 1 44-1 dk 00185	8.24	4	8.01	7,30	7,19	7,14
263	LE 1 44-1 dk 00186	8.17	4	7.94	7,50	7,30	7,22
264	LE 1 44-1 dk 00187	8.06	4	7.83	7,87	7,51	7,37
265	LE 1 44-1 dk 00188	7.93	4	7.70	7,87	7,50	7,35
266	LE 1 44-1 dk 00189	8.00	4	7.77	7,71	7,42	7,30
267	LE 1 44-1 dk 00190	8.00	4	7.77	7,84	7,49	7,36
268	LE 1 44-1 dk 00191	7.85	2	7.74	7,26	7,17	7,14
269	LE 1 44-1 dk 00192	8.09	2	7.97	7,68	7,37	7,25
270	LE 1 44-1 dk 00193	8.26	2	8.15	7,66	7,35	7,24
271	LE 1 44-1 dk 00194	8.19	2	8.07	7,67	7,36	7,24
272	LE 1 44-1 dk 00195	8.21	2	8.10	7,68	7,36	7,23
273	LE 1 44-1 dk 00196	8.16	2	8.04	7,55	7,28	7,18
274	LE 1 44-1 dk 00197	8.17	2	8.05	7,52	7,26	7,16
275	LE 1 44-1 dk 00198	7.96	2	7.84	7,61	7,31	7,19
276	LE 1 44-1 dk 00198	8.11	2	7.99	7,61	7,31	7,19
277	LE 1 44-1 dk 00200	7.84	4	7.61	7,67	7,34	7,21
278	LE 1 44-1 dk 00201	8.01	4	7.77	7,67	7,34	7,21
279	LE 1 44-1 dk 00202	8.08	4	7.85	7,60	7,30	7,18

280	LE 1 44-1 dk 00202	8.15	4	7.92	7,60	7,30	7,18
281	LE 1 44-1 dk 00204	8.13	4	7.90	7,65	7,31	7,18
282	LE 1 44-1 dk 00205	7.89	4	7.66	7,53	7,24	7,13
283	LE 1 44-1 dk 00206	7.74	4	7.51	7,28	7,17	7,11
284	LE 1 44-1 dk 00207	8.00	4	7.77	7,65	7,31	7,18
285	LE 1 44-1 dk 00208	8.14	4	7.90	7,79	7,40	7,25
286	LE 1 44-1 dk 00209	8.17	4	7.93	7,66	7,32	7,19
287	LE 1 44-1 dk 00210	8.16	4	7.93	7,63	7,31	7,18
288	LE 1 44-1 dk 00211	7.92	4	7.69	7,56	7,27	7,15
289	LE 1 44-1 dk 00212	8.10	4	7.87	7,90	7,46	7,30
290	LE 1 44-1 dk 00212	8.05	4	7.82	7,90	7,46	7,30
291	LE 1 44-1 dk 00213	8.07	7	7.66	7,68	7,34	7,20
292	LE 1 44-1 dk 00215	7.95	7	7.54	7,24	7,07	7,00
293	LE 1 44-1 dk 00217	7.95	7	7.54	7,53	7,22	7,10
294	LE 1 44-1 dk 00218	7.53	4	7.30	7,52	7,23	7,11
295	LE 1 44-1 dk 00219	7.61	4	7.38	7,66	7,30	7,17
296	LE 1 44-1 dk 00220	7.86	4	7.63	7,49	7,17	7,05
297	LE 1 44-1 dk 00221	8.01	4	7.78	7,41	7,13	7,02
298	LE 1 44-1 dk 00222	8.12	4	7.89	7,68	7,29	7,14
299	LE 1 44-1 dk 00224	7.88	4	7.65	6,98	6,88	6,83
300	LE 1 44-1 dk 00225	7.78	4	7.55	7,20	6,99	6,91
301	LE 1 44-1 dk 00225 01	7.76	4	7.53	7,07	6,91	6,85
302	LE 1 44-1 dk 00226	7.76	4	7.53	7,05	6,90	6,84
303	LE 1 44-1 dk 00227	7.74	4	7.51	7,06	6,90	6,84
304	LE 1 44-1 dk 00228	7.77	4	7.54	7,06	6,91	6,84
305	LE 1 44-1 dk 00229	7.81	4	7.58	7,10	6,93	6,86
306	LE 1 44-1 dk 00230	7.82	4	7.58	7,02	6,88	6,83



Bijlage B: Factsheets per dijkvak

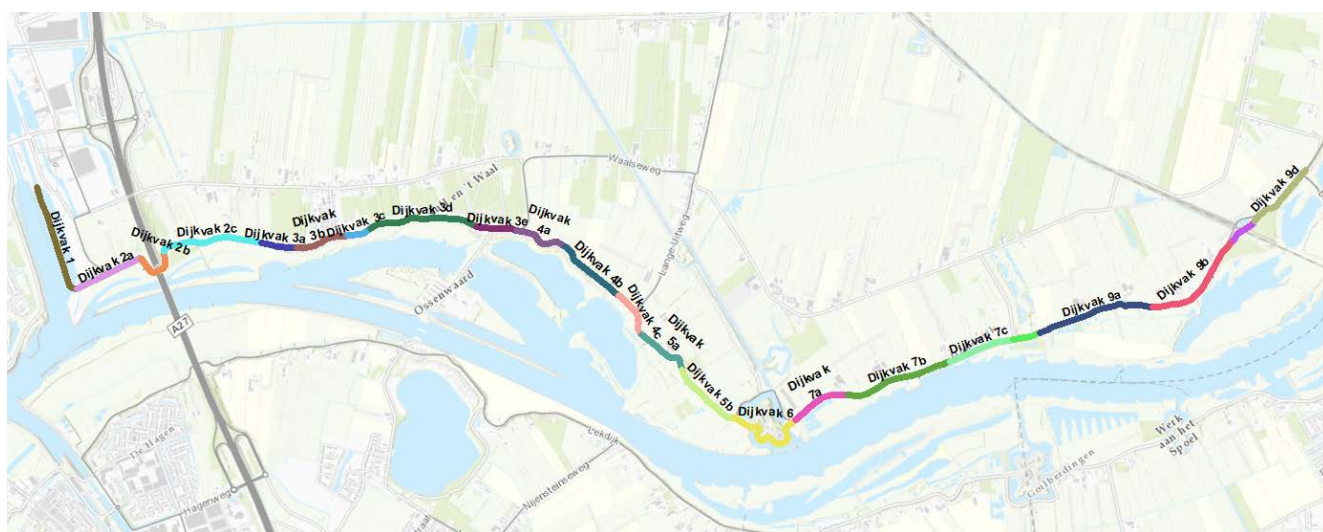
Culemborgse veer - Beatrixsluis

Factsheets dijkvakindeling

1-3-2021

Dijkvak	Dijkpaal van [DP + m]	Dijkpaal tot [DP + m]	Lengte ¹⁾ Ca. [m]	Kenmerkend voor vak
Dijkvak 1	DP306	DP298+20	710	Voorhavendijk Prinses Beatrixsluis
Dijkvak 2a	DP298+20	DP291+430	350	
Dijkvak 2b	DP291+430	DP291+105	430	Overgang Rijksweg A27
Dijkvak 2c	DP291+105	DP284+55	710	Dunne deklaag
Dijkvak 3a	DP284+55	DP282+10	200	
Dijkvak 3b	DP282+10	DP278+25	380	Dunne deklaag
Dijkvak 3c	DP278+25	DP276+60	210	Dunne deklaag
Dijkvak 3d	DP276+60	DP268+85	770	Dunne deklaag
Dijkvak 3e	DP268+85	DP266+5	240	Dikke deklaag
Dijkvak 4a	DP266+5	DP262+55	390	Honswijkerplas op voorland
Dijkvak 4b	DP262+55	DP257+30	490	
Dijkvak 4c	DP257+30	DP254	420	
Dijkvak 5a	DP254	DP250+10	300	
Dijkvak 5b	DP250+10	DP245	490	Laag voorland
Dijkvak 6	DP245	DP244+40	680	Fort Honswijk
Dijkvak 7a	DP244+40	DP240+20	370	
Dijkvak 7b	DP240+20	DP232+60	880	
Dijkvak 7c	DP232+60	DP228	380	
Dijkvak 8	DP228	DP226+5	220	Werk aan de Groeneweg
Dijkvak 9a	DP226+5	DP217+90	900	Laag voorland
Dijkvak 9b	DP217+90	DP210	630	
Dijkvak 9c	DP210	DP208	320	Overgang spoorbrug
Dijkvak 9d	DP208	DP203	410	

¹⁾ Lengte overgenomen uit email K. Volleberg "Trajectlengte en lengtes dijkvakken CUB", di 22-12-2020 15:06



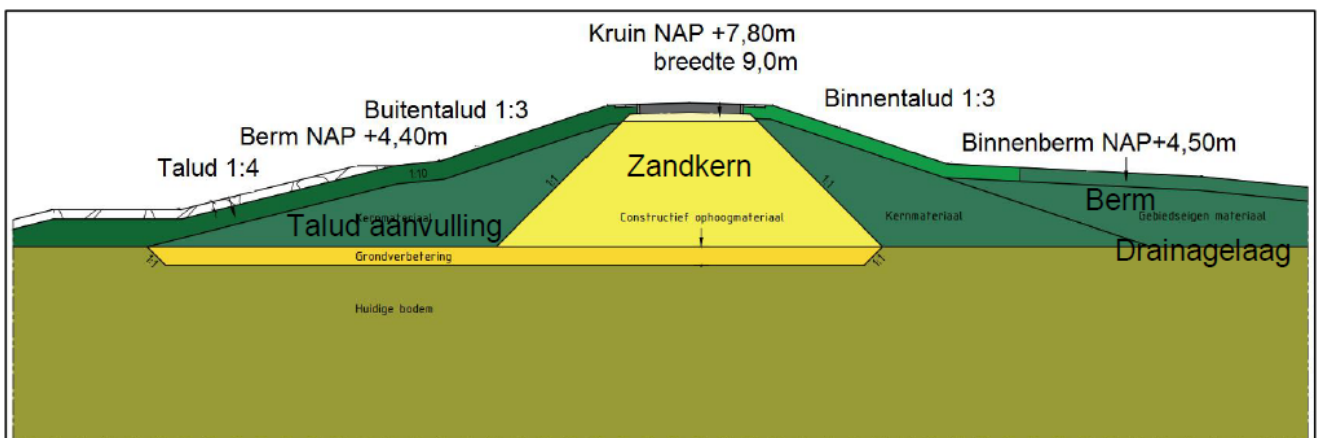
Dijkvak 1 – DP306 - DP298+20



Dit dijkvak betreft de dijk langs de voorhaven van de Prinses Beatrixsluis. Recent is voor de sluis een derde schutkolk gerealiseerd. Hiervoor is het dijklichaam van de primaire waterkering aan de oostzijde van de voorhaven, landinwaarts verplaatst. Langs de binnenteen bevindt zich een kazemat, die vanwege de dijkverlegging, verplaatst is.

Kenmerken:

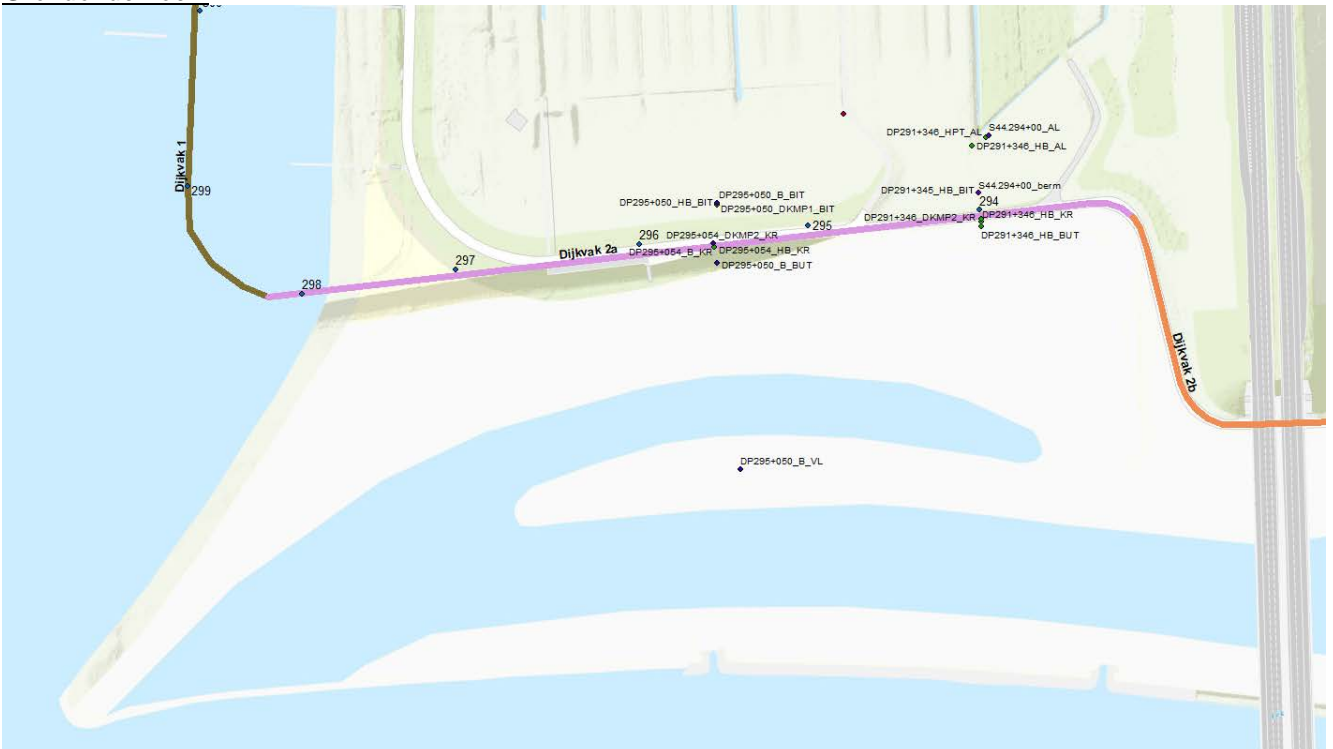
- Lengte vak: 780 m
- Kruinhoogte: NAP +7,8 m
- Binnentalud: 1:3
- Buitentalud: 1:3
- Hoogte achterland: tussen NAP -0,5 m en NAP +0,5 m
- Teensloot: DP306 tot DP298+20



Dijkvak 2a – DP298+20 - DP291+430



Grondonderzoek:



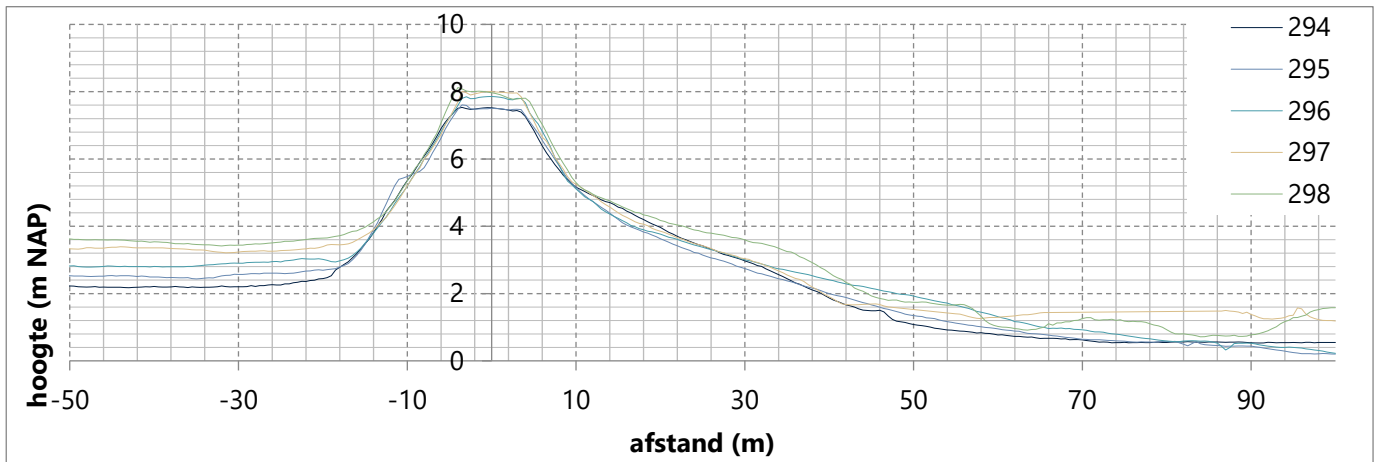
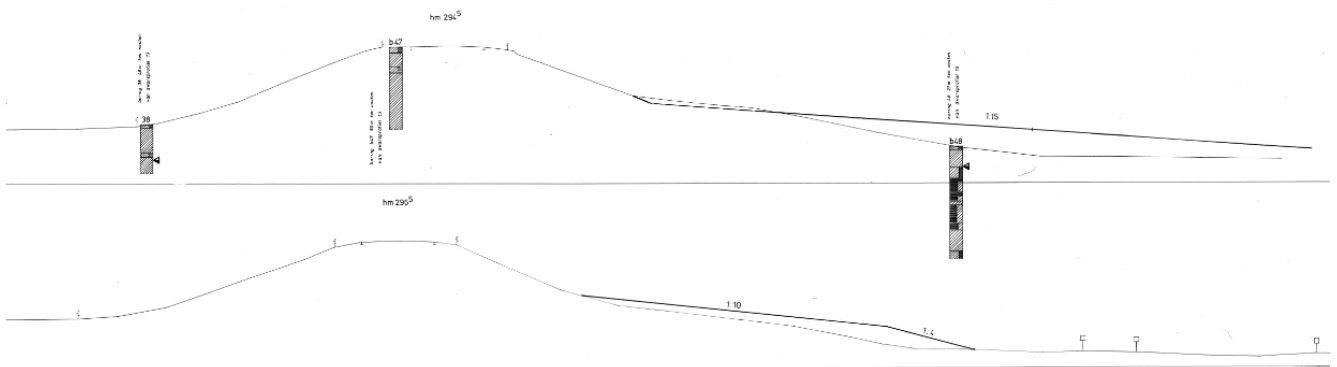
Dit dijkvak bevindt zich tussen de Voorhavendijk en Rijksweg A27. Dit dijkvak kenmerkt zich door een steil binnentalud met een flauwe berm. De geometrie varieert echter enigszins, zie onderstaande dwarsdoorsnede. Langs de binnenteen bevindt zich in het achterland een drietal kopsloten.

Kenmerken:

- Lengte vak: 495 m
- Kruinhoogte: NAP +7,5 m

- Binnentalud: 1:2,7
- Buitentalud: 1:2,7
- Hoogte achterland: tussen NAP 0,0 m en NAP +0,5 m
- Kopsloot: DP296+50, DP295+35 en DP294+0
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,25 m
 - Helling 1:15 / 1:10

Geometrie:



Bodemopbouw:

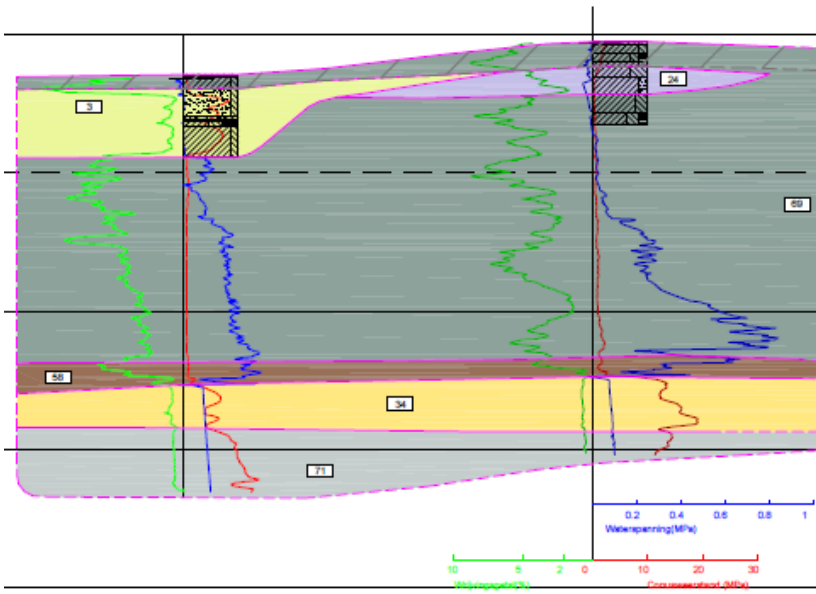
DP 296

DP 295

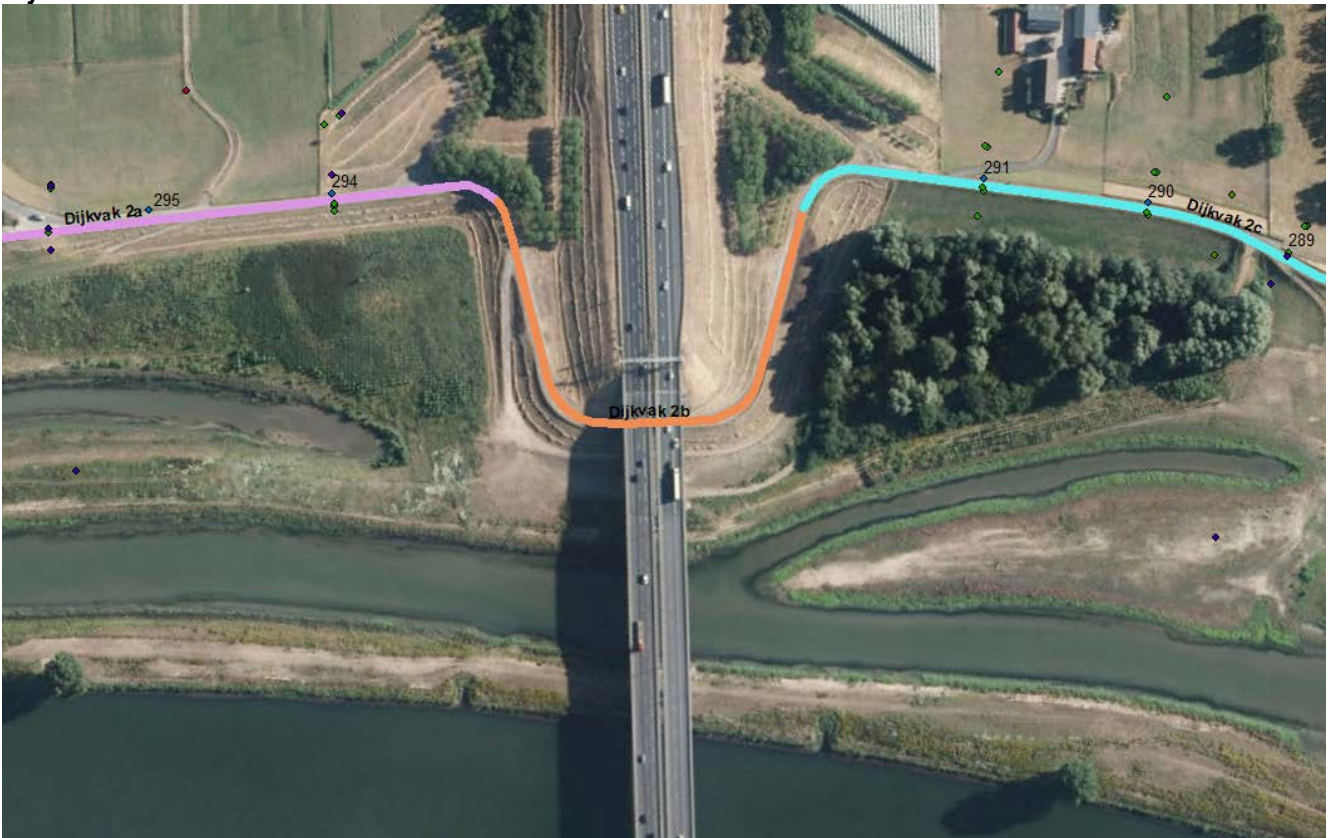
DP 294

DP295+000_HB_BIT
DP295+000_DKMP1_BIT

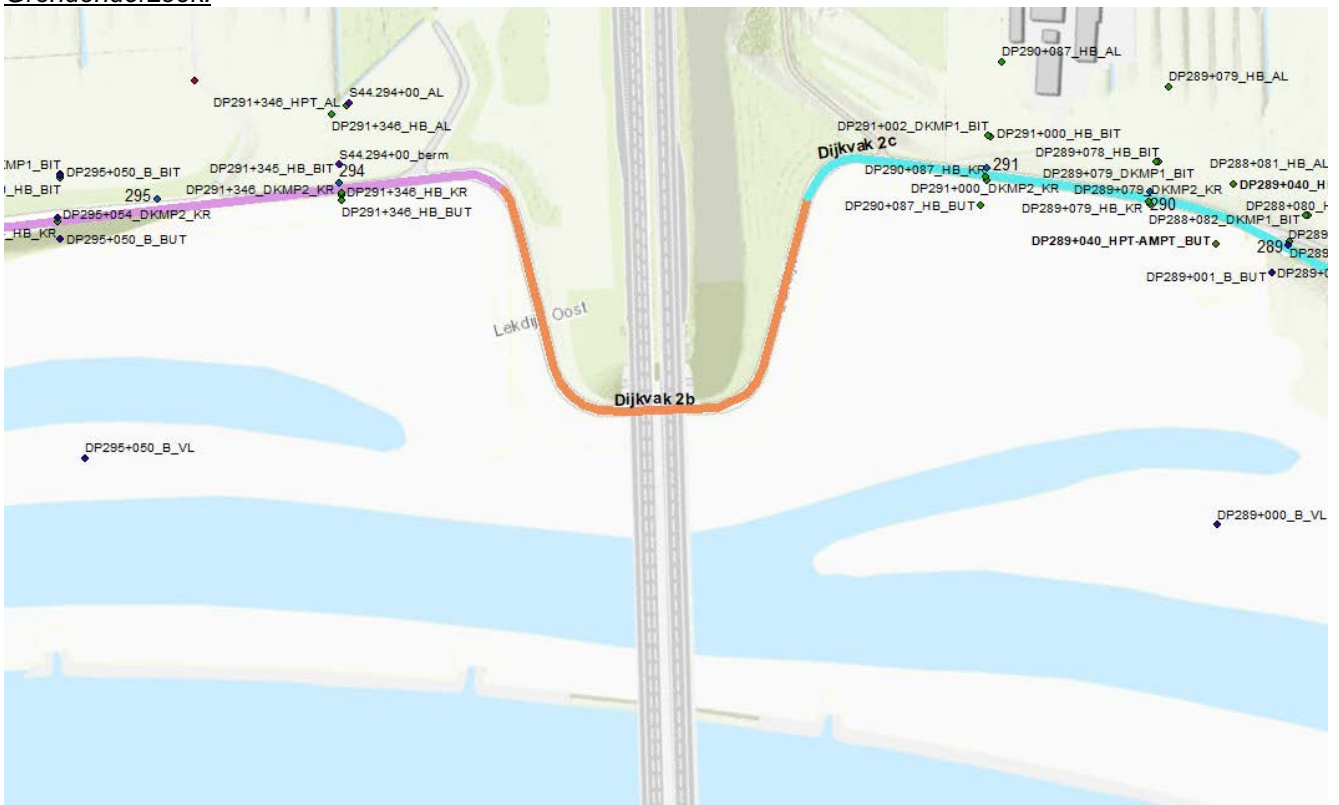
DP294+345_HB_BIT
S44.294+00_Deim



Dijkvak 2b –DP291+430 - DP291+105



Grondonderzoek:



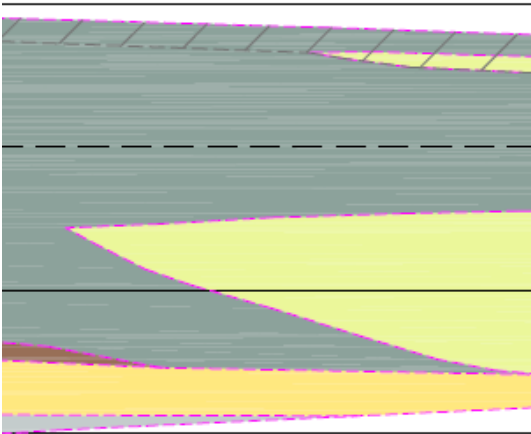
Dit dijkvak wordt doorkruist door de Rijksweg A27. In het dijklichaam bevindt zich het landhoofd van de Hagesteinsebrug. In het achterland loopt het weglichaam haaks op de dijk.

Kenmerken:

- Lengte vak: 325 m
- Kruinhoogte: n.v.t.
- Binnentalud: n.v.t.
- Buitentalud: n.t.b.
- Hoogte achterland: n.v.t.

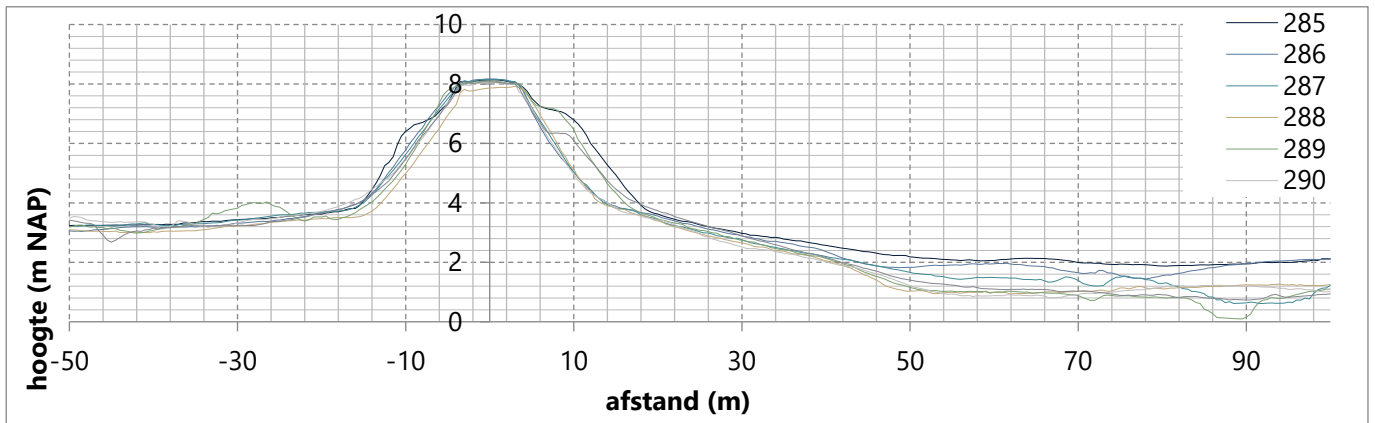
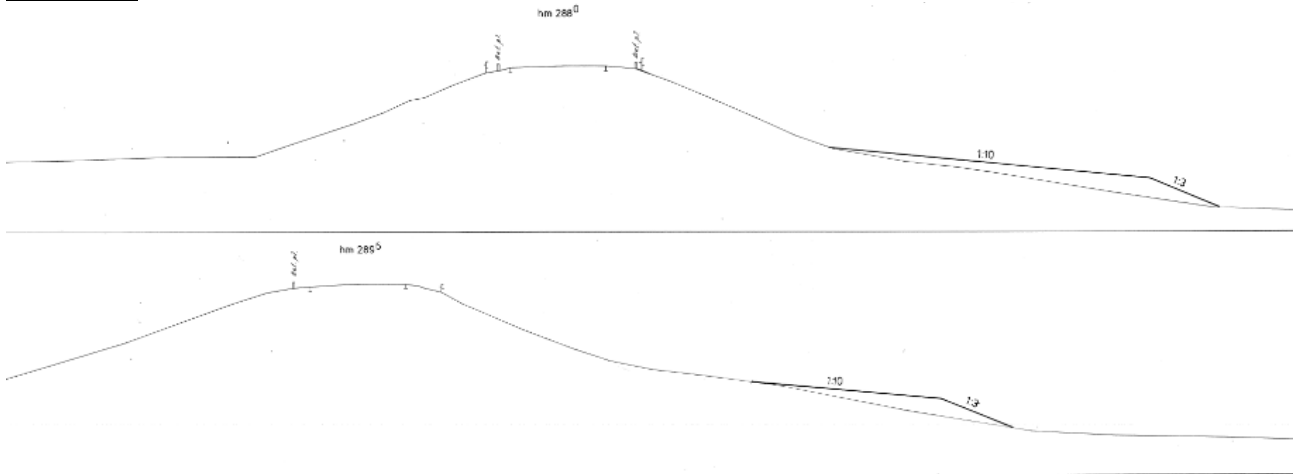
Bodemopbouw:

Weglichaam Rijksweg A27

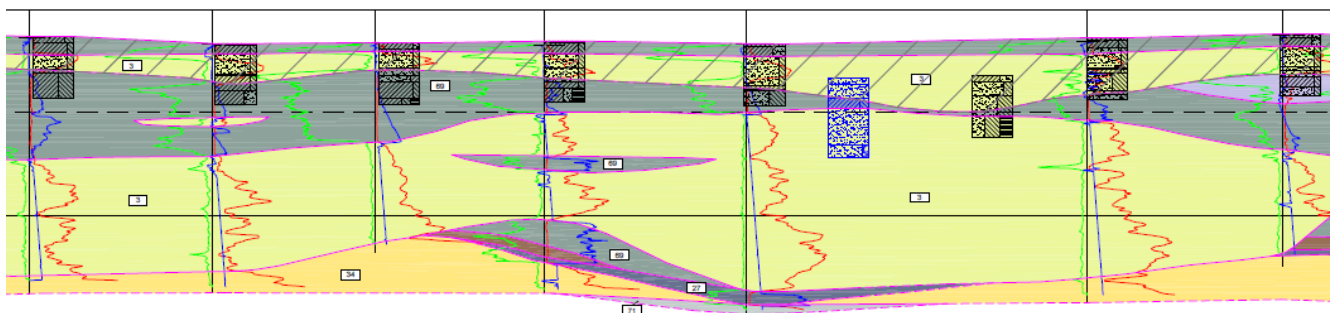
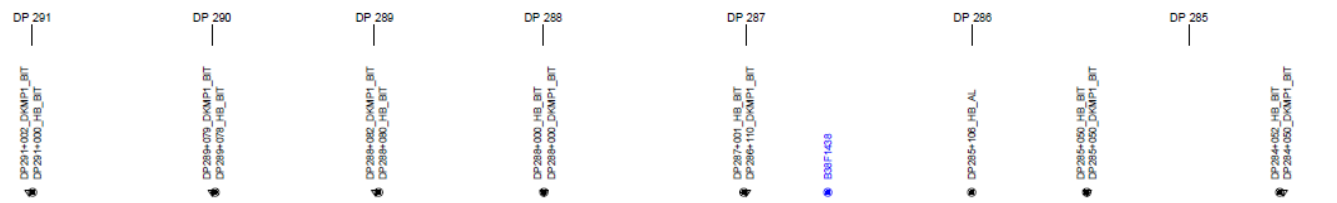


- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +3,75 m
 - Helling: 1:10

Geometrie:

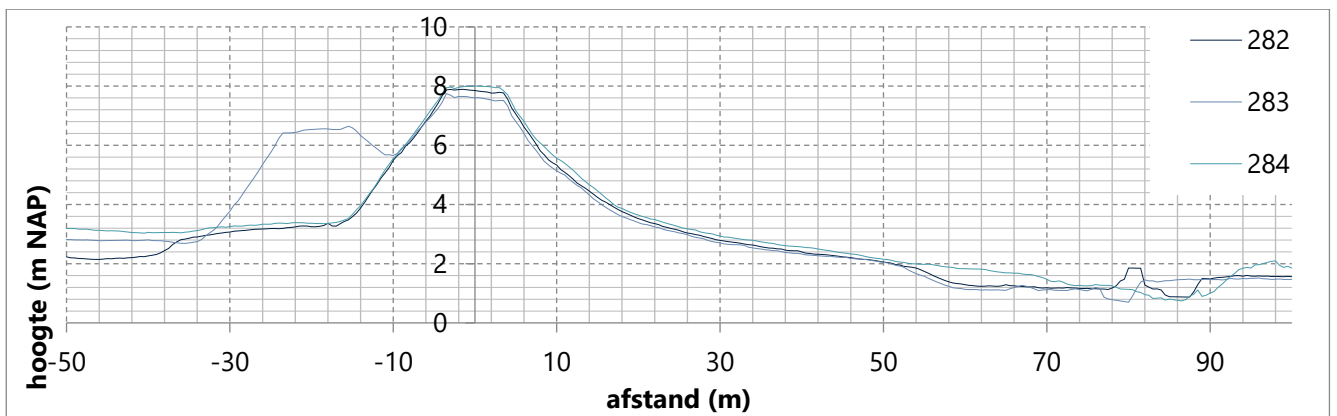
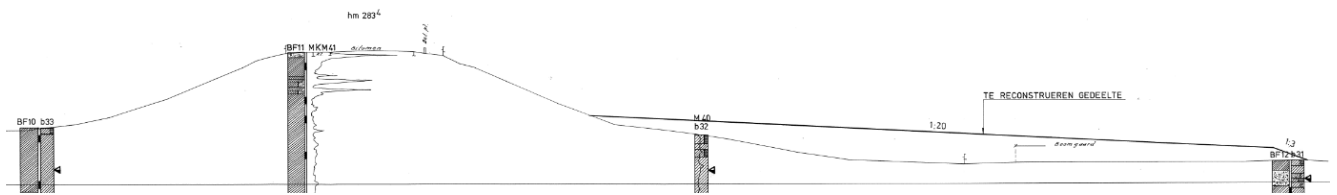


Bodemopbouw:

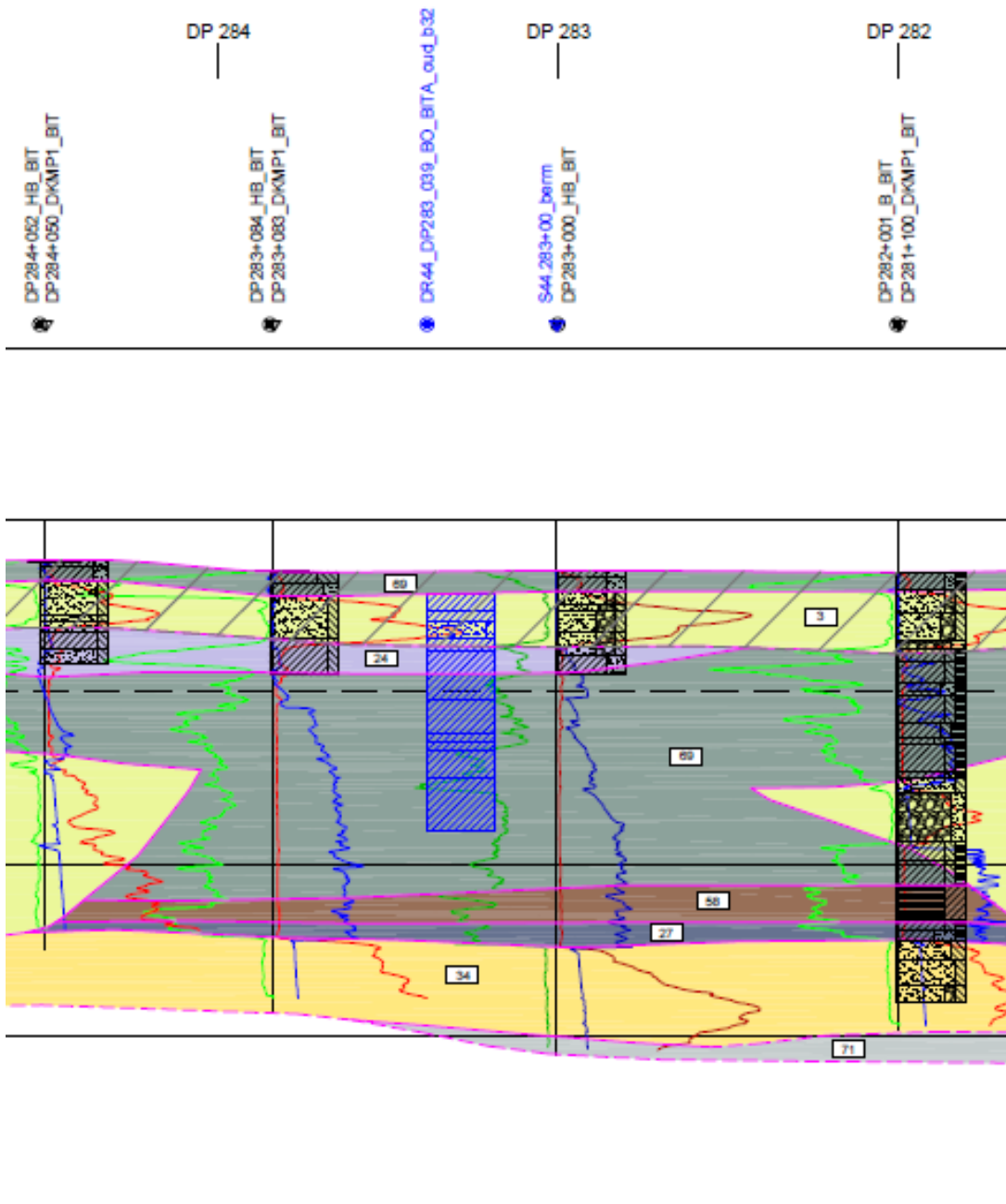


- Kruinhoogte: NAP +7,60 m
- Binnentalud: 1:2,6
- Buitentalud: 1:2,6
- Hoogte achterland: tussen NAP 1,0 m en NAP +2,0 m
- Teensloot: DP283+80 tot DP282+10
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +3,50 m
 - Helling: 1:25

Geometrie



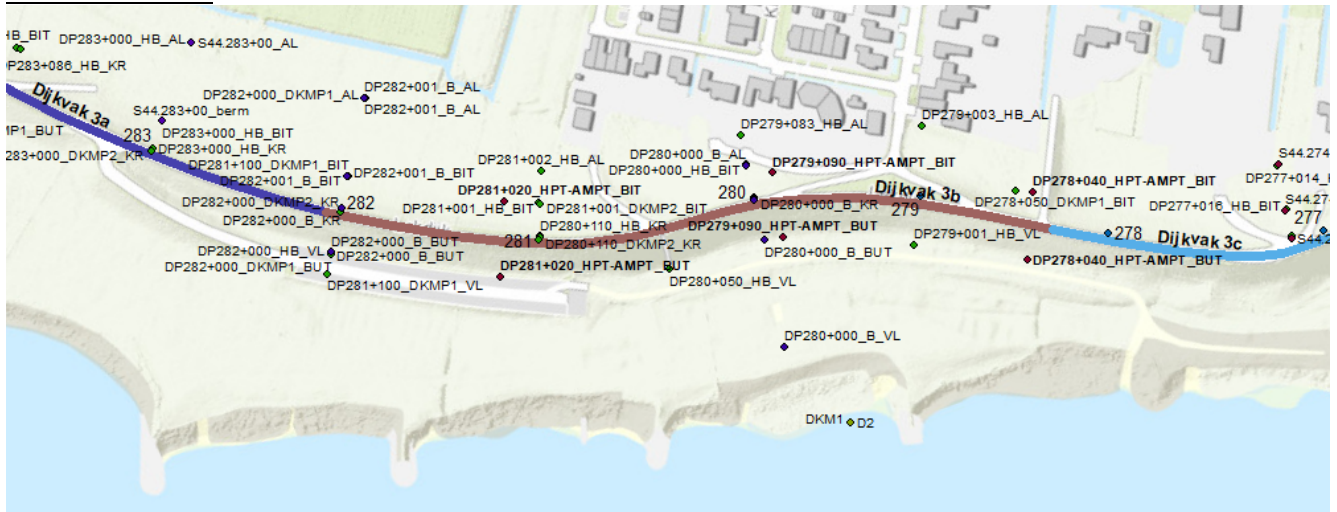
Bodemopbouw:



Dijkvak 3b – DP282+10 - DP278+25



Grondonderzoek:

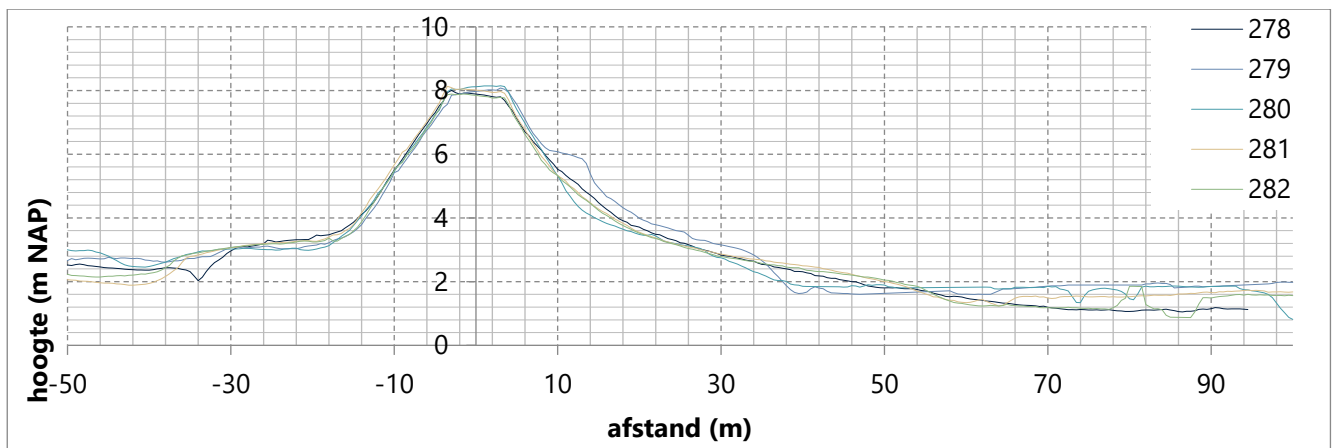
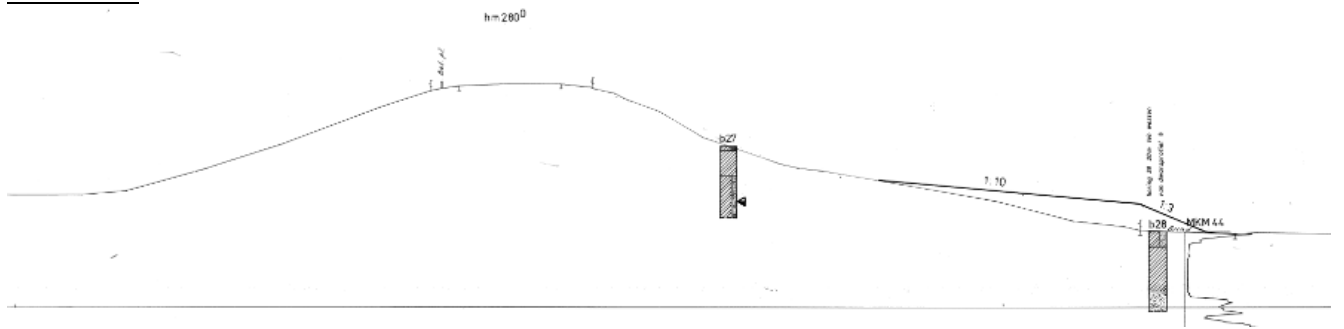


Langs dit dijkvak bevindt zich het dorp Tull en 't Waal. De bebouwing bevindt zich dan ook dicht langs de binnenteen. De ruimte voor versterkingsmaatregelen zijn dus beperkt langs dit vak. Het dijkvak wordt gekenmerkt door een steil binnentalud.

Kenmerken:

- Lengte vak: 370 m
- Kruinhoogte: NAP +7,80 m
- Binnentalud: 1:2,4
- Buitentalud: 1:2,7
- Hoogte achterland: tussen NAP 1,0 m en NAP +2,0 m
- Teensloot: DP282+10 tot DP281+40
- Kopsloot: DP280+40 en DP278+40
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +4,25 m
 - Helling: 1:10

Geometrie:



Bodemopbouw:

DP 282

DP282+001_B_BIT
DP281+100_DKMP1_BIT

DP 281

DP281+001_HB_BIT
DP281+001_DKMP2_BIT

DP 280

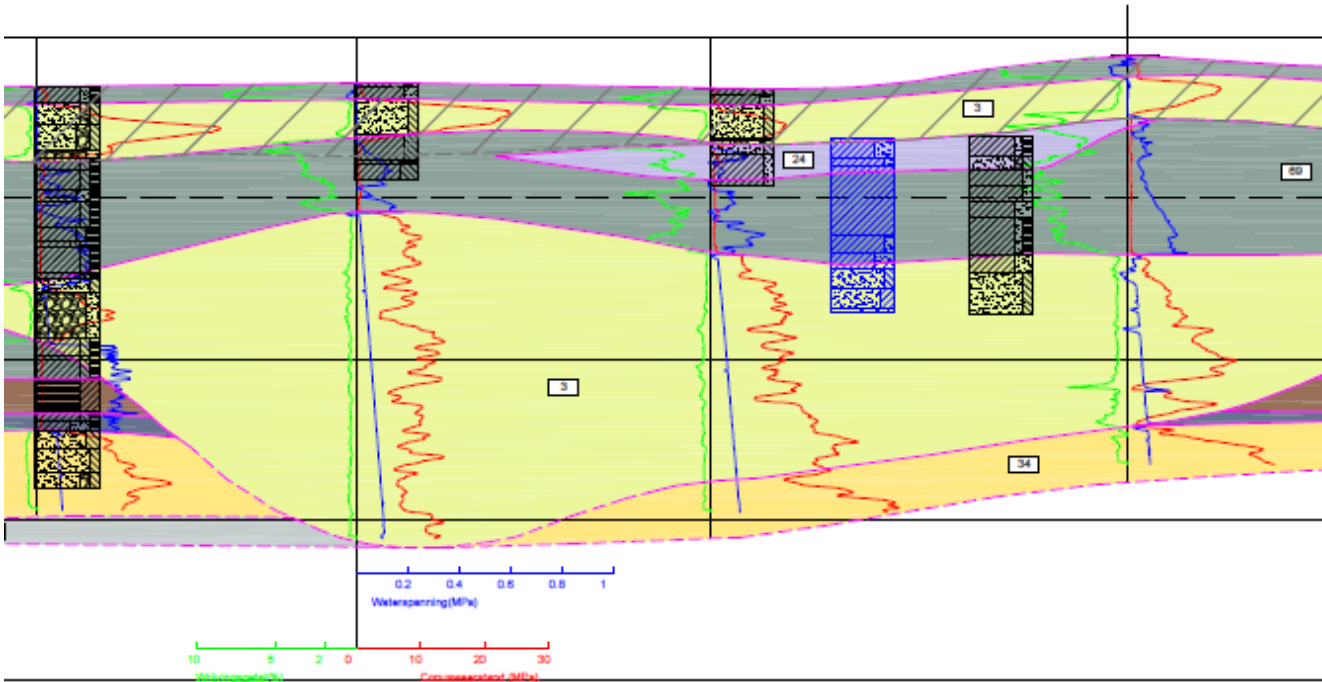
DP280+000_HB_BIT
DP280+000_DKMP2_BIT

DP 279

DP279+003_HB_AL

DP 278

DP278+050_DKMP1_BIT



Dijkvak 3c – DP278+25 - DP276+60



Grondonderzoek:

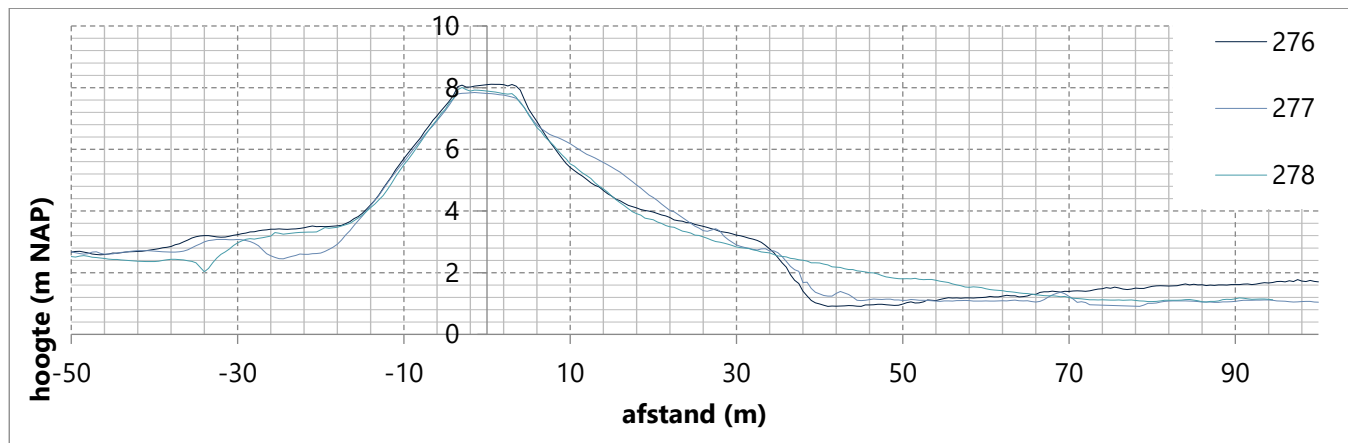
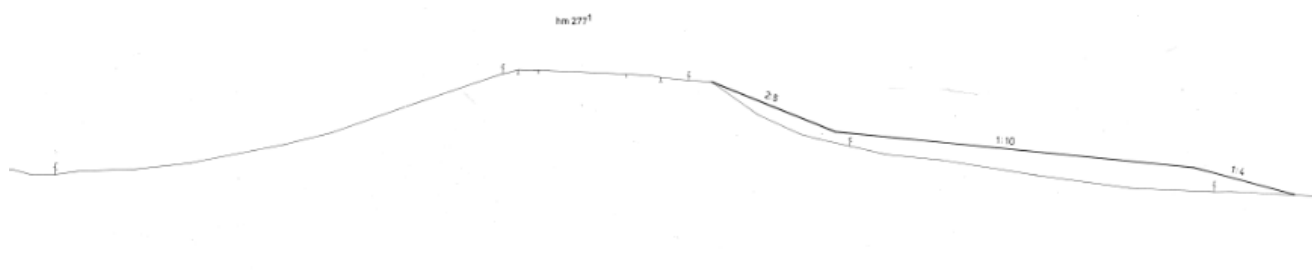


Dit dijkvak betreft een kort vak met een steil binnentalud. Langs de binnenteen en in het achterland bevindt zich bebouwing.

Kenmerken:

- Lengte vak: 170 m
- Kruinhoogte: Kruinhoogte: NAP +7,80 m
- Binnentalud: 1:2,7
- Buitentalud: 1:2,9
- Hoogte achterland: tussen NAP 1,0 m en NAP +2,0 m
- Kopsloot: DP277+30 en DP277+5
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +3,75 m
 - Helling: 1:10

Geometrie:

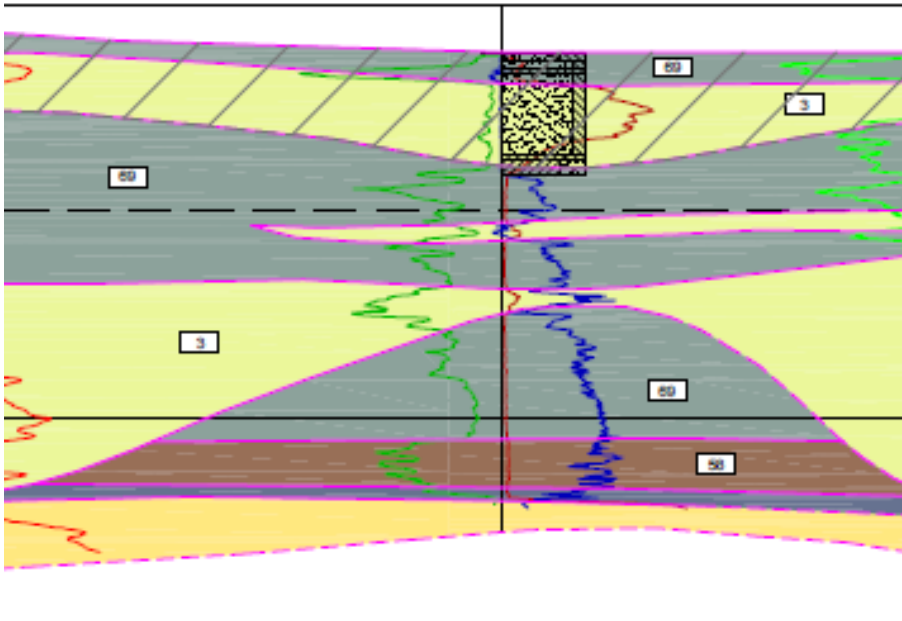


Bodemopbouw:

DP 278

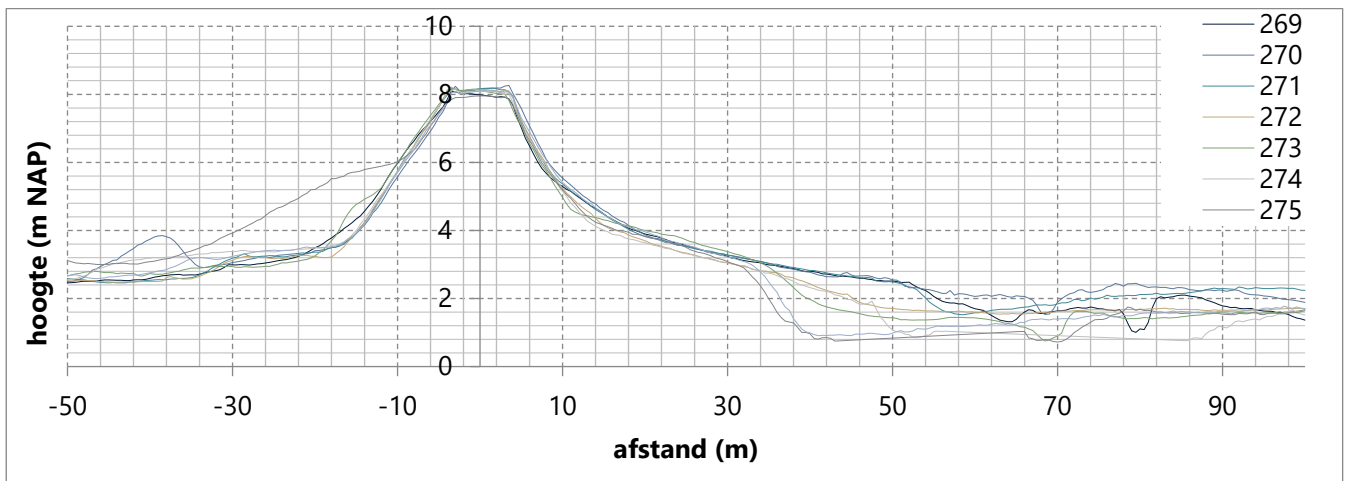
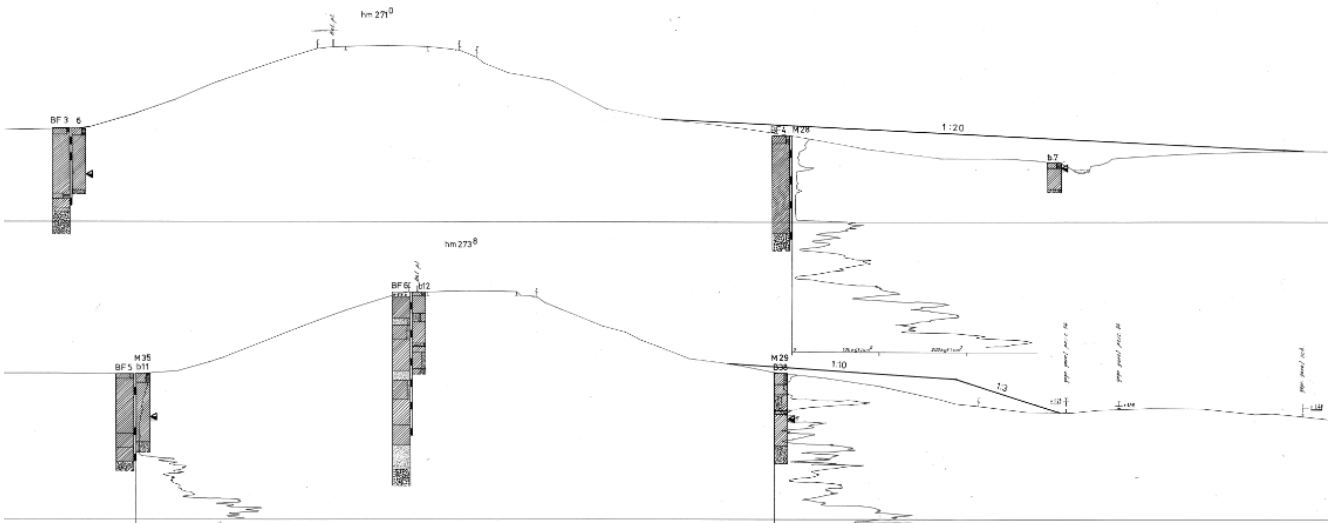
DP 277

S44.274+019_BIB
DP277+016_HB_BIT

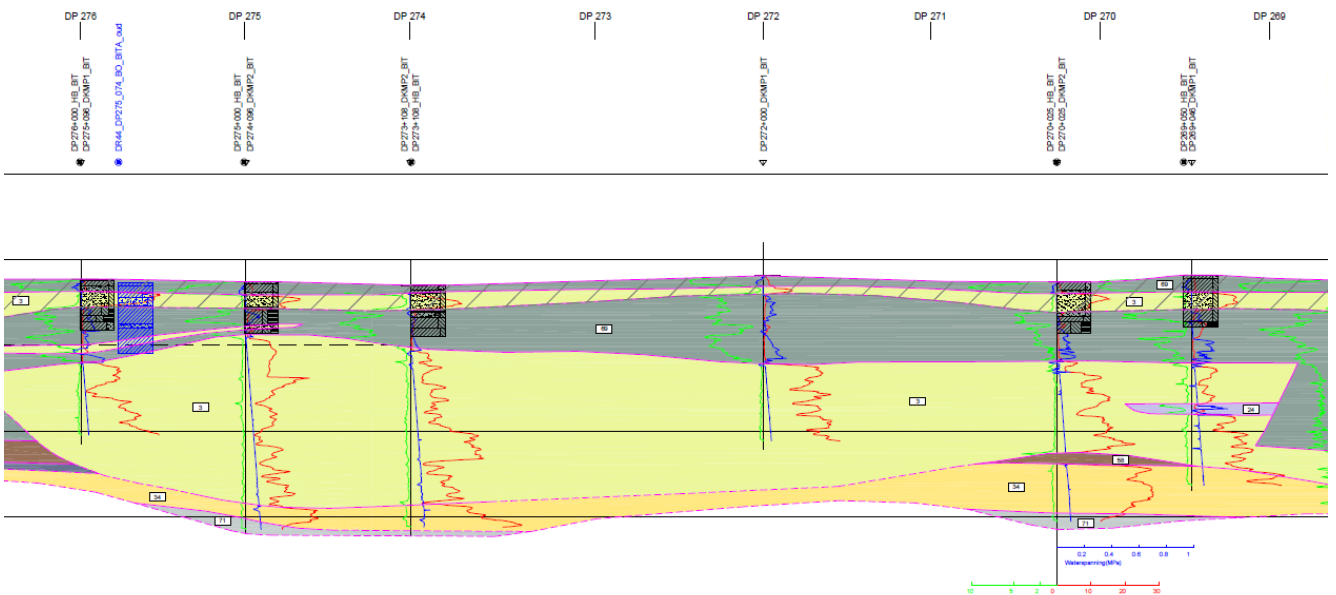


o Helling: 1:10 / 1:20

Geometrie:



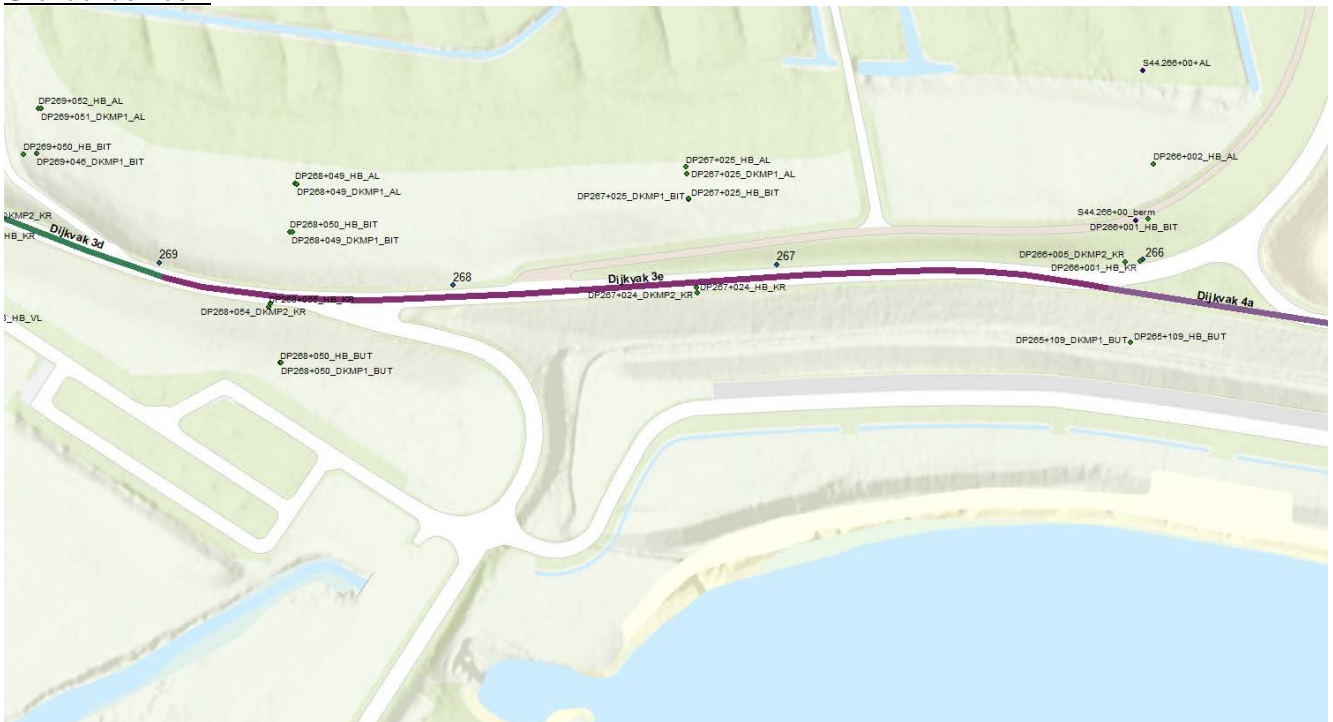
Bodemopbouw:



Dijkvak 3e – DP268+85 - DP266+5



Grondonderzoek:



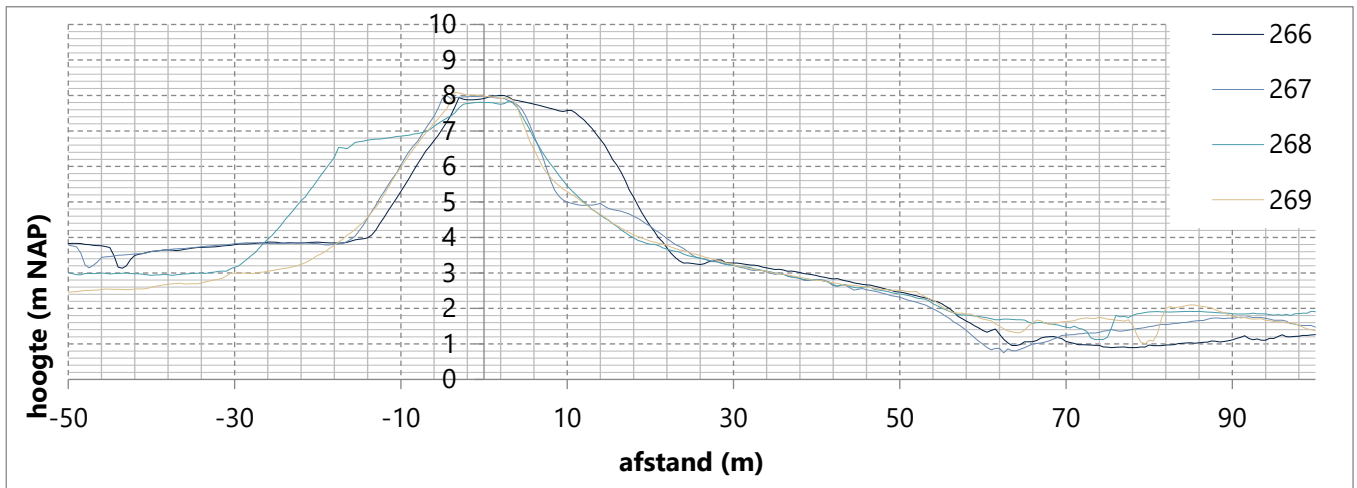
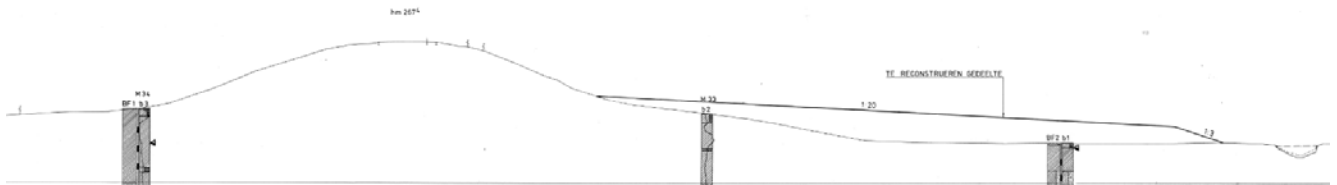
Dit dijkvak betreft een kort vak met een steil binnentalud. Langs de binnenteen bevindt zich een fietspad. Dit vak grenst aan het stuw- en sluisencomplex Hagestein. Hier ligt dus de scheiding tussen benedenrivier (waar het getij nog invloed heeft) en bovenrivier. Daarnaast bevinden zich bomen langs de binnenteen.

Kenmerken:

- Lengte vak: 285 m
- Kruinhoogte: NAP +7,95 m
- Binnentalud: 1:2
- Buitentalud: 1:2,6

- Hoogte achterland: tussen NAP 1,0 m en NAP +2,5 m
- Waterpartij: DP275+0 tot DP274+0
- Kopsloot: DP276+60, DP275+75, DP275+35, DP272+55, DP271+60, DP270+85 en DP269+50
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5 m
 - Helling: 1:20

Geometrie:



Bodemopbouw:

DP268+050_HB_BIT
DP268+046_DKMP1_BIT

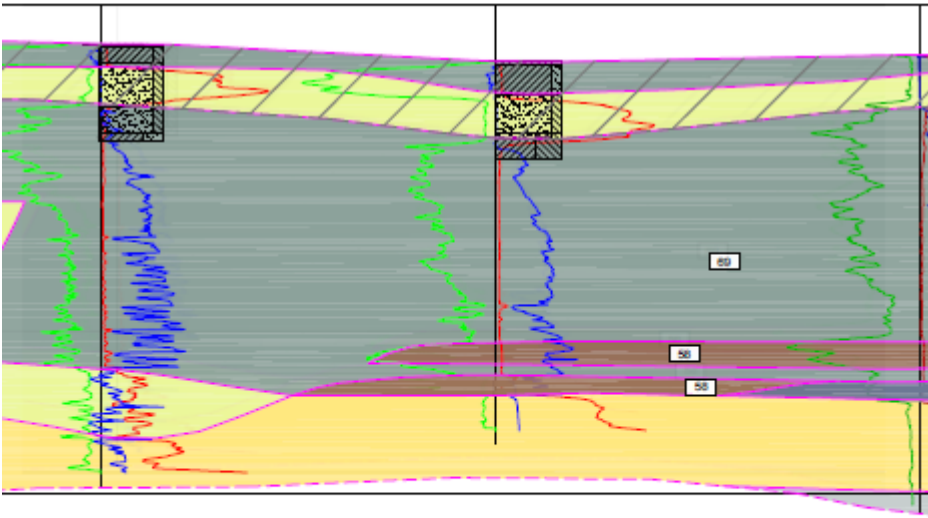
DP 268

DP267+025_HB_BIT
DP267+025_DKMP1_BIT

DP 267

DP

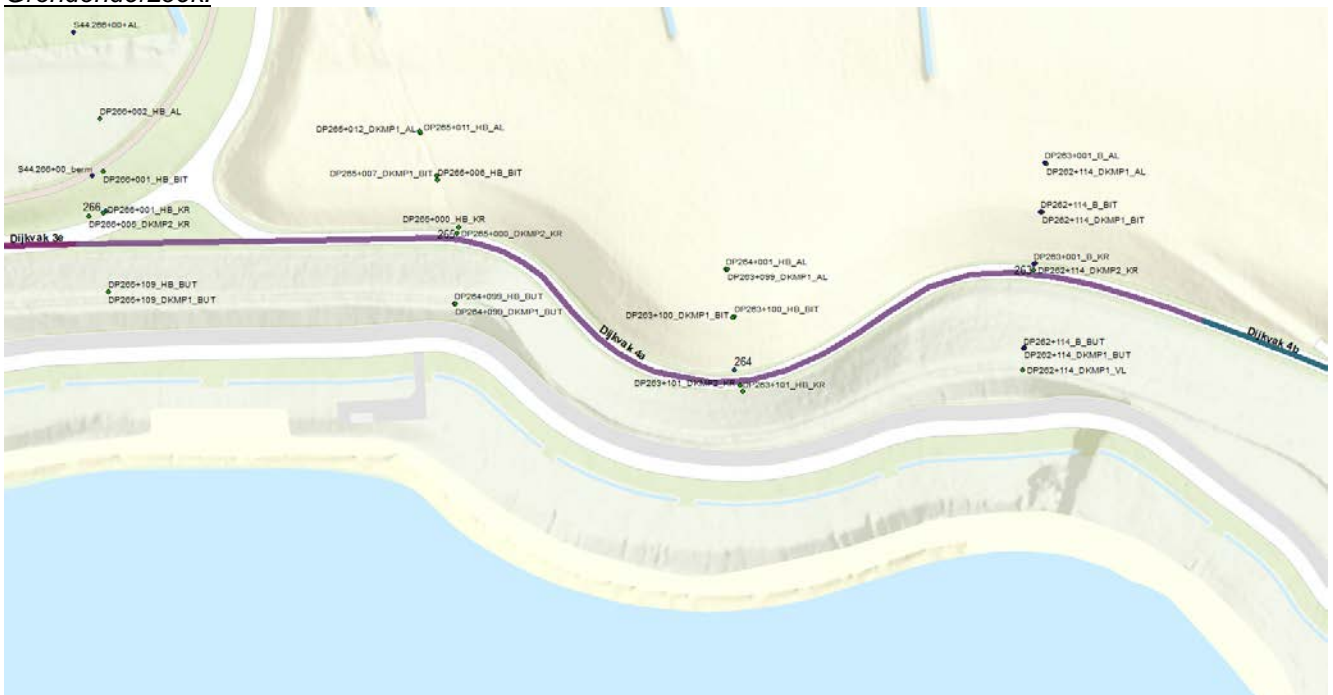
S44.266+00_berm
2024.01.10 10:10:10



Dijkvak 4a – DP266+5 - DP262+55



Grondonderzoek:



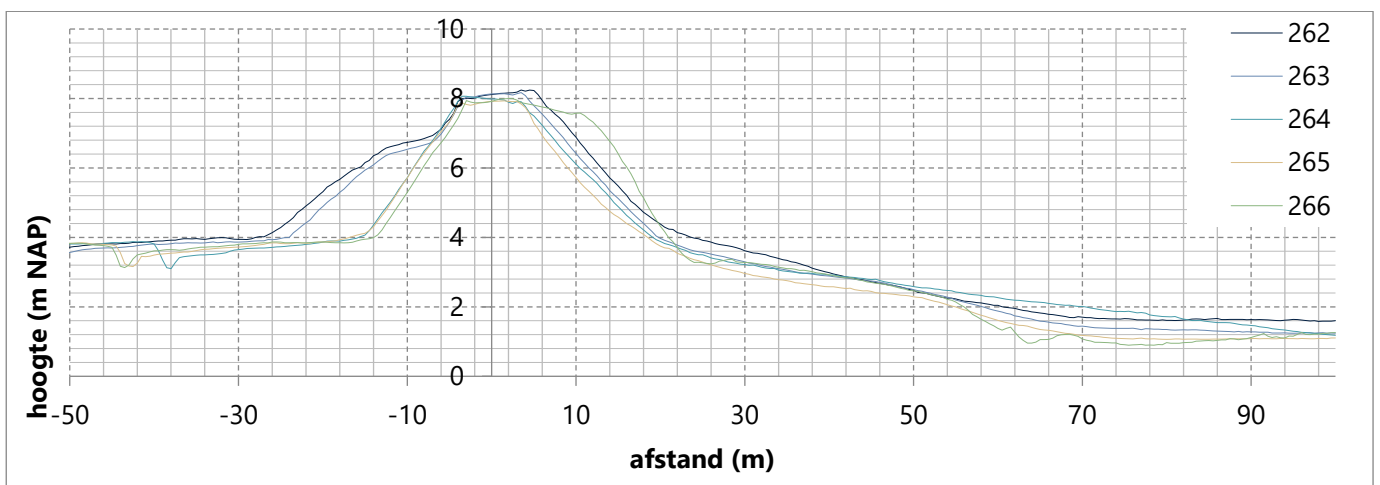
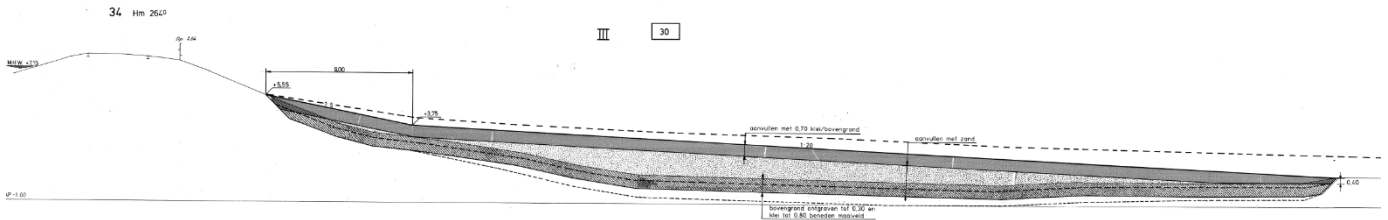
Langs de buitenzijde van dit dijkvak bevindt zich het recreatiegebied de Honswijkerplas. Langs de binnenteen bevinden zich een drietal kopsloten. De dijk heeft een redelijk uniforme geometrie.

Kenmerken:

- Lengte vak: 375 m
- Kruihoogte: NAP +7,90 m
- Binnentalud: 1:3
- Buitentalud: 1:2,8
- Hoogte achterland: tussen NAP 0,5 m en NAP +1,5 m
- Kopsloot: DP265+80, DP265+0, DP264+0 en DP263+25

- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,55 m
 - Helling: 1:5,2

Geometrie:



Bodemopbouw:

DP 266

S44_266+00_berm
DP:266+001_HB_BIT

DP 265

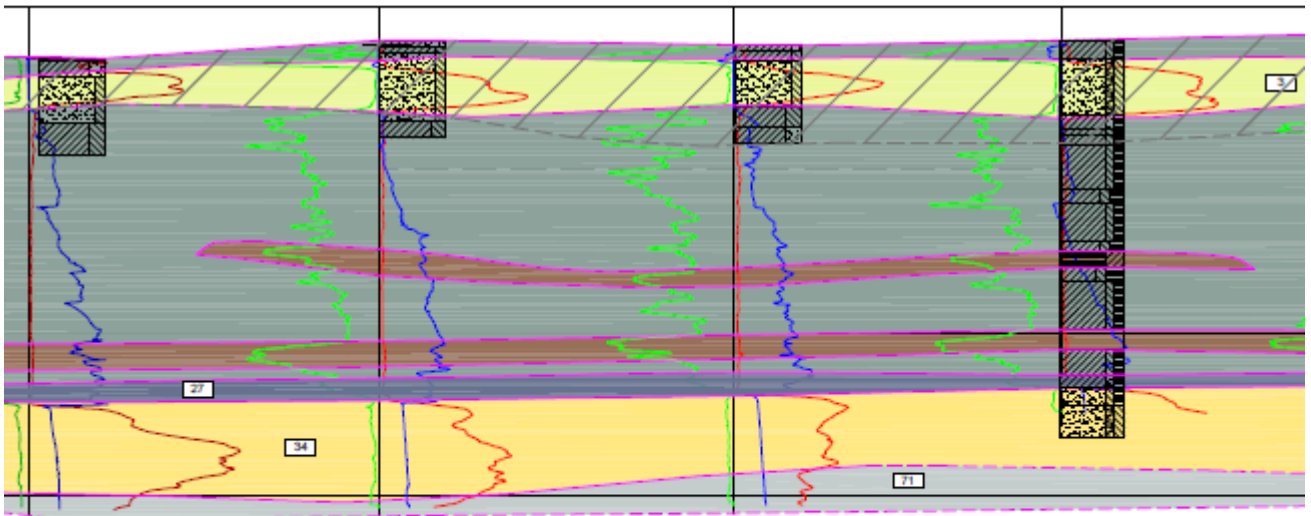
DP:265+007_DKMP1_BIT
DP:265+008_HB_BIT

DP 264

DP:263+100_DKMP1_BIT
DP:263+100_HB_BIT

DP 263

DP:262+114_B_BIT
DP:262+114_DKMP1_BIT



Dijkvak 4b – DP262+55 - DP257+30



Grondonderzoek:



Dit dijkvak betreft een vak met een relatief flauw binnentalud en uniforme geometrie. Langs de binnenteen bevinden zich een viertal kopsloten.

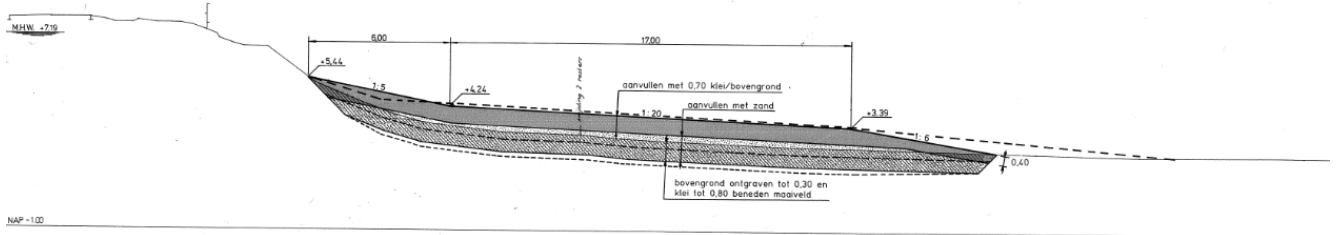
Kenmerken:

- Lengte vak: 515 m
- Kruinhoogte: NAP +8,10 m
- Binnentalud: 1:3,7
- Buitentalud: 1:2,9
- Hoogte achterland: tussen NAP 1,0 m en NAP +2,5 m
- Kopsloot: DP262+0, DP259+65, DP259+0 en DP257+70
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,44 m
 - Helling: 1:14,2

Geometrie:

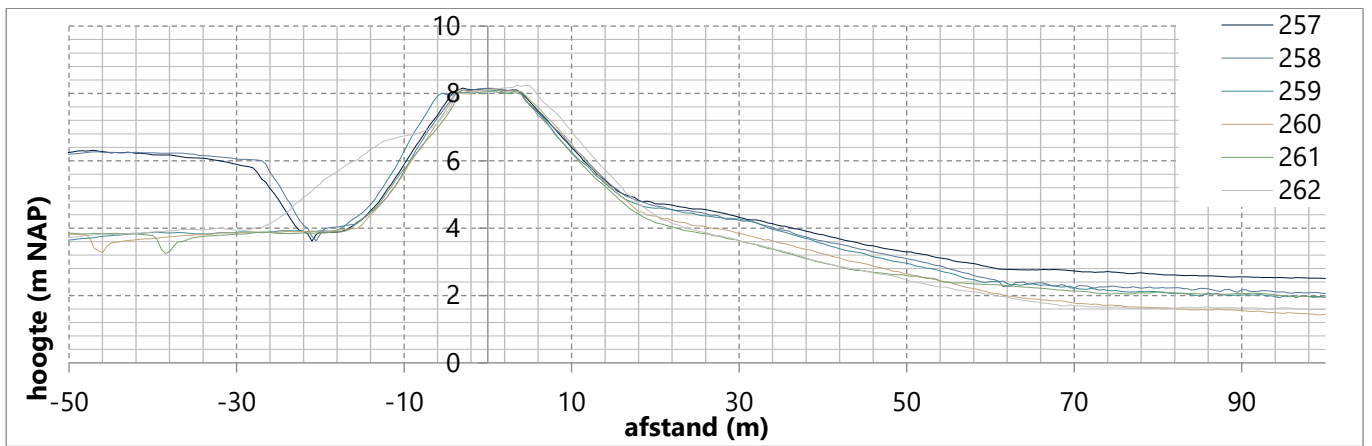
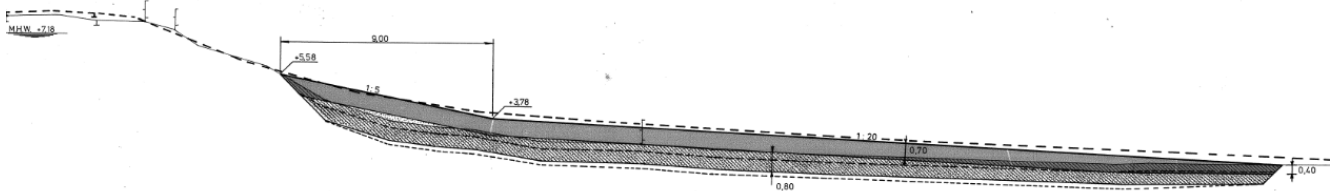
29 Hm 259⁸

II 10



30 Hm 260⁶

III 15



Bodemopbouw:

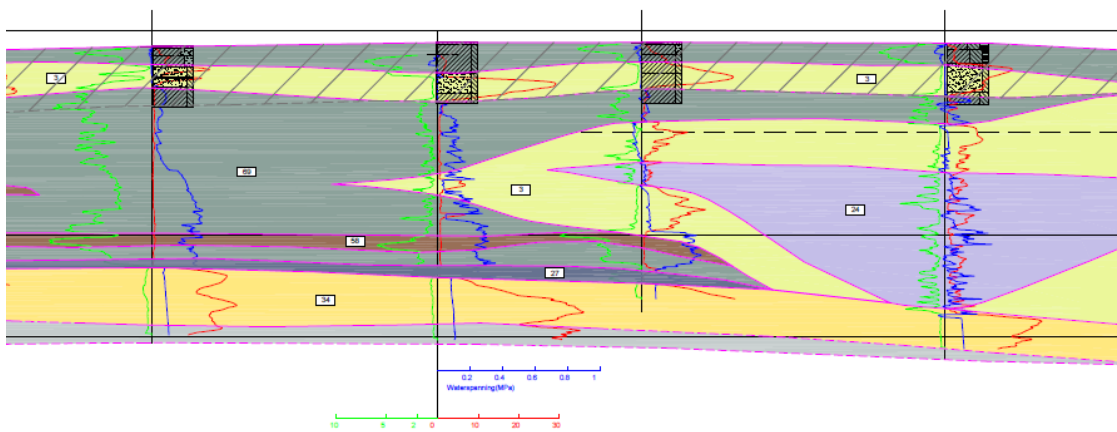
DP 262 DP 261 DP 260 DP 259 DP 258

DP262-003_DMNP1_BT
 DP262-007_HB_BT

DP260-045_HB_BT
 DP260-045_DMNP2_BT

DP259-045_HB_BT
 DP259-045_DMNP1_BT

DP257-006_DMNP_BI
 DP257-007_HB_BI



Dijkvak 4c – DP257+30 - DP254+0



Grondonderzoek:



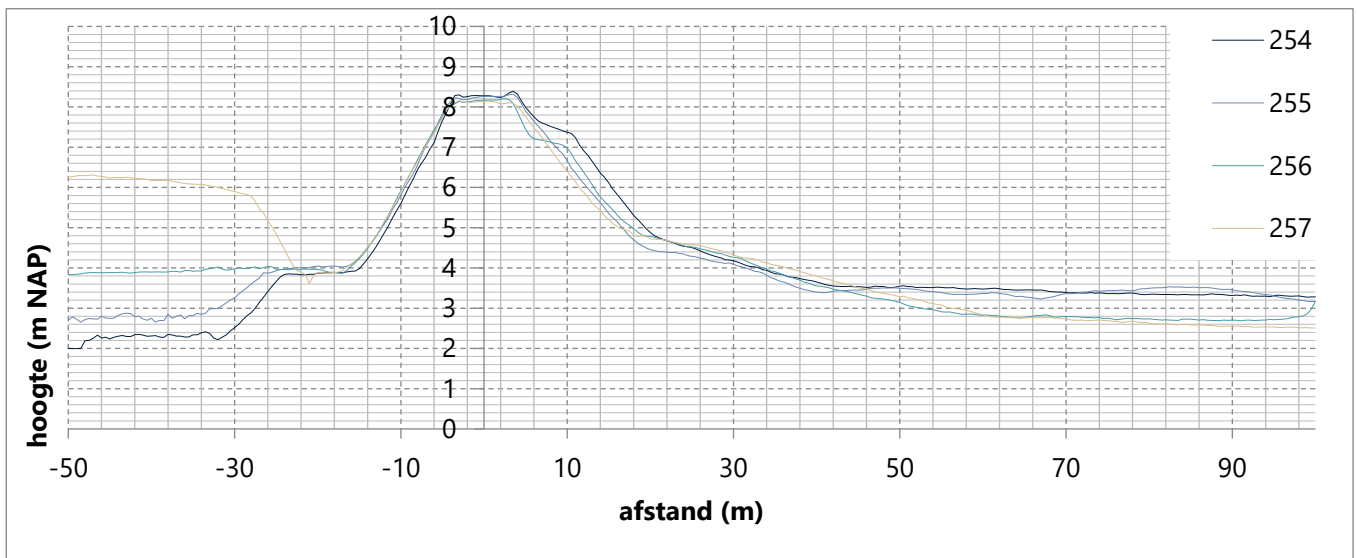
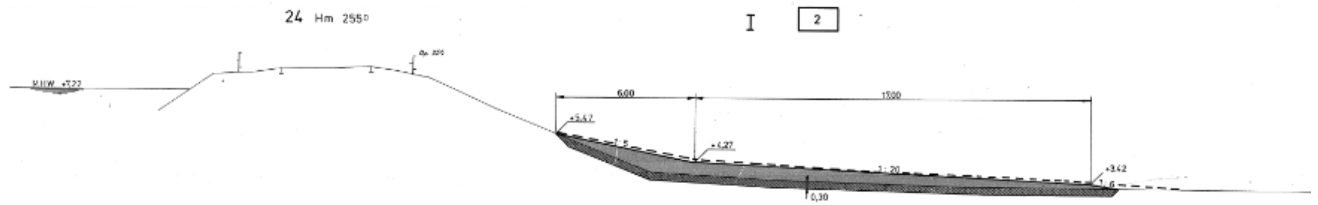
Ter hoogte van DP256+50 en DP254+0 bevindt zich een boerderij in het achterland. Vanaf DP255+75 loopt het niveau van het achterland op richting het zuiden (oostelijk in bovenstaande figuur). De geometrie van het binnentalud varieert daarom ook in dit dijkvak.

Kenmerken:

- Lengte vak: 325 m
- Kruinhoogte: NAP +8,10 m
- Binnentalud: 1: 3,7
- Buitentalud: 1: 2,8
- Hoogte achterland: tussen NAP 2,5 m en NAP +3,0 m bij DP257+30 – DP255+75
tussen NAP 3,0 m en NAP +3,5 m bij DP255+75 – DP254+0
- Afmetingen berm:

- o Beginhoogte berm: NAP +4,75 m
- o Helling: 1:20

Geometrie:



Bodemopbouw:

DP 257

DP 256

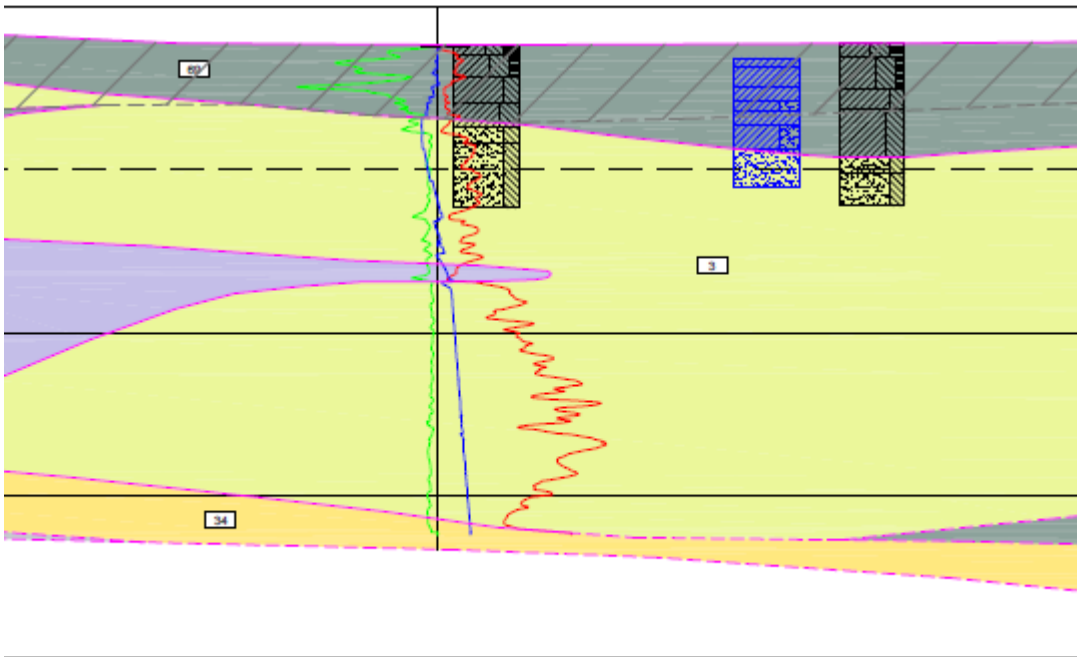
DP 255

DP 254

4 DP255+057_DKMP_AL
DP255+082_HB_AL

DR44_DP255_008_BO_BITA_oud

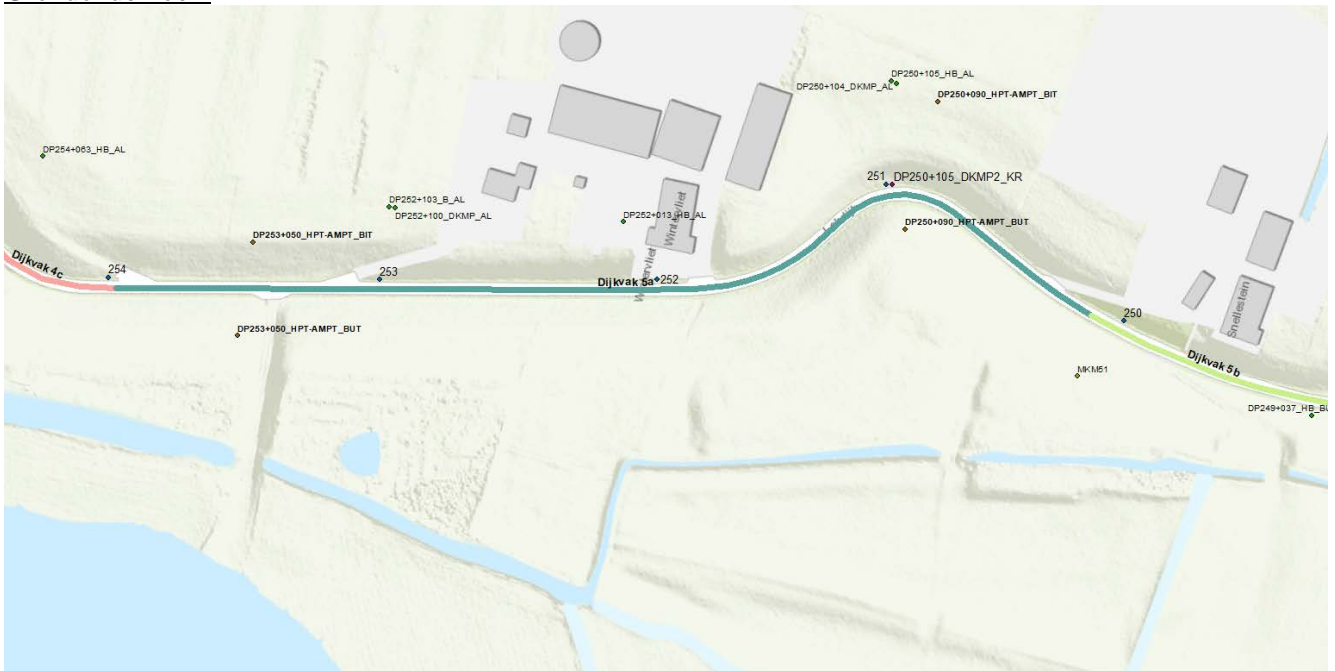
DP254+083_HB_AL



Dijkvak 5a – DP254+0 - DP250+10



Grondonderzoek:

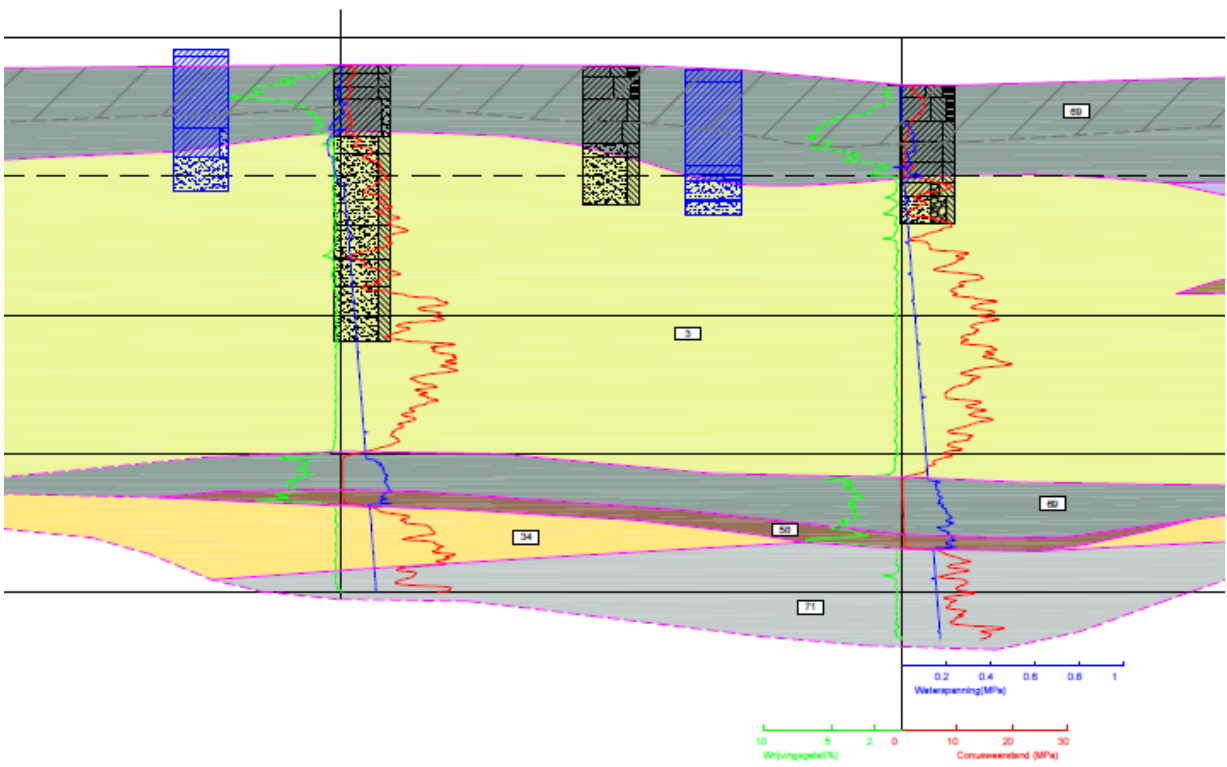


Langs dit vak varieert de helling van het binnentalud sterk. Dan komt doordat ter hoogte van DP252+50 zich een boerderij langs de binnenteen bevindt. Het binnentalud is zeer steil langs de bebouwing en in het binnentalud staat een keermuur zoals te zien is in onderstaande dwarsprofiel.

Kenmerken:

- Lengte vak: 400 m
- Kruinhoogte: NAP +8,30 m
- Binnentalud: 1:2,3 (langs bebouwing) 1:4 overige vak
- Buitentalud: 1:2,6
- Hoogte achterland: tussen NAP 2,0 m en NAP +3,0 m

Bodemopbouw:



Dijkvak 5b – DP250+10 - DP245



Grondonderzoek:

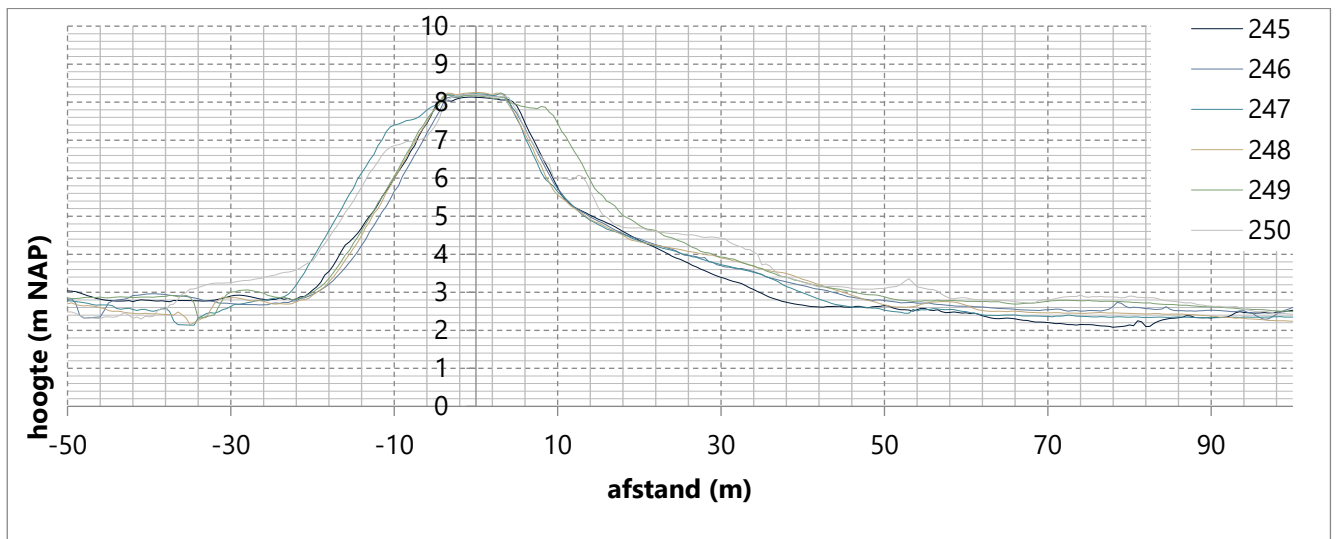
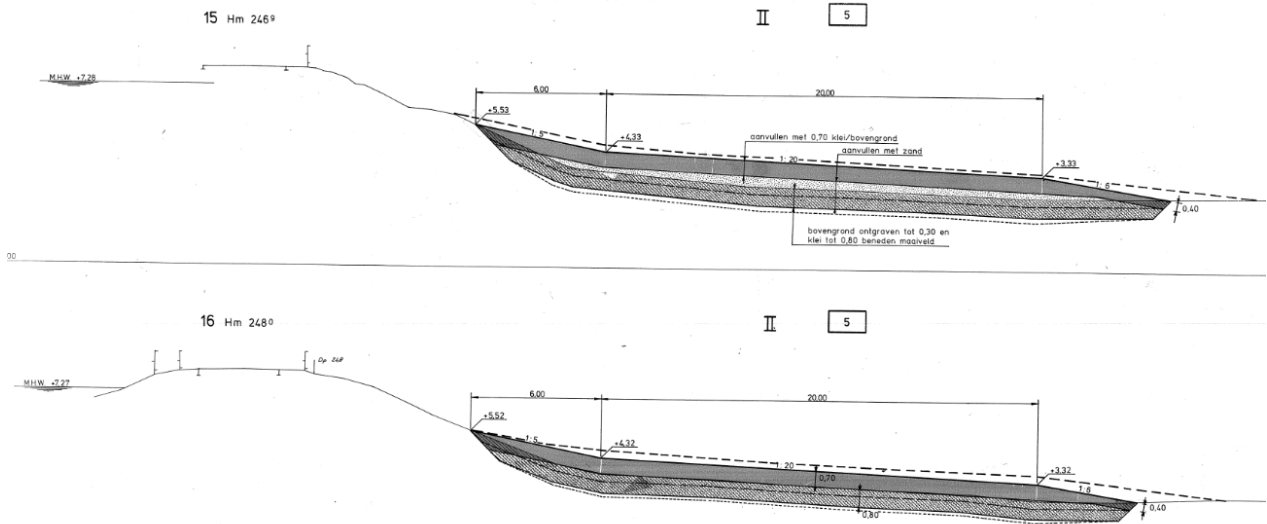


Dit dijkvak ligt aan de Honswijkerwaard en sluit aan op de toegangsweg van Fort Honswijk. Het dijkvak wordt gekenmerkt door een redelijk steil binnentalud. Langs de binnenteen bevinden zich twee agrarische percelen ter hoogte van DP249+75 en DP246. Daarnaast bevinden zich in het achterland en viertal kopsloten. Kenmerken:

- Lengte vak: 510 m
- Kruinhoogte: NAP +8,20 m
- Binnentalud: 1:2,5
- Buitentalud: 1:2,7
- Hoogte achterland: tussen NAP 2,0 m en NAP +3,0 m
- Kopsloot: DP249+60, DP248+35, DP259+0 en DP246+70

- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,53 m
 - Helling: 1:8,1

Geometrie:



Bodemopbouw:

DP 250
 ● DR44_DP246_089_BO_BTA_out
 ● DR44_DP246_069_BO_BTA_out

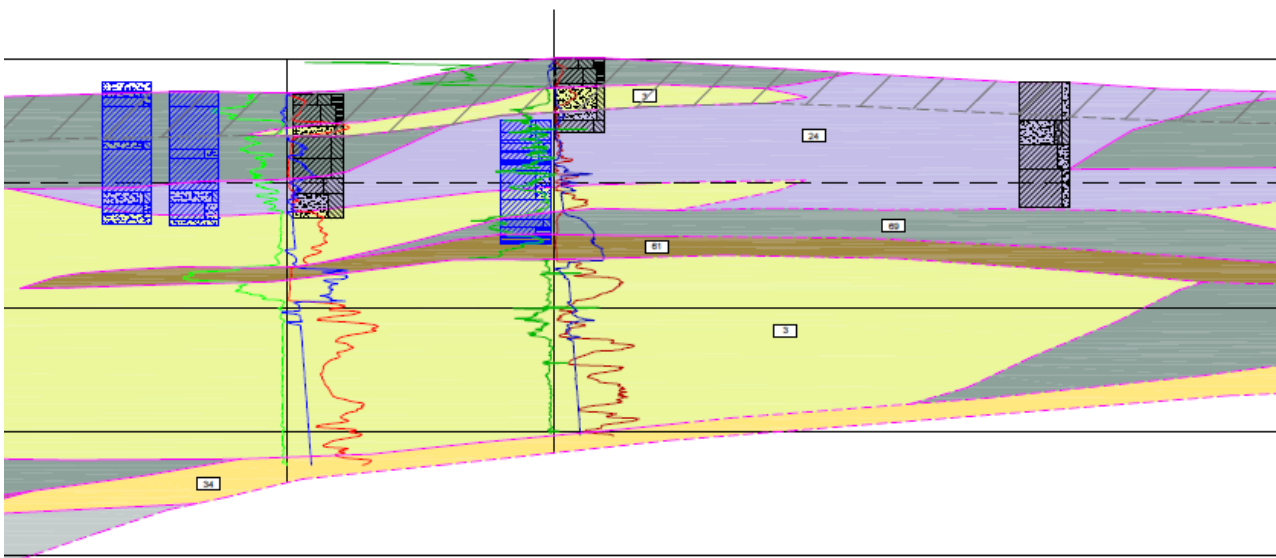
DP 249
 ● DP249-013_DKMP_AL
 ● DP249-010_HB_AL

DP 248
 ● B38F1304
 ● S44_248+00_berm
 ● DP247+00_HB_BI

DP 247

DP 246
 ● DP246+001_HB_AL

DP 245



Dijkvak 6 – DP245 - DP244+40



Grondonderzoek:

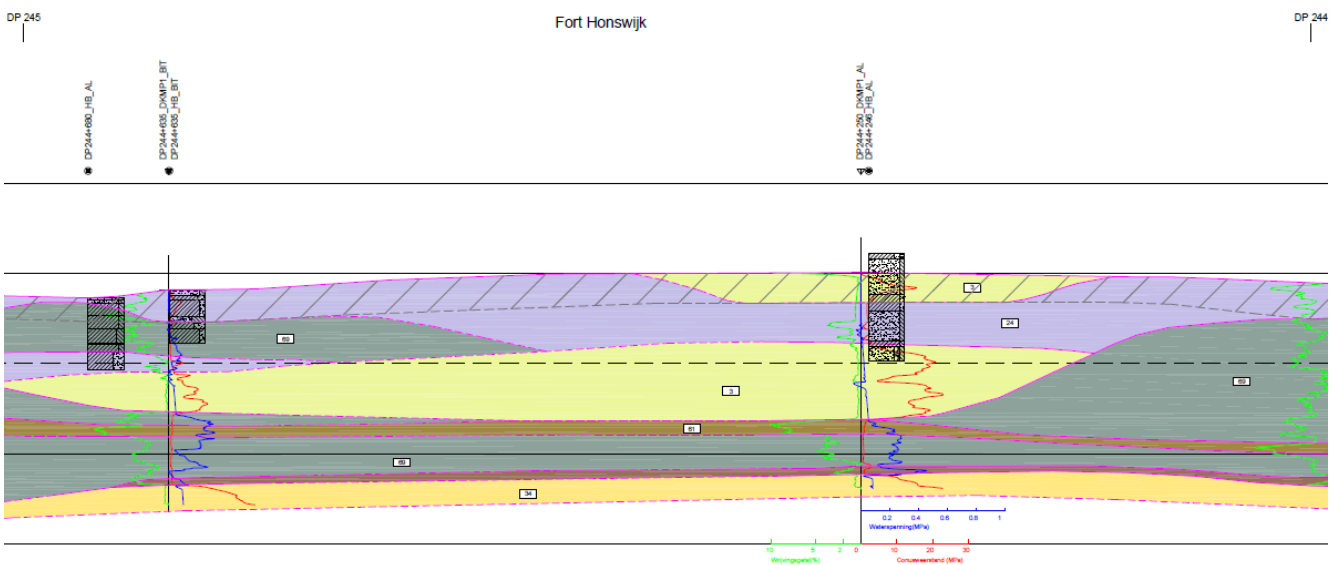


Dit dijkvak betreft Fort Honswijk.

Kenmerken:

- Lengte vak: 685 m
- Kruinhoogte:
- Binnentalud:
- Hoogte achterland: n.v.t.

Bodemopbouw:



Dijkvak 7a – DP244+40 - DP240+20



Grondonderzoek:

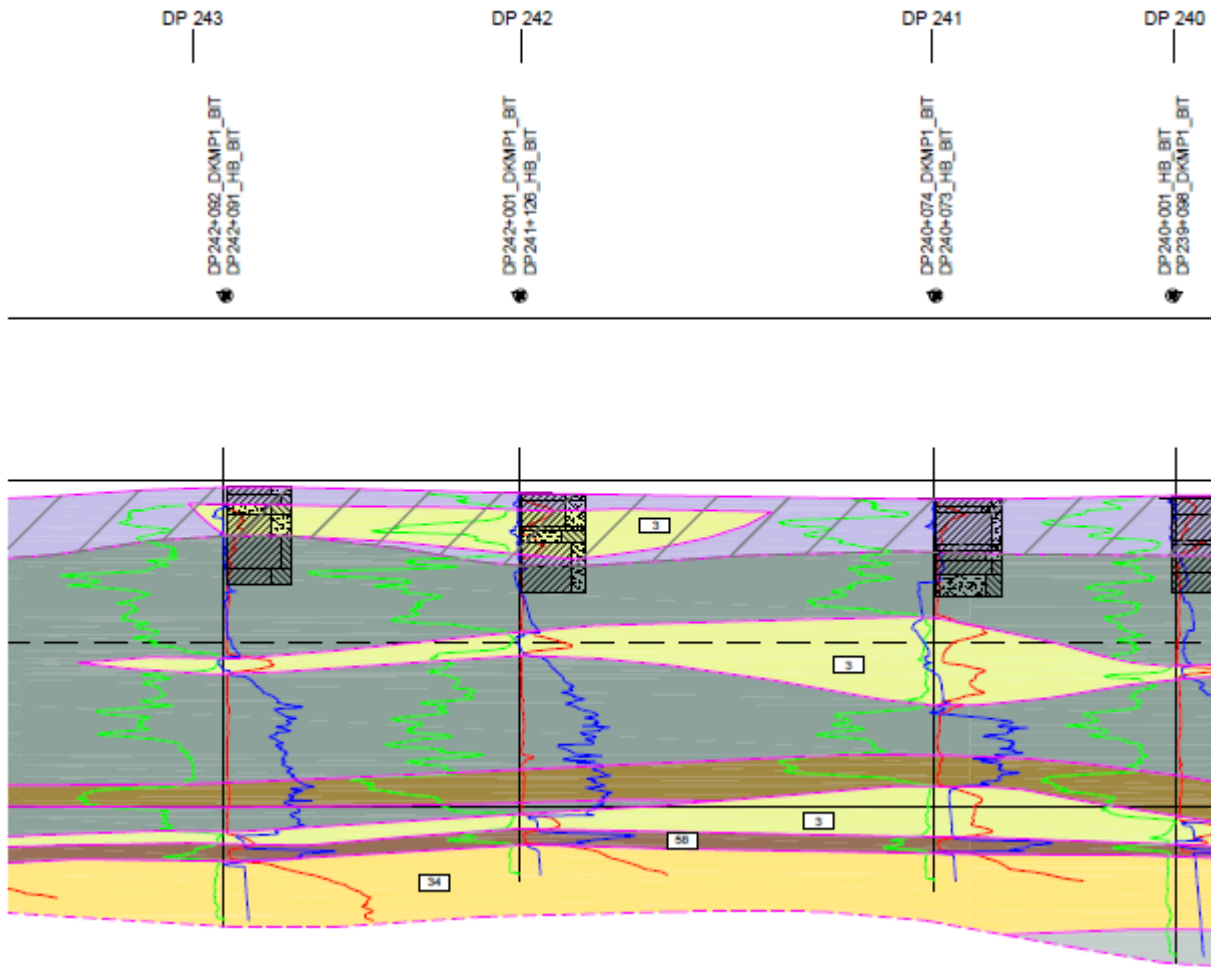


Dit dijkvak grenst aan Fort Honswijk. Het vak heeft een uniforme geometrie van het binnentalud. Langs de binnenteen bevindt zich een agrarisch perceel ter hoogte van DP241+0.

Kenmerken:

- Lengte vak: 425 m
- Kruinhoogte: NAP + 8,20 m
- Binnentalud: 1:2,6
- Buitentalud: 1:2,9
- Hoogte achterland: tussen NAP +1,5 m en NAP +2,0 m
- Teensloot: DP243+20 tot DP241+10
- Kopsloot: DP243+80, DP243+20 en DP243+0
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,60 m
 - Helling: 1:5,1

Bodemopbouw:



Dijkvak 7b – DP240+20- DP232+60



Grondonderzoek:

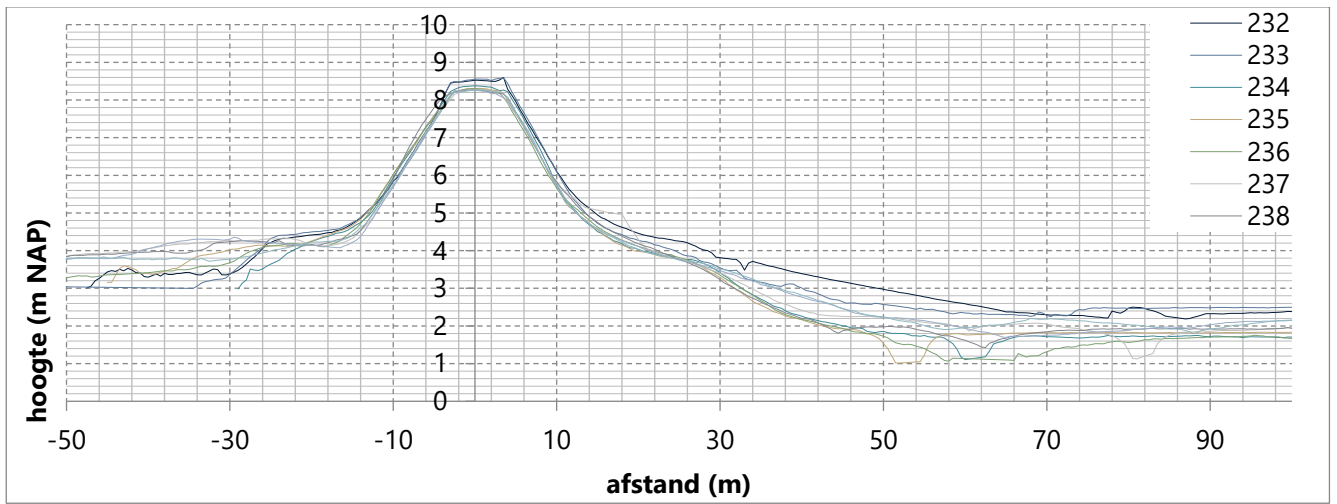
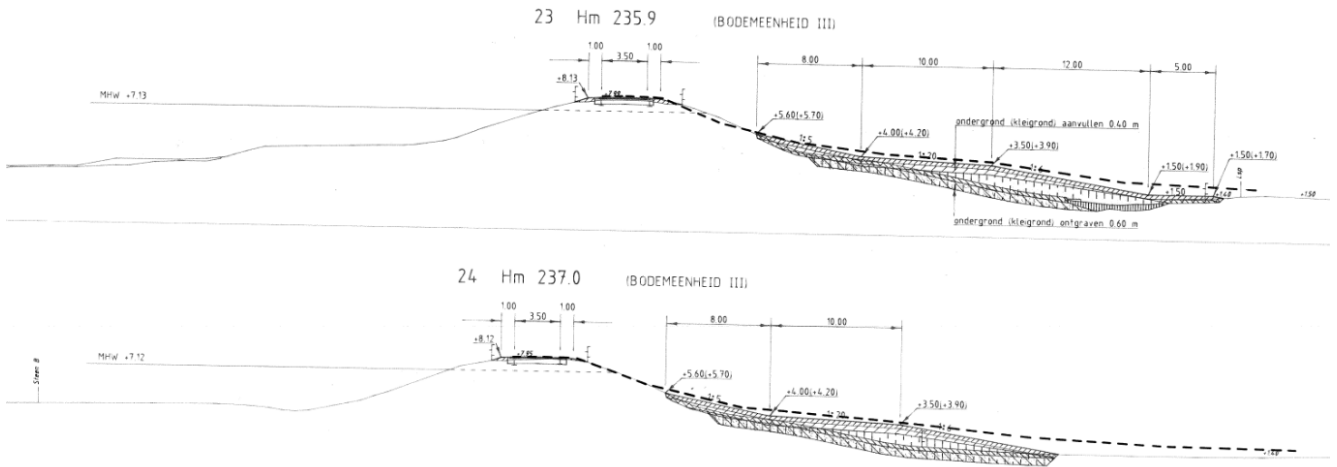


Een lang vak met een uniforme geometrie. In het achterland bevinden zich enkele agrarische percelen.

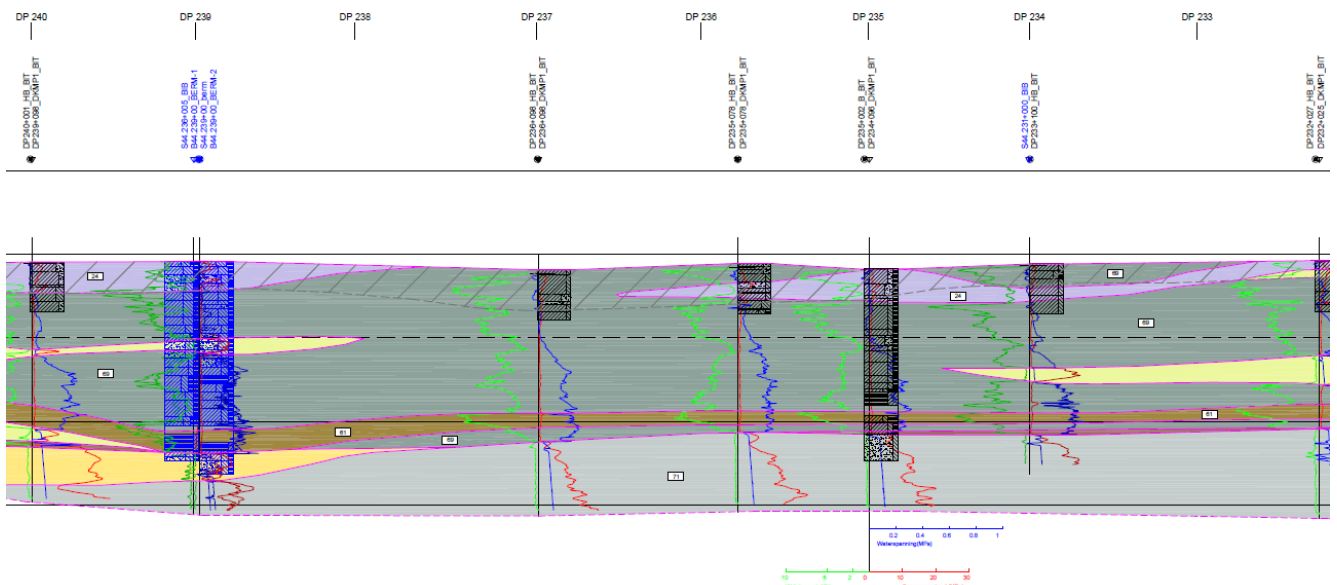
Kenmerken:

- Lengte vak: 755 m
- Kruinhoogte: NAP + 8,25 m
- Binnentalud: 1:2,6
- Buitentalud: 1:3
- Hoogte achterland: tussen NAP +1,5 m en NAP +2,5 m
- Teensloot: DP237+60 tot DP237+90, DP237+0 tot DP236+30 en DP235+85 tot DP233+10
- Kopsloot: DP239+55 en DP238+85
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,60 m
 - Helling: 1:5,1

Geometrie:



Bodemopbouw:



Dijkvak 7c – DP232+60 - DP228



Grondonderzoek:



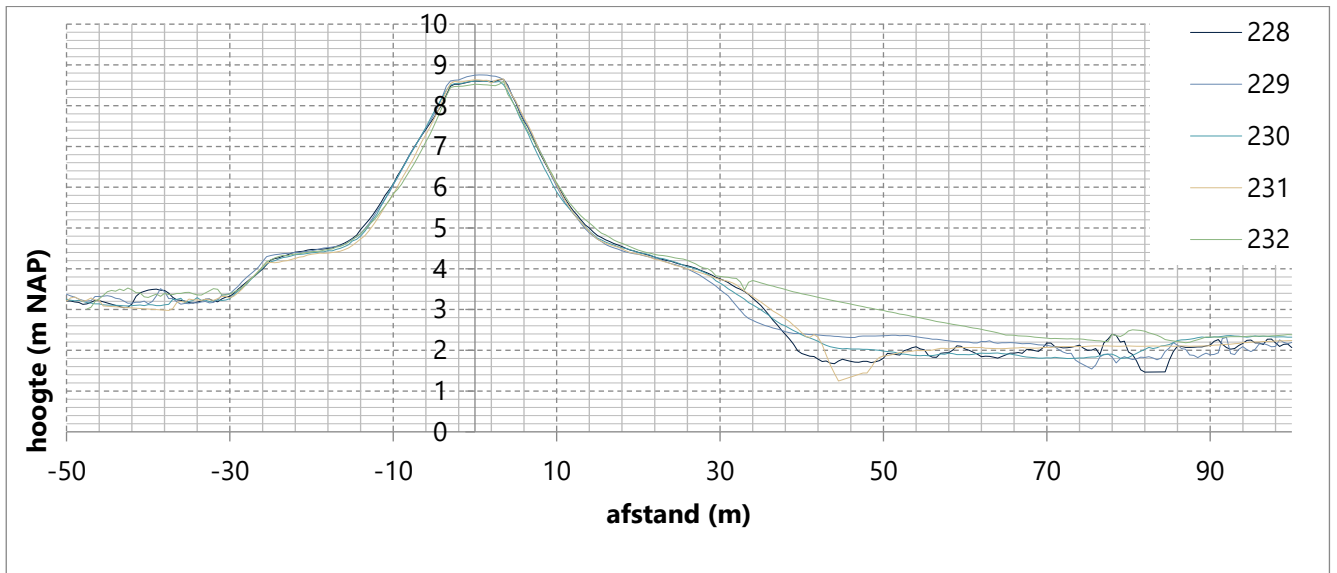
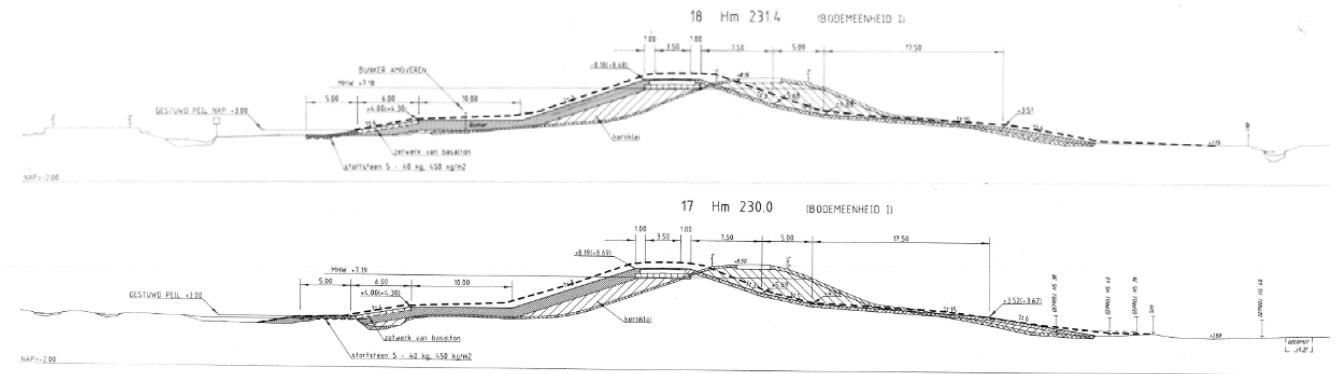
Het dijkvak heeft een uniforme geometrie. Langs de binnenteen en in het achterland bevinden zich woonpercelen en agrarische bedrijven ter hoogte van DP232+50, DP230+90, DP230+90, DP229+80 en DP228+60 .

Kenmerken:

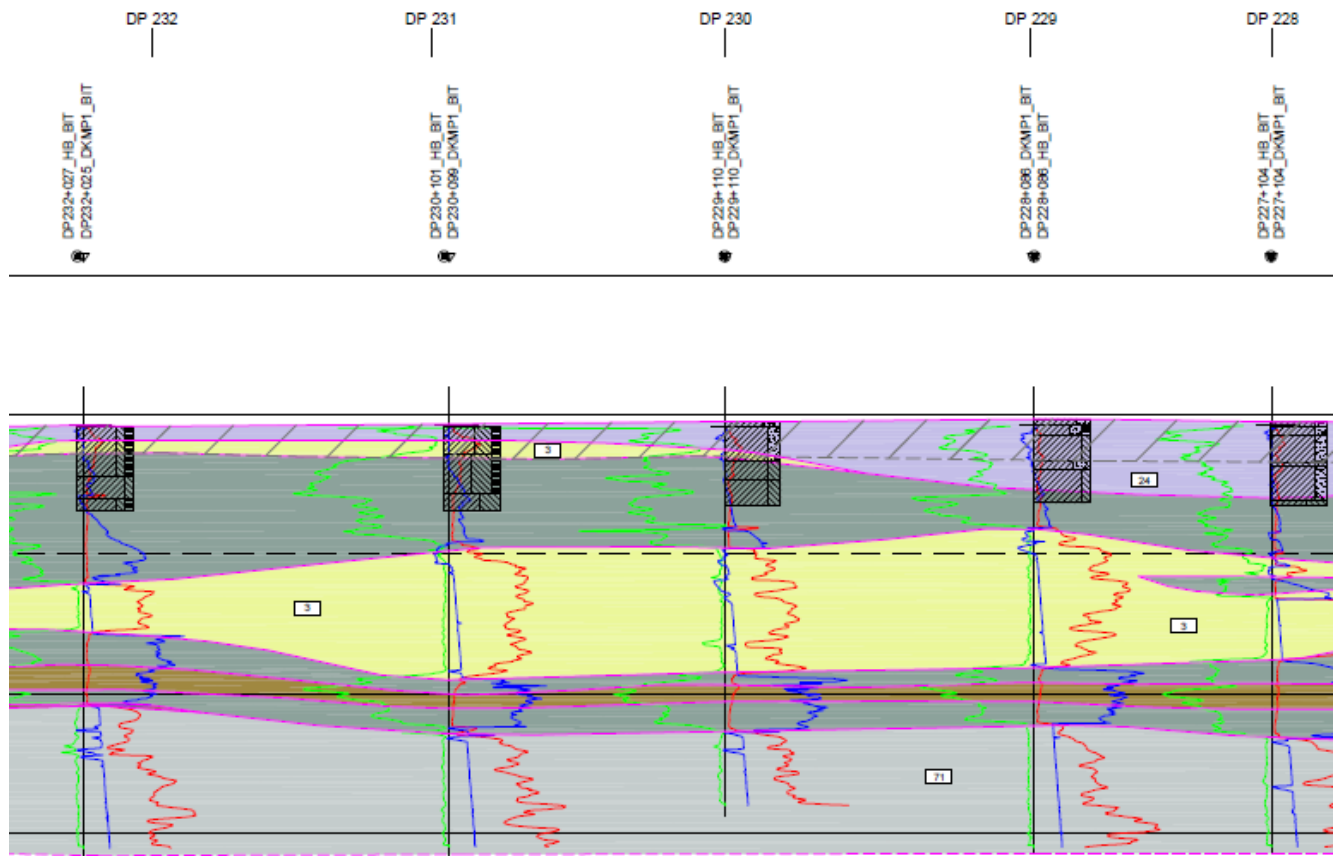
- Lengte vak: 460 m
- Kruinhoogte: NAP + 8,50 m
- Binnentalud: 1:2,5
- Buitentalud: 1:2,8
- Hoogte achterland: tussen NAP +2,0 m en NAP +2,5 m
- Teensloot: DP231+70 tot DP231+0
- Kopsloot: DP230+70 en DP229+60

- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,70 m
 - Helling: 1:5

Geometrie:



Bodemopbouw:



Dijkvak 8 – DP228 - DP226+5



Grondonderzoek:

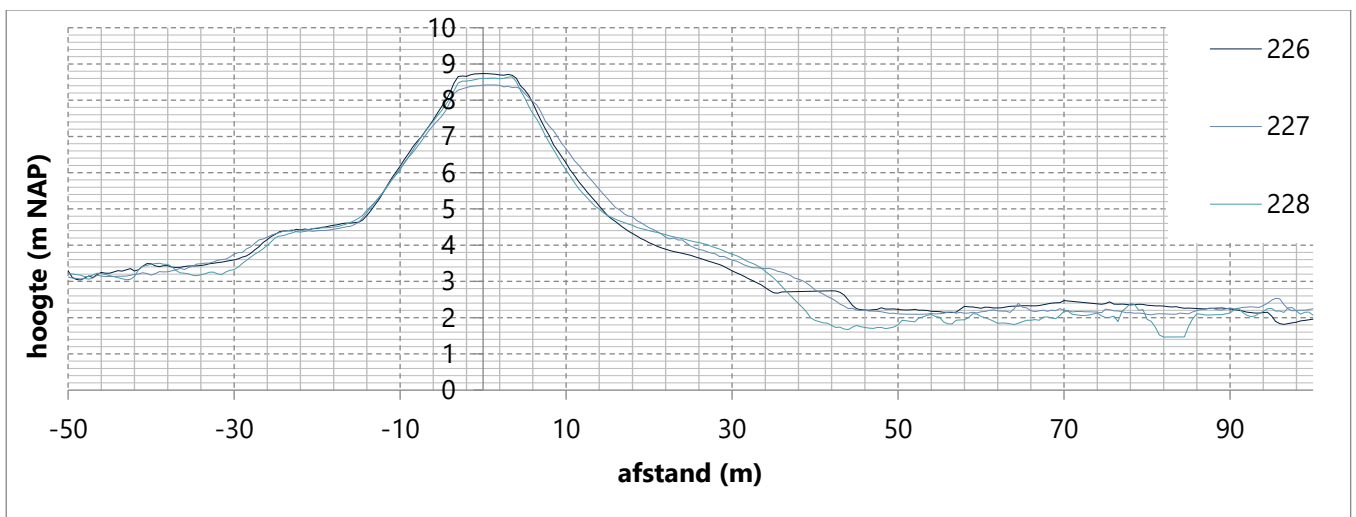
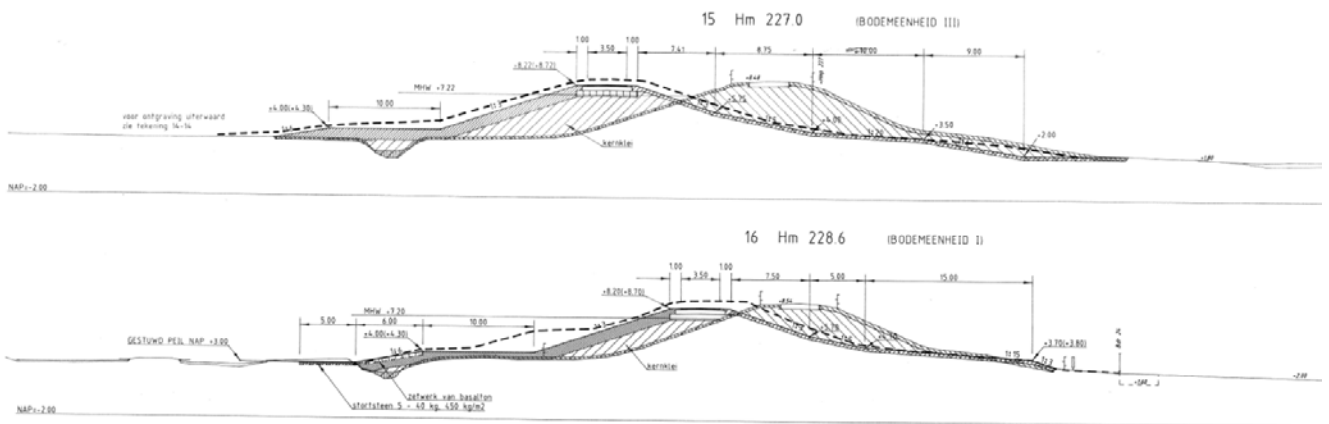


Een kort vak ter hoogte van “Werk aan de Groeneweg”. Bij de dijkversterking in de jaren '80 is het dijklichaam ca. 10 m richting de rivier verlegd, zie onderstaande dwarsprofielen. Het binnentalud varieert in geometrie door de bebouwing langs de binnenteen en de bijbehorende afritten. Kenmerken:

- Lengte vak: 195 m
- Kruinhoogte: NAP + 8,40 m
- Binnentalud: 1:2,5 (DP228) / 1:3,4 (DP227)
- Buitentalud: 1:3
- Hoogte achterland: tussen NAP +2,0 m en NAP +2,5 m

- Kopsloot: DP226+50 en DP227+85
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,75 m
 - Helling: 1:5,4 (DP228) 1: 6,6 (DP227)

Geometrie:



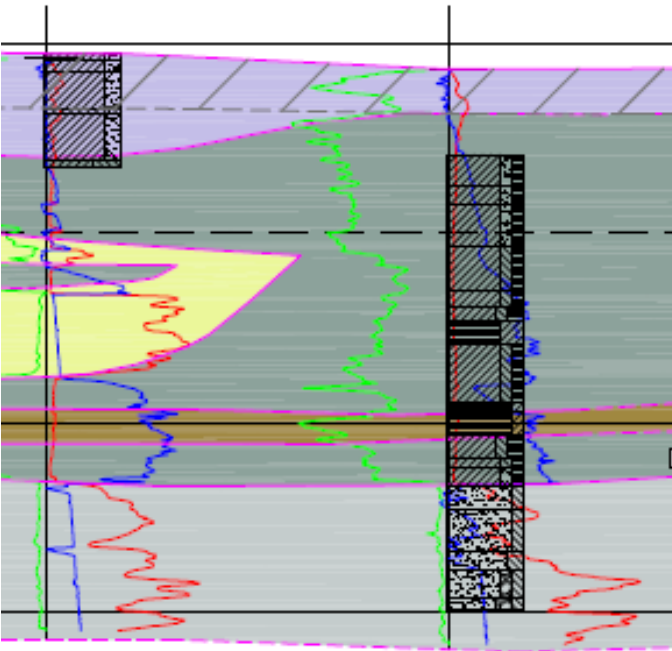
Bodemopbouw:

DP 228

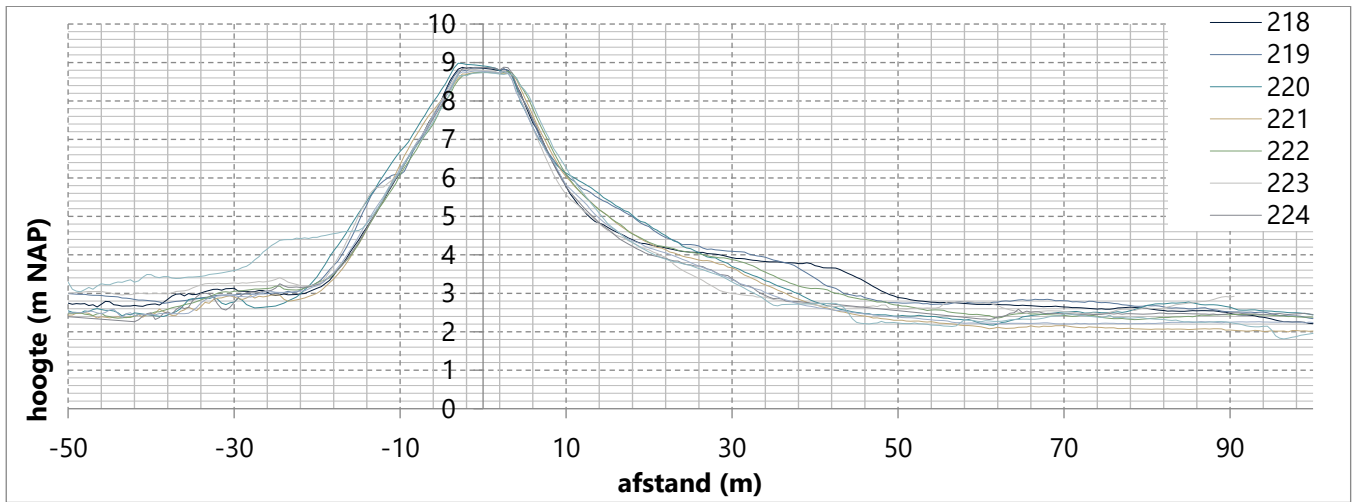
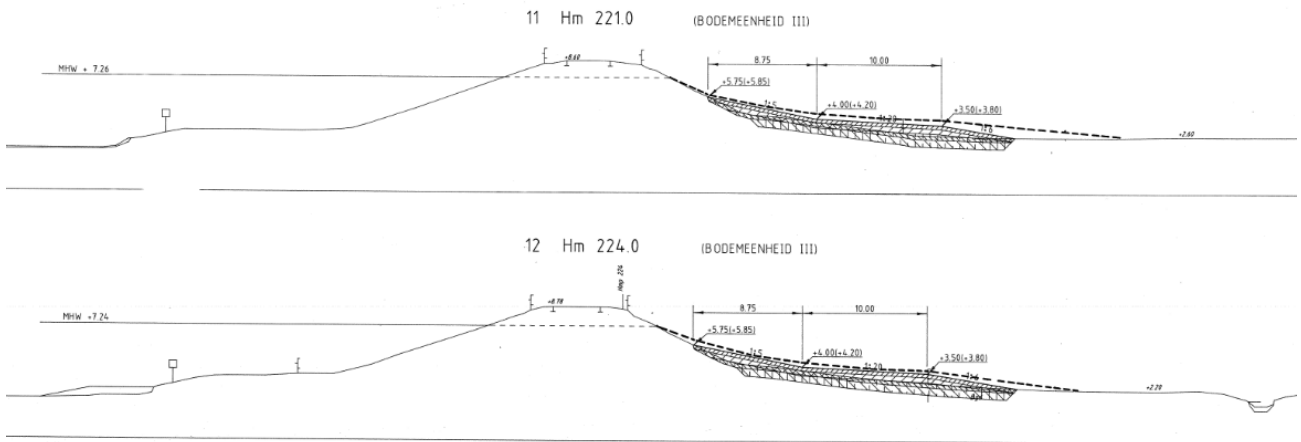
● DP227+104_HB_BIT
DP227+104_DKMP1_BIT

DP 227

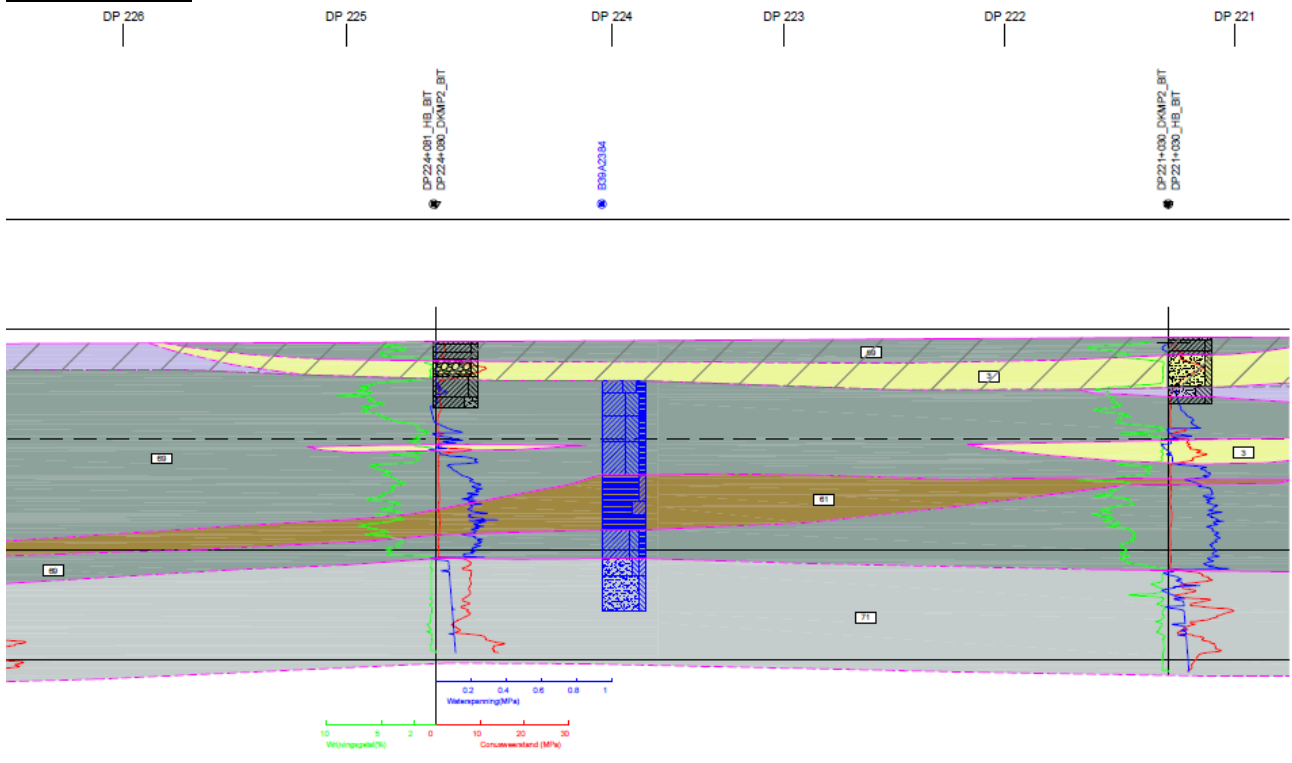
● DP226+095_B_AL
DP226+095_DKMP2_BIT



Geometrie:

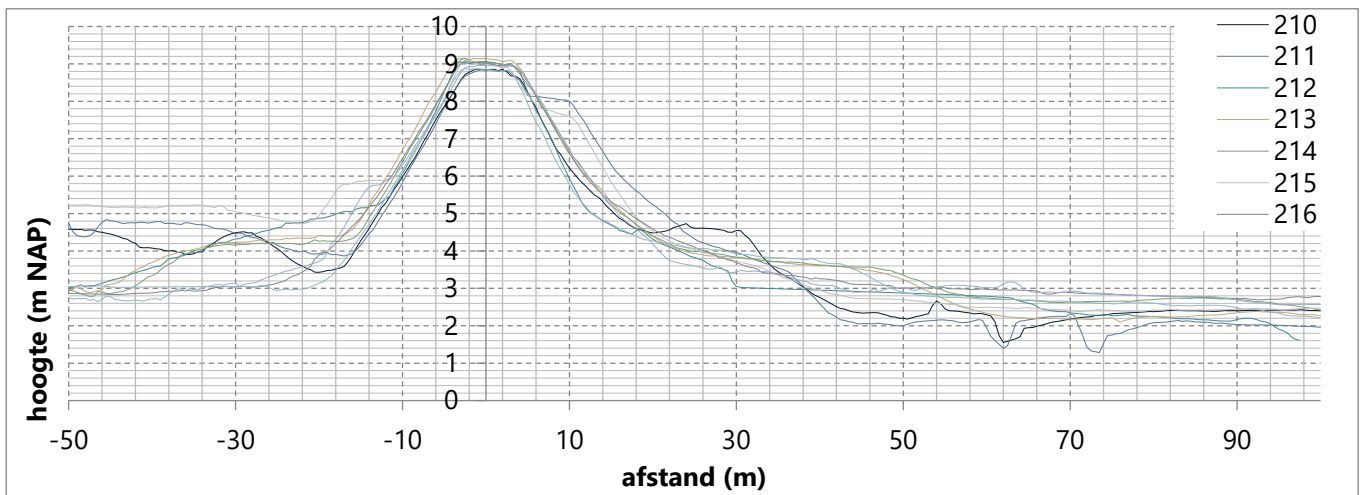
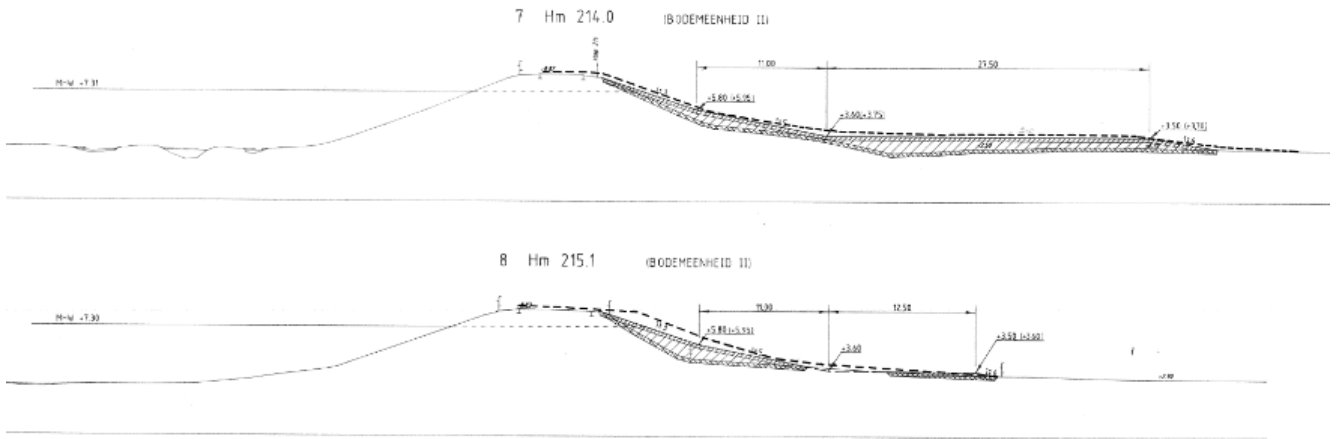


Bodemopbouw:

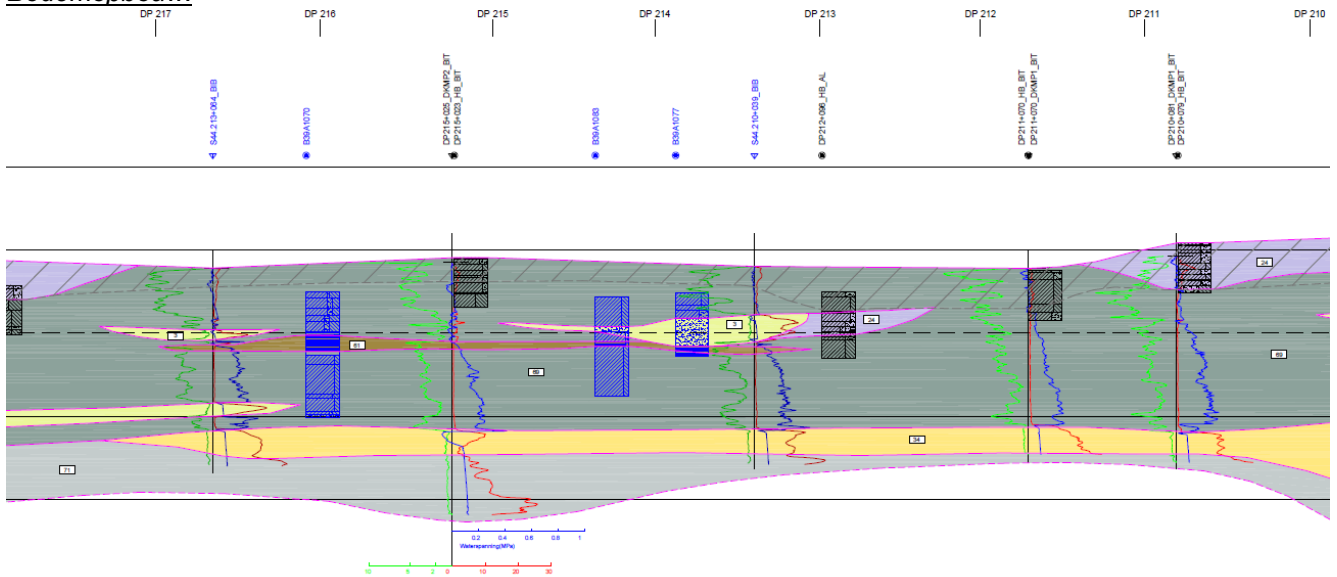


- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,80 m
 - Helling: 1:6,1

Geometrie:



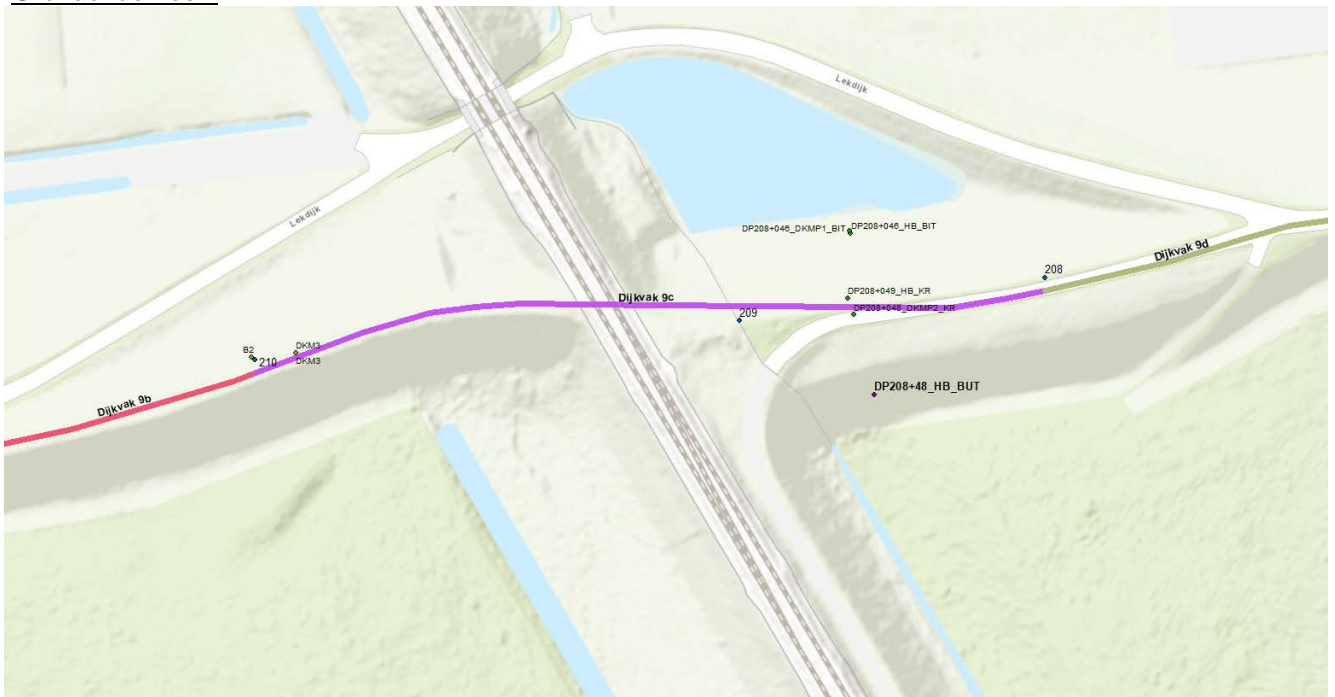
Bodemopbouw:



Dijkvak 9c – DP210 - DP208



Grondonderzoek:

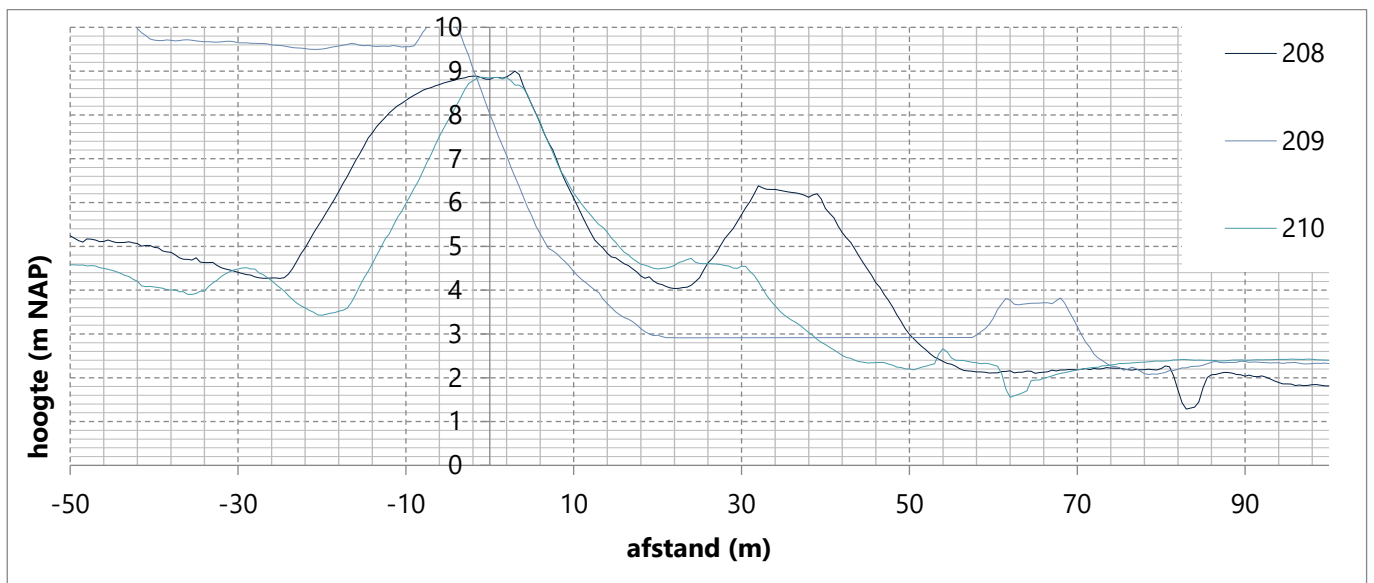
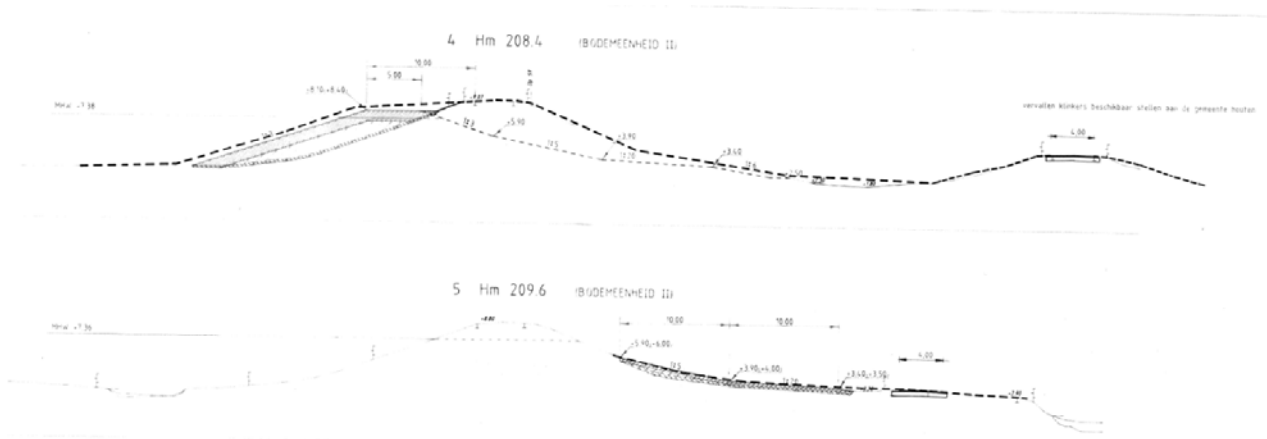


Dit dijkvak wordt doorkruist door een spoorweg die vervolgens aansluit op de Culemborgse spoorbrug. In het dijklichaam bevindt zich het ballastbed van het spoor. In het achterland loopt het ballastspoor haaks op de dijk. Langs de binnentoe loopt de verkeersweg die onder de spoorweg doorkruist. Kenmerken:

- Lengte vak: 200 m
- Kruihoogte: NAP + 8,85 m
- Binnentalud: 1:2,5
- Buitentalud: 1:2,8
- Hoogte achterland: tussen NAP +2,0 m en NAP +3,0 m
- Waterpartij: DP209+0 tot DP208+0

- Kopsloot: DP209+70
- Teensloot: DP210 tot DP209+90
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +3,90 m
 - Helling: 1:5

Geometrie:



Bodemopbouw:

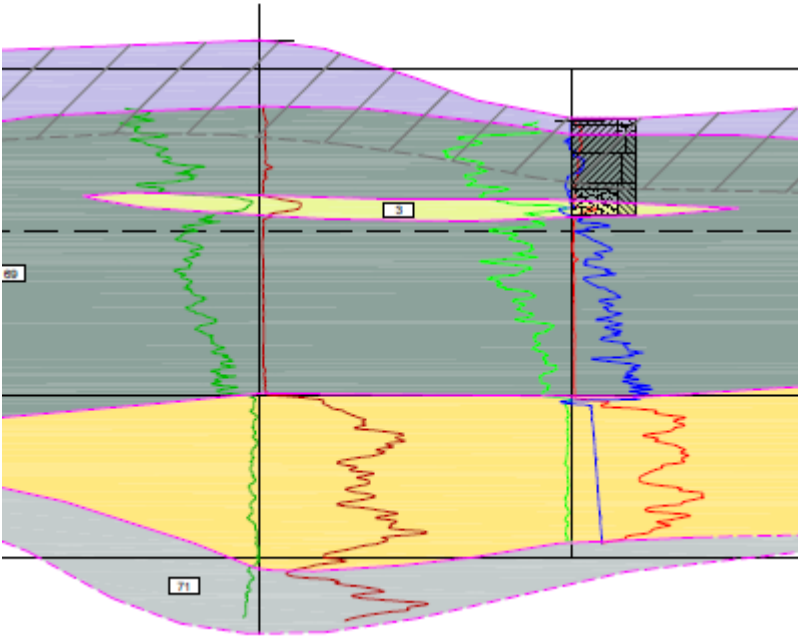
DP 210

DP 209

DP 208

CP1000000032562

DP208+046_DKMP1_BIT
DP208+046_HB_BIT



Dijkvak 9d – DP208 - DP203



Grondonderzoek:



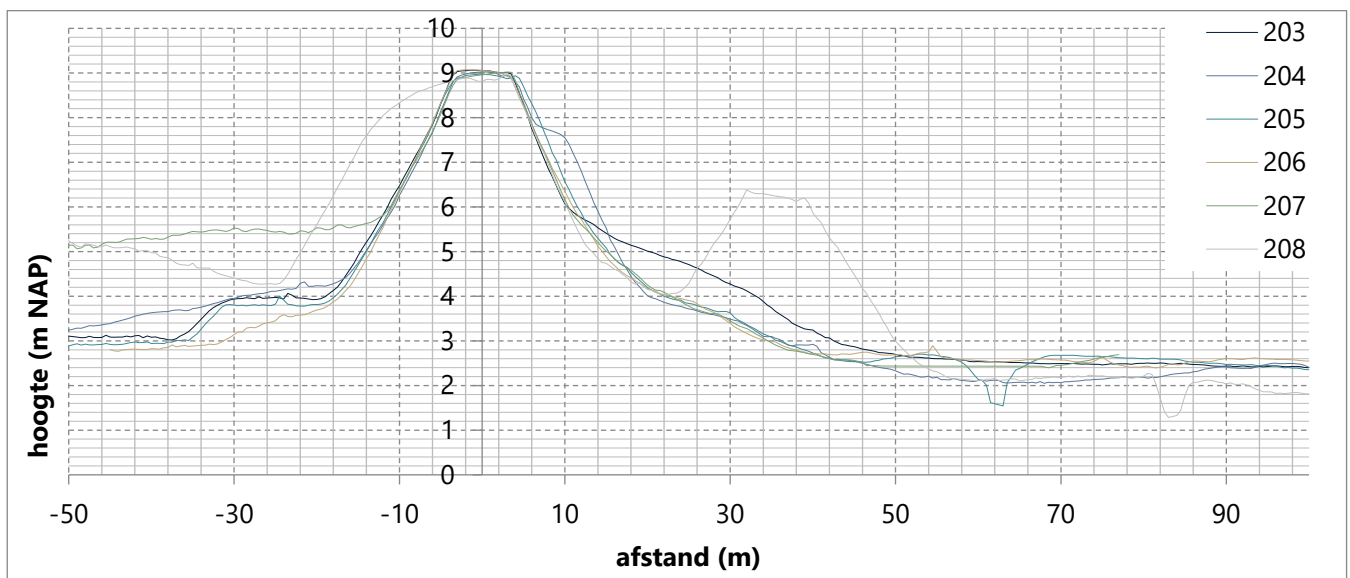
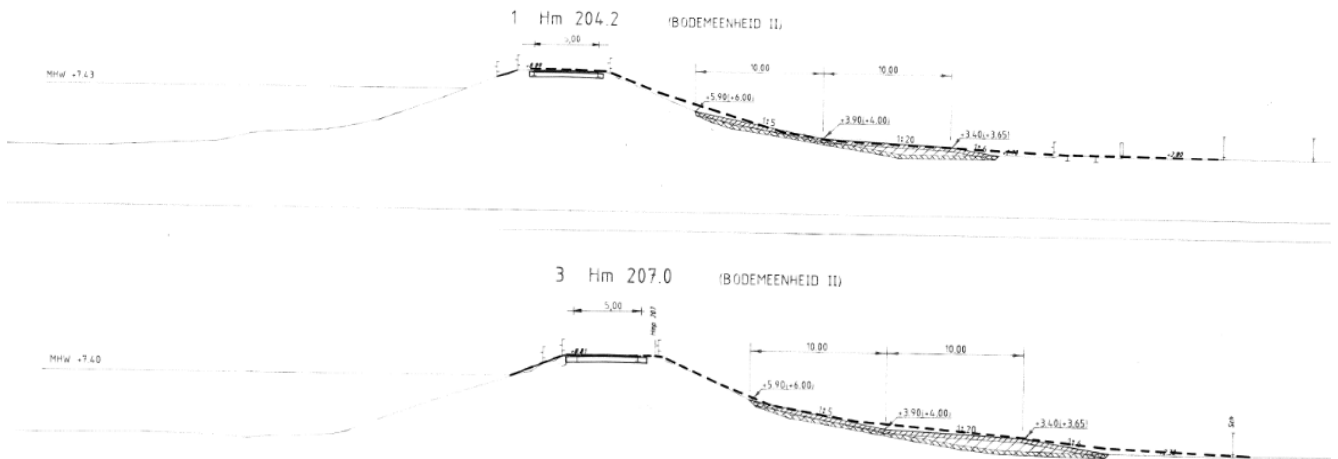
Het laatste vak die de scope begrensd van dijkversterkingstraject CUB. Dit dijkvak grenst aan de spoorwegovergang. Langs de binnenteen en in het achterland bevinden zich agrarische percelen. Langs het binnentalud ter hoogte van DP207+35 splitst de verkeersweg op de kruin zich tijdelijk af om de spoorweg onderlangs te doorkruisen.

Kenmerken:

- Lengte vak: 505 m
- Kruinhoogte: NAP + 8,95 m
- Binnentalud: 1:2,5

- Buitentalud: 1:2,6
- Hoogte achterland: tussen NAP +2,0 m en NAP +3,0 m
- Kopsloot: DP203+40
- Teensloot: DP208 tot DP207+30, DP205+35 tot DP205+0
- Afmetingen berm:
 - Beginhoogte berm: NAP +5,90 m
 - Helling: 1:5,5

Geometrie:

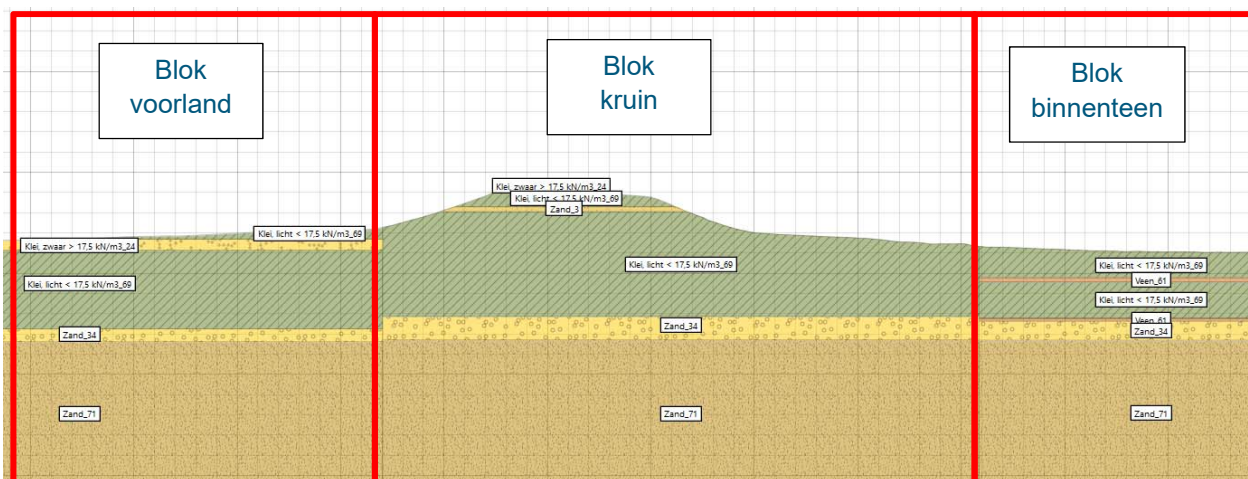


Bodemopbouw:

C Onderbouwing keuze 15 maatgevende profielen

De beoordeling voor het faalmechanisme macrostabiliteit is uitgevoerd voor 15 maatgevende dwarsprofielen. Om deze 15 maatgevende dwarsprofielen vast te stellen is eerst per dijkvak een maatgevend dwarsprofiel bepaald. Hierbij is hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de factsheets die per dijkvak zijn opgesteld. Deze factsheets zijn opgenomen in bijlage B. In deze factsheets zijn per dijkvak kenmerkende onderdelen opgenomen zoals geometrie van de vorige dijkversterking, dwarsprofielen per dijkpaal op basis van AHN3 meetdata, aanwezigheid voorland en bodembouw.

Naast de factsheets is voor het vaststellen van de maatgevende dwarsprofielen per dijkvak tevens gebruik gemaakt van het automatisch berekenen van de macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts van alle dwarsprofielen per dijkpaal. Deze automatische berekeningen zijn gebaseerd op een automatische ondergrondschematisering op basis van de beschikbare geotechnische lengteprofielen ter plaatse van het voorland, kruin en binnenteen. Op basis hiervan wordt de ondergrond geschematiseerd in 3 blokken. Daarnaast is voor de geometrie van de dijk en omliggend maaiveld gebruik gemaakt van AHN3 data.



Nadrukkelijk wordt hierbij gesteld dat het automatisch berekenen van alle profielen geen definitieve exacte waarden voor stabiliteit geeft maar meer een indicatie kan geven voor zwakke plekken in de dijk. De resultaten van de automatische berekeningen kunnen hierbij worden gezien als een ondersteuning voor de bepaling van het maatgevend dwarsprofiel per dijkvak.

In het bijgevoegde sheet zijn per dwarsprofiel de berekende stabiliteitsfactoren opgenomen:

- SF_STBI_dagelijks = stabiliteitsfactor binnenwaartse stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden
- SF_STBI_HW = stabiliteitsfactor binnenwaartse stabiliteit bij maatgevend
- SF_STBU_dagelijks = stabiliteitsfactor buitenwaartse stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden
- SF_STBU_VHW = stabiliteitsfactor buitenwaartse stabiliteit bij val na hoogwater

Daarnaast is steeds aangegeven wat de afname van de stabiliteitsfactor is van dagelijkse omstandigheden naar maatgevende omstandigheden. Omdat de geometrie van de dijk is gebaseerd op AHN3 data zijn eventueel aanwezige teensloten nu niet goed in de geometrie van de dijk verwerkt. Wanneer er een teensloot aanwezig is in een dwarsprofiel zal dit dwarsprofiel daarom meestal maatgevend zijn ongeacht de resultaten die nu in het sheet zijn opgenomen.

En andere belangrijke factor om rekening mee te houden bij de keuze van een maatgevend dwarsprofiel is de opbarstveiligheid van de deklaag in het achterland. Wanneer deze opbarst heeft dit een groot negatief effect op de binnenwaartse stabiliteit. Daarom is indicatief (er is een gemiddeld gewicht van de

deklaag van 16 kN/m³ gehanteerd) de opbarstveiligheid van de deklaag ook in het sheet opgenomen voor verschillende verwachte responsfactoren 0,5/0,6/0,7 (= mate waarin de stijghoogte reageert op een verandering van de buitenwaterstand).

Allereerst is per dijkvak het maatgevend dwarsprofiel bepaald. Deze zijn rood aangemerkt. Bij de opmerkingen is deze keuze nader onderbouwd. Op deze manier zijn 20 maatgevende dwarsprofielen bepaald. Vervolgens zijn 5 dijkvakken samengevoegd met een ander dijkvak om de beoogde 15 profielen te behalen. De overweging van de afgevalen dwarsprofielen van de 5 dijkvakken zijn in geel aangegeven met een onderbouwing. Een samenvatting is opgenomen in onderstaande tabel.

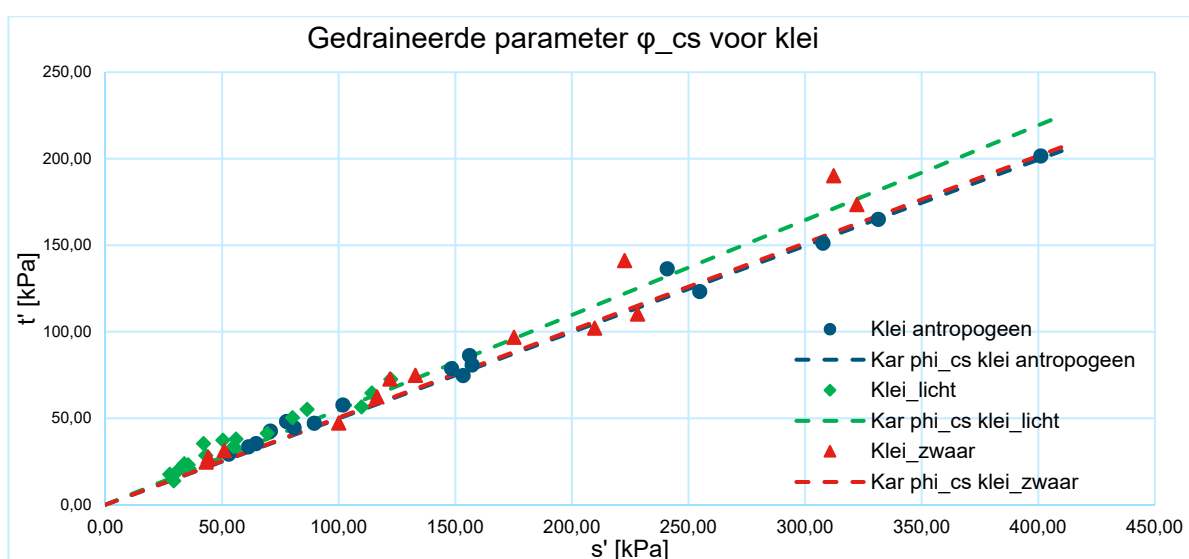
Dijkvak	DP	Opmerking
9d	205	DP205 is enige profiel met teensloot en daarmee maatgevend Peilbuisraai aanwezig op DP206 Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP205+020
9c	209	Zeer steil binnentalud waarbij direct aan binnenteen een plas aanwezig is. Maatgevend voor STBI. Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP208+49
9b	217	Vervallen; 9d (DP205) is maatgevend (teensloot aanwezig en lager achterland)
9a	224	Tussen DP224 en DP255 is een teensloot aanwezig. Deze moet in het dwarsprofiel worden geschematiseerd en is daarmee maatgevend. Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP224+80 Peilbuisraai aanwezig op DP221
8	227	Keuze voor DP227 om dat deze precies in het midden van Werk aan de Groeneweg ligt DP226 ligt hier buiten. Peilbuis aanwezig in achterland op DP226+095
7c	231	DP231 heeft als enige profiel een teensloot op relatief korte afstand van de dijk. Lengte van teensloot is ca. 80 m en daarmee relevant voor het dijkvak. Peilbuis in aanwezig tussenzandlaag op DP229
7b	235	Lage SF + kans op opbarsten DP235 heeft als enig profiel een teensloot op relatief korte afstand Peilbuisraai aanwezig op DP235
7a	242	Vervallen; 7c (DP231) is maatgevend (teensloot op kleinere afstand aanwezig). Grondopbouw komt overeen met dijkvak 7c.
5b	248	Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP248 HPT onderzoek aanwezig op DP249 Peilbuisraai aanwezig op DP248 Teensloot aanwezig buitendijks en laag voorland (maatgevend STBU)
5a	253	Vervallen; 4c (DP255) is maatgevend (steiler binnentalud; maaiveld achterland lager)
4c	255	DP255 heeft kleinste en laagste binnenberm Peilbuisraai aanwezig op DP256 Weinig grondonderzoek aanwezig in directe omgeving van DP255
4b	260	Vervallen; 4a (DP265) is maatgevend door steiler binnentalud en minder hoger berm

4a	265	Grote afname STBI bij MHW condities DP265 heeft kleinste en laagste binnenberm Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP265 Peilbuisraai aanwezig op DP263
3e	267	Laagste SF STBI door laagste maaiveldniveau achterland Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP267
3d	275	DP275 en DP276 hebben een veel kortere binnenberm dan de overige profielen Achter de binnenberm bij DP275 is een wiel aanwezig Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP275 Afrit aanwezig aan de buitenzijde, hierdoor niet representatief voor STBU
3c	278	Vervallen; DP280 (dijkvak 3b) is maatgevend vanwege kleinere binnenberm
3b	280	DP280 heeft kortste binnenberm Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP280 Peilbuisraai aanwezig op DP280
3a	283	Laagste SF STBI Afrit aan buitenzijde (niet representatief voor STBU) Kortste binnenberm en laagste achterland Teensloot aanwezig Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP283 Peilbuisraai aanwezig op DP282
2c	287	Laagste SF STBI Grote kans op opbarsten door dunste deklaag Peilbuisraai aanwezig op DP289 Grondonderzoeksraai sonderingen en boringen aanwezig op DP287 HPT sondering op deze locatie beschikbaar
2a	295	Laagste SF STBI. Grondonderzoek aanwezig op DP295+50 Peilbuisraai aanwezig op DP295+50 Grootste verschil tussen WBN en maaiveldhoogte voorland voor dit dijkvak, maatgevend voor STBU

Dijkvak	OP	Opmerking	SF_STBU dagelijks	SF_STBU HW	Afname STBU	SF_STBU dagelijks	SF_STBU VHW	Afname STBU	SF_Opbarsten	R=0,SF	SF_Opbarsten	R=0,SF	SF_Opbarsten	R=0,SF
9d	203		1,58	1,06	0,50	1,11	1,01	1,01	0,11	1,25	1,10	1,15	1,10	1,15
9d	204	DP205 is enige profiel met teensloot en daarmee maatgevend	1,03	0,89	0,14	1,16	1,03	1,03	0,13	1,38	1,29	1,21	1,21	1,21
		Peilbuisraai aanwezig op DP205												
9d	205	Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP205+020	1,23	0,90	0,34	1,10	0,99	0,11	1,29	1,20	1,12	1,12	1,12	1,12
9d	206		1,25	0,98	0,27	1,05	0,94	0,10	1,30	1,22	1,15	1,15	1,15	1,15
9d	207		1,28	0,92	0,37	1,08	0,98	0,14	1,25	1,17	1,10	1,10	1,10	1,10
9c	208		1,46	1,44	0,02	1,03	1,16	1,03	0,08	1,27	1,16	1,16	1,16	1,16
9c	209	Zeer steil binnentalud waarbij direct aan binnenteen een plas aanwezig is. Maatgevend voor STB	0,93	0,86	0,08	1,01	0,93	0,08	1,27	1,10	1,12	1,12	1,12	1,12
9c	210	Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP208+49	1,47	0,96	0,51	1,08	0,94	0,14	1,37	1,29	1,22	1,22	1,22	1,22
9b	211	Lage SF bij maatgevende omstandigheden maar te plaatse van grote afrit en daarmee niet representatief	1,31	0,95	0,36	1,06	0,96	0,10	1,29	1,21	1,14	1,14	1,14	1,14
9b	212	Afrit aan binnenzijde aanwezig, hierdoor niet representatief voor dijkvak	1,28	1,15	0,13	1,18	1,15	0,03	1,29	1,21	1,14	1,14	1,14	1,14
9b	213		1,22	0,94	0,28	1,11	1,02	0,09	1,29	1,21	1,14	1,14	1,14	1,14
9b	214		1,24	1,21	0,03	1,10	1,00	0,10	1,31	1,23	1,16	1,16	1,16	1,16
9b	215		1,38	1,35	0,03	1,48	1,37	0,09	1,38	1,30	1,23	1,23	1,23	1,23
9b	216	DP213 heeft lage SF in bestaande situatie e.g.v. kleinste binnenborm en is niet ter plaatse van afrit	1,46	1,36	0,10	1,05	0,97	0,08	1,38	1,30	1,23	1,23	1,23	1,23
9b	217	Grondonderzoekraai sonderingen aanwezig op DP216+65												
		Peilbuisraai aanwezig op DP214	1,18	1,16	0,03	1,11	1,02	0,09	1,37	1,29	1,22	1,22	1,22	1,22
9a	218		1,31	1,27	0,04	1,09	0,90	0,08	1,39	1,32	1,25	1,25	1,25	1,25
9a	219		1,64	1,50	0,15	1,01	0,99	0,03	1,48	1,41	1,34	1,34	1,34	1,34
9a	220		1,34	1,32	0,03	1,08	0,98	0,03	1,34	1,27	1,20	1,20	1,20	1,20
9a	221		1,38	1,34	0,04	1,09	0,91	0,04	1,35	1,28	1,22	1,22	1,22	1,22
9a	222		1,28	1,23	0,05	1,00	0,92	0,08	1,35	1,28	1,22	1,22	1,22	1,22
9a	223	DP223 heeft kleinste binnenborm maar is maatwerkoplossing nabij boerderij en niet representatief voor gehele Tussen DP224 en DP255 is een teensloot aanwezig. Deze moet in het dwarsprofiel worden geschematiseerd en is daarmee maatgevend.	1,19	0,97	0,23	1,07	0,99	0,08	1,27	1,19	1,13	1,13	1,13	1,13
		Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP224+80												
		Peilbuisraai aanwezig op DP221	1,25	0,91	0,33	1,01	0,93	0,08	1,27	1,19	1,12	1,12	1,12	1,12
9a	224		1,27	0,98	0,29	0,99	0,93	0,06	1,27	1,19	1,12	1,12	1,12	1,12
8	226		1,21	0,96	0,25	1,38	1,15	0,23	1,28	1,21	1,15	1,15	1,15	1,15
8	227	Keuze voor DP227 om dat deze precies in het midden van Werk aan de Groeneweg ligt DP226 ligt hier buiten.												
		Peilbuis aanwezig in achterland op DP228+095	1,40	1,12	0,28	1,26	1,14	0,12	1,27	1,20	1,14	1,14	1,14	1,14
7c	228		1,28	0,92	0,37	1,28	1,11	0,15	1,27	1,20	1,14	1,14	1,14	1,14
7c	229		1,32	1,29	0,03	1,08	1,08	0,00	1,34	1,26	1,19	1,19	1,19	1,19
7c	230		1,32	1,30	0,02	1,20	1,14	0,06	1,31	1,23	1,17	1,17	1,17	1,17
7c	231	DP231 heeft als enige profiel een teensloot op relatief korte afstand												
		Peilbuis in aanwezigte tussenzandlaag op DP229	1,36	1,32	0,03	1,20	1,05	0,14	1,42	1,34	1,27	1,27	1,27	1,27
7b	232		1,40	1,49	0,09	1,10	1,24	0,14	1,37	1,29	1,21	1,21	1,21	1,21
7b	233		1,41	1,25	0,16	1,32	1,17	0,15	1,38	1,28	1,22	1,22	1,22	1,22
7b	234	Lage SF + kans op opbarsten	1,28	0,82	0,43	1,18	1,06	0,10	1,23	1,16	1,09	1,09	1,09	1,09
7b	235	DP235 heeft als enig profiel een teensloot op relatief korte afstand												
		Peilbuisraai aanwezig op DP235	1,28	0,75	0,50	1,19	1,12	0,07	1,27	1,19	1,12	1,12	1,12	1,12
7b	236		1,28	0,74	0,54	1,17	1,06	0,11	1,24	1,17	1,10	1,10	1,10	1,10
7b	237		1,32	1,30	0,03	1,23	1,23	0,00	1,29	1,21	1,14	1,14	1,14	1,14
7b	238		1,31	1,03	0,27	1,10	1,10	0,11	1,31	1,24	1,18	1,18	1,18	1,18
7b	239		1,37	1,31	0,05	1,16	1,04	0,12	1,33	1,26	1,19	1,19	1,19	1,19
7b	240		1,23	1,05	0,18	1,17	1,05	0,11	1,41	1,33	1,25	1,25	1,25	1,25
7a	241		1,43	1,43	0,00	1,32	1,18	0,14	1,39	1,30	1,22	1,22	1,22	1,22
7a	242	DP242 heeft als enige profiel een teensloot op relatief korte afstand												
		Peilbuisraai aanwezig op DP243	1,43	1,25	0,18	1,34	1,21	0,13	1,44	1,35	1,27	1,27	1,27	1,27
7a	243		1,37	1,02	0,35	1,03	0,96	0,07	1,34	1,25	1,18	1,18	1,18	1,18
7a	244		1,57	1,46	0,11	1,19	1,06	0,14	1,39	1,31	1,23	1,23	1,23	1,23
5a	245	DP245 is een maatwerkoplossing bij een boerderij en daarom niet representatief voor dijkvak	1,45	0,85	0,60	1,05	0,93	0,02	1,37	1,17	1,10	1,10	1,10	1,10
5b	246		1,46	1,46	0,01	1,06	0,94	0,01	1,37	1,18	1,03	1,03	1,03	1,03
5b	247	Afrit aan binnenzijde aanwezig, hierdoor niet representatief voor dijkvak	1,52	1,51	0,01	1,05	1,16	-0,11	1,40	1,22	1,09	1,09	1,09	1,09
		Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP246												
		HPT onderzoek aanwezig op DP249												
		Peilbuisraai aanwezig op DP248												
5b	248	Teensloot aanwezig buitenzijde en laag voorland (maatgevend STBU)	1,57	1,55	0,01	0,98	1,00	-0,04	1,40	1,22	1,09	1,09	1,09	1,09
5b	249	Afrit aan binnenzijde aanwezig, hierdoor niet representatief voor dijkvak	1,54	1,45	0,09	0,97	0,99	-0,02	1,37	1,18	1,03	1,03	1,03	1,03
5b	250	Afrit aan binnenzijde aanwezig, hierdoor niet representatief voor dijkvak	1,87	1,78	0,09	1,23	1,21	0,03	1,37	1,18	1,03	1,03	1,03	1,03
5a	251		1,82	1,70	0,12	1,17	1,09	0,08	1,28	1,09	0,94	0,94	0,94	0,94
5a	252	DP252 heeft een steil binnentalud maar is maatwerkoplossing i.v.m. woningen niet representatief voor dijkvak	1,43	1,36	0,07	1,17	1,08	0,09	1,61	1,28	1,06	1,06	1,06	1,06
		Profiel tussen DP253 en DP254 is maatgevend i.v.m. kleinste binnenborm (DP253 en DP254 niet i.v.m. afrit binnenzijde)												
		HPT onderzoek is in de buurt												
		Peilbuisraai aanwezig op DP256	1,85	1,74	0,11	1,13	1,04	0,09	1,62	1,29	1,07	1,07	1,07	1,07
4c	254	DP255 heeft kleinste en laagste binnenborm	2,12	1,99	0,13	1,15	1,07	0,08	1,64	1,32	1,11	1,11	1,11	1,11
		Peilbuisraai aanwezig op DP256												
4c	255	Weinig grondonderzoek aanwezig in directe omgeving van DP255	1,97	1,77	0,20	1,18	1,09	0,09	1,63	1,36	1,16	1,16	1,16	1,16
4c	256		2,08	1,93	0,15	1,17	1,09	0,08	1,61	1,25	1,02	1,02	1,02	1,02
4c	257		2,07	1,87	0,20	1,17	1,10	0,06	1,61	1,25	1,02	1,02	1,02	1,02
4b	258		1,96	1,80	0,17	1,21	1,11	0,10	1,60	1,52	1,44	1,44	1,44	1,44
4b	259		1,93	1,77	0,16	1,19	1,16	0,04	1,58	1,50	1,42	1,42	1,42	1,42
		Profiel 260 heeft een tussenzandlaag die mogelijk watervoerende is												
		Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP260+50												
		Peilbuisraai aanwezig op DP256	1,81	1,70	0,10	1,27	1,14	0,13	1,52	1,44	1,36	1,36	1,36	1,36
4b	261		1,67	1,59	0,08	1,30	1,18	0,14	1,52	1,43	1,35	1,35	1,35	1,35
4b	262		1,48	1,34	0,13	1,10	1,52	0,18	1,52	1,43	1,35	1,35	1,35	1,35
4a	263		1,43	1,28	0,16	1,08	1,47	0,22	1,53	1,42	1,33	1,33	1,33	1,33
4a	264		1,50	1,43	0,07	1,05	1,11	0,14	1,52	1,41	1,32	1,32	1,32	1,32
		Laagste SF STBU												
		DP265 heeft kleinste en laagste binnenborm												
		Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP265												
4a	265		1,76	1,13	0,63	1,31	1,13	0,17	1,47	1,38	1,30	1,30	1,30	
4a	266		1,55	1,38	0,17	1,47	1,22	0,25	1,48	1,37	1,30	1,30	1,30	
		Laagste SF STBU door laagste maalveeliveau achterland												
		Grondonderzoekraai sonderingen en boringen aanwezig op DP267												
3e	267		1,90	1,16	0,73	1,40	1,16	0,25	1,48	1,37	1,30	1,30	1,30	
3e														

D Gedraineerde grondparameters klei

Ter aanvulling op de technische uitgangspuntennotitie[5] zijn de gedraineerde grondparameters voor klei afgeleid. Deze grondeigenschappen worden toegekend aan de onverzadigde kleilagen boven het freatische vlak. De hoek van inwendige wrijving bij de critical state (25% rek) en cohesie zijn bepaald conform de schematiseringshandeling macrostabiliteit[16], zie figuur 6-2. Er onderscheid gemaakt tussen 3 verschillende kleisoorten [5]: klei antropogeen, klei licht en klei zwaar. Voor het berekenen van de karakteristieke waarde is conform "Project Overstijgende Verkenning Macrostabiliteit, Actuele sterkte" [17] een lognormale verdeling aangehouden. Volgens deze methodiek moet de standaardafwijking van de logwaarde worden gecorrigeerd voor het middelen van het lokale deel van de ruimtelijke variatie en voor de beperkte hoeveelheid datapunten.



Figuur 6-2: s' - t grafiek klei op basis van data uit de triaxiaalproeven

In figuur 6-2 is de halve deviatorspanning t (de helft van het verschil tussen de grootste en kleinste hoofdspansing $((\sigma'_1 - \sigma'_3) / 2)$) uit de triaxiaalproeven uitgezet tegen het gemiddelde van de hoofdspansingen s' $((\sigma'_1 + \sigma'_3) / 2)$. Daarnaast is een lineaire lijn getrokken op basis van de berekende karakteristieke hoek van inwendige wrijving. Deze lijn gaat door de oorsprong van de grafiek. Dat wil zeggen er is geen sprake van cohesie ($c = 0$ kPa).

De gemiddelde (μ) en karakteristieke waarden van de hoek inwendige wrijving zijn per kleisoort opgenomen in tabel 6-4. Daarnaast zijn in de tabel het aantal proeven (n) en de gecorrigeerde standaardafwijking opgenomen (σ).

Tabel 6-4: Karakteristieke waarde gedraineerde kleiparameters CUB

Grondsoort	μ	n	σ	kar5%
Klei antropogeen	32,5	17	1,6	29,95
Klei licht ($\leq 17,5$ kN/m ³)	39,8	16	3,9	33,5
Klei zwaar ($> 17,5$ kN/m ³)	34,2	13	2,4	30,2

E Rapportage bepaling POP-waarden CUB

Bepaling POP-waarden CUB

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

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

STERKE LEKDIJK

Culemborgseveer - Beatrixsluis

Titel	Bepaling POP-waarden CUB
Kenmerk	SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-139
Versie	Definitief
Datum	23-07-2020
Projectnaam	Dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluizen
Projectnummer	BF5981

Opgesteld door:

G.J. van Boven

Datum

23-07-2020

Handtekening



Gecontroleerd door

J. Hockx

Datum

23-07-2020

Handtekening



Vrijgegeven door:

E. Arnold

Datum

23-07-2020

Handtekening



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Door de belastingsgeschiedenis van een grondlaag mee te nemen in een stabiliteitsberekening wordt een hogere taludstabiliteit verkregen. In D-GEO Suite Stability wordt dit gedaan door per grondlaag een state parameter in te vullen. Dit kan door het invoeren van een “Yield stress”, “OCR (Over-consolidation ratio)” of “POP (Pre-overburden pressure)”. In deze rapportage is beschreven welke POP voor het dijkversterkingsproject CUB (Culemborgse Veer – Beatrixsluizen) dient te worden gehanteerd. Om tot een goede ontwerpwaarde te komen is een vergelijking gemaakt tussen de defaultwaarden uit de schematiseringshandleiding macrostabiliteit, de relatie met sondeerweerstand voor 1 dijkvak en de beschikbare laboratoriumonderzoeken.

1.2 Doel

Deze rapportage heeft de volgende doelen:

- Afleiden van een POP-waarde voor elke relevante grondlaag;
- Geven van een onderbouwing van deze afleiding en de daarbij genomen keuzes vastleggen.

1.3 Beschikbare bronnen

- [1] Technische uitgangspuntennotitie, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, november 2019, Referentie: BF5981-SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0019;
- [2] Schematiseringshandleiding macrostabiliteit,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016
- [3] Grondonderzoek Sterke Lekdijk Culemborgse Veer -Beatrixsluis (CUB),” Wiertsema-Inpijn-Blokpoel V.O.F., Referentie 02p011039-03, 19 juli 2019.

2 Bepaling POP-waarde

Voor het bepalen van de grensspanning waaruit vervolgens de POP-waarde kan worden bepaald bestaan meerdere mogelijkheden:

- Gebruik maken van de defaultwaarde van de POP voor de betreffende grondlaag. Deze staan vermeld in de schematiseringshandleiding macrostabiliteit **Error! Reference source not found.**;
- Afleiden uit sonderingen. Hierbij wordt eerst de ongedraineerde schuifsterkte afgeleid uit de sondeerweerstand met behulp van de N_{kt} factor om vervolgens de POP en grensspanning af te leiden uit de ongedraineerde schuifsterkte;
- Bepaling via laboratoriumonderzoek door middel van CRS (constant rate of strain) of samendrukkingsproeven.

2.1.1 Default waarde schematiseringshandleiding

Specifiek voor CUB zijn conform de SHM [2] de volgende waarden voor de POP bekend.

Tabel 1 POP-waarde per grondsoort conform schematiseringshandleiding macrostabiliteit [2]

Grondsoort in de proevenverzameling CUB	Afzetting/ grondsoort in de schematiserings-handleiding	Bandbreedte POP [kPa]	Verwachtings-waarde POP [kPa]	Karakteristieke waarde POP [kPa]
Klei licht boven veen	Echteld klei ondiep	5-65	27	15
Klei licht onder veen	Echteld klei diep	0-75	24	8
Klei zwaar	Echteld klei ondiep	5-65	27	15
Veen	Hollandveen	0-60	11	1

2.1.2 Afleiding uit sonderingen

Binnen het deelproject CUB zijn 4 raaien met mechanische boringen uitgevoerd waarbij samendrukkings- en sterkteproeven zijn uitgevoerd. Het betreft de raaien nabij de dijkpalen 206, 235, 263 en 282. Gekozen is om de POP-waarde uit te werken voor dijkpaal 235. Deze doorsnede is gelegen in dijkvak 7b. Dijkvak 7b loopt van dijkpaal DP232+60 tot dijkpaal DP240+20 (circa 750 m).

Afleiding van POP per sondering

Om per sondering een POP-waarde per laag te bepalen dient eerst de N_{kt} factor voor de betreffende grondlagen te worden afgeleid. Op basis van de proefvelden binnen het projectgebied zijn N_{kt} factoren afgeleid voor CUB. Deze afleiding is opgenomen in de Technische uitgangspuntennotitie [1]. Voor Klei licht onder veen zijn geen N_{kt} factoren afgeleid omdat hier geen monstermateriaal van beschikbaar is. Hier zijn de waarden conform schematiseringshandleiding macrostabiliteit [2] aangehouden.

De volgende N_{kt} factoren zijn gebruikt:

- Klei zwaar 14,3 [1]
- Klei licht boven veen 15,1 [1]
- Veen 19,8 [1]
- Klei licht onder veen 20 [2]

Op basis van deze N_{kt} factor is voor 16 sonderingen in het dijkvak 7b de POP-waarde uitgerekend. Hierbij is onderstaande werkwijze aangehouden.

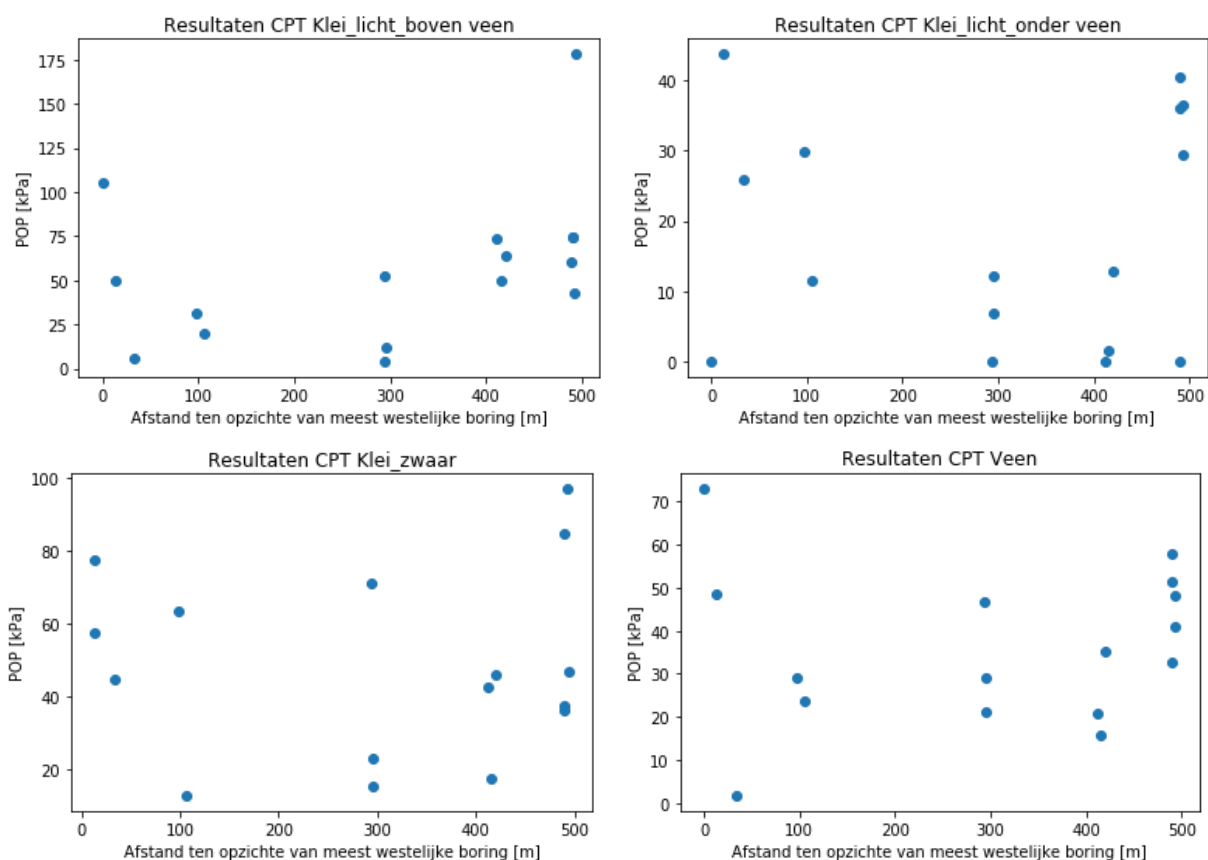
Bij een minimale sondeerafstand van 50 meter, en sterk gecorreleerde sondeerwaarden tussen twee sonderingen, is de slechtste sondering representatief voor de aanwezig sterkte over de breedte van een potentieel afschuifvlak. De volgende stappen worden doorlopen om de ongedraineerde schuifsterkte, POP, OCR en grensspanning voor een grondlaag af te leiden uit één sondering:

- 1) Corigeren van de gemeten sondeerweerstand voor waterspanning en totaalspanning;
- 2) Berekenen van de ongedraineerde schuifsterkte uit de gecorrigeerde sondeerweerstand;
- 3) Schematiseren van laagscheidingen en lineariseren van de schuifsterkte over de laagdikte;
- 4) Berekenen van de karakteristieke waarde van de ongedraineerde schuifsterkte $S_{u,i}$;
- 5) Berekenen van de verwachtingswaarde en karakteristieke waarde van de OCR, grensspanning en POP.

De uitgewerkte resultaten per sondering voor dijkvak 7b zijn opgenomen in bijlage A. De resultaten alsook de statistische bepaling zijn opgenomen in bijlage B.

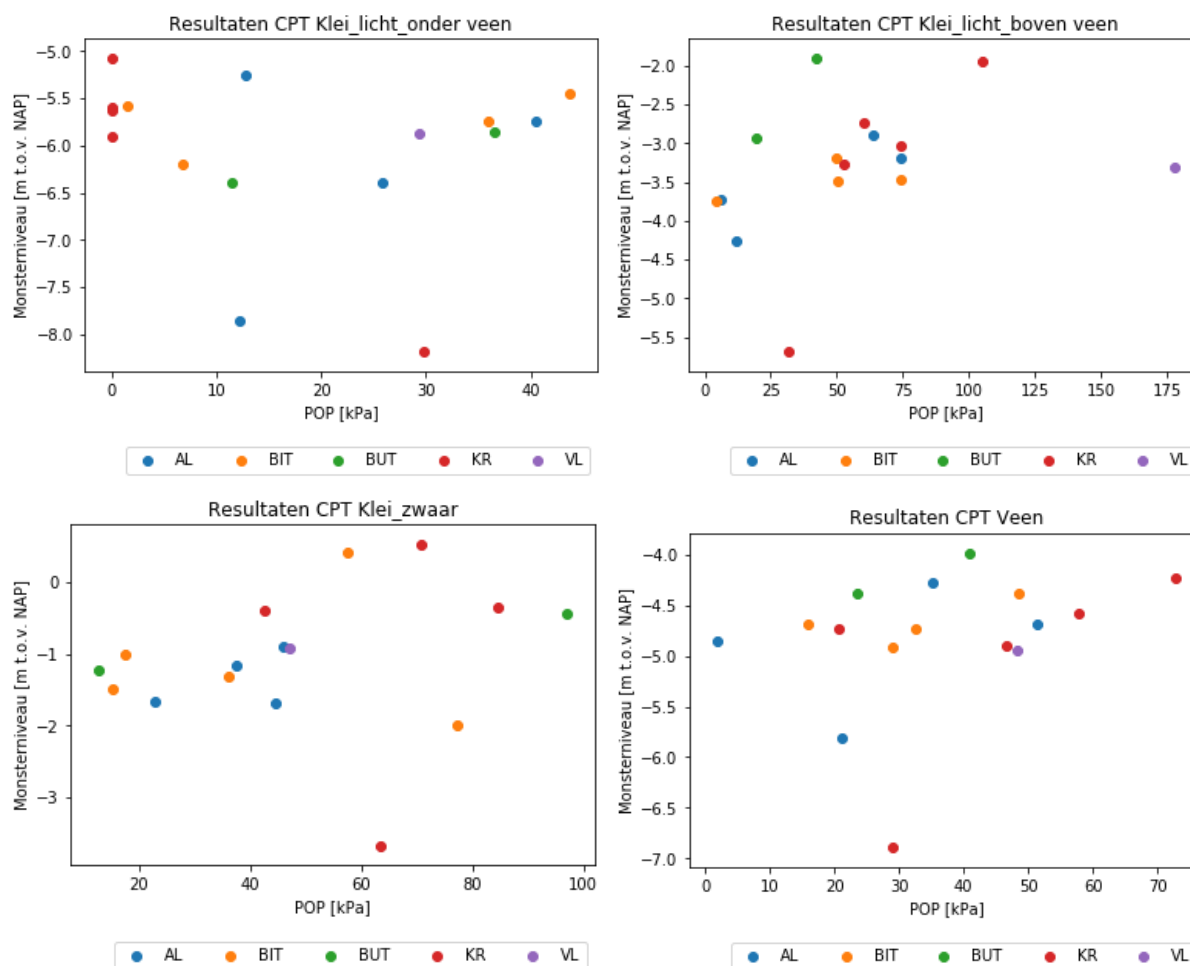
Analyse

Om inzicht te krijgen in de spreiding van de resultaten per locatie zijn de berekende POP-waarden afgezet ten opzichte van de afstand van de meest westelijk gelegen sondering (DP263+001_B_KR). In onderstaande grafieken zijn de resultaten hiervan geplott.



Figuur 2.1: Spreiding van de uitgewerkte POP-waarden afgeleid uit sonderingen in dijkvak 7b ten opzichte van de meest oostelijke boring

Daarnaast is ook nog per locatie in het dwarsprofiel van de sondering gekeken of dit mogelijk leidt tot clustering van resultaten. In onderstaande grafieken zijn hiervan de resultaten geplot.



Figuur 2.2: Spreiding van de uitgewerkte POP-waarden afgeleid uit sonderingen in dijkvak 7b op basis van diepte in ligging in het dwarsprofiel

Resultaat

In figuur 2.1 is gekeken naar de ruimtelijke spreiding over dijkvak 7b door de locaties en de berekende POP waarden tegen elkaar uit te zetten. Er is geen duidelijk verschil zichtbaar tussen grondsoorten in het oostelijk deel of het westelijk deel van het dijkvak. Ook is er een relatief grote spreiding zichtbaar in de resultaten. Geconcludeerd is dat er geen ruimtelijke trend aanwezig is parallel aan de waterkering.

In figuur 2.2 is gekeken naar de ruimtelijke spreiding ten opzichte van de ligging in het dwarsprofiel. Wederom wordt een grote spreiding gevonden en kan er geen clustering worden waargenomen tussen proeven onder of naast de waterkering. Geconcludeerd is dat er geen ruimtelijke trend aanwezig is haaks op de waterkering.

In onderstaande tabel staan de resultaten van de statistische bewerking van de berekende POP-waarden.

Tabel 2 POP-waarde op basis van sonderingen in dijkvak 7b

Grondsoort	Aantal [-]	Gemiddelde [kPa]	Standaardafwijking [kPa]	Laagkarakteristieke waarde [kPa]
Klei_zwaar	15*1	47,73	26,06	21,60
Klei_licht_boven_veen	16	56,18	42,97	14,39
Veen	16	35,98	17,92	12,65
Klei_licht_onder_veen	16	17,90	16,26	6,67

In sondering s240+000_DKMP2_KR is geen klei_zwaar aangetroffen.

Gevoeligheid voor inschatting waterspanningen en laagscheidingen

Tijdens uitwerking van bovenstaande analyse is duidelijk geworden dat de berekende POP-waarden gevoelig zijn voor een juiste inschatting van de laagscheidingen en waterspanningen. Met name de laagscheiding tussen klei dijksmateriaal, klei zwaar en klei zwaar en klei licht boven veen is soms lastig vast te stellen. Ook de ligging van de grondwaterstand is moeilijk af te schatten. Opgemeten grondwaterstanden ten tijde van de sonderingen komen niet overeen met de te handhaven polderpeilen of naburig gelegen peilbuismetingen.

Conclusies

Op basis van bovenstaande uitwerking zijn de volgende conclusies op te maken:

- Er is geen ruimtelijke trend zichtbaar in de uitgewerkte sondeerresultaten van dijkvak 7b;
- De spreiding van de resultaten van de uitwerkte sonderingen is groot. Hierdoor wordt een statistisch lage waarde voor de POP verkregen.
- Er kan geen onderscheid gemaakt worden in een POP onder of naast de dijk.
- Uitwerking van de CPT is erg gevoelig voor inschatting waterspanningen en laagscheidingen.

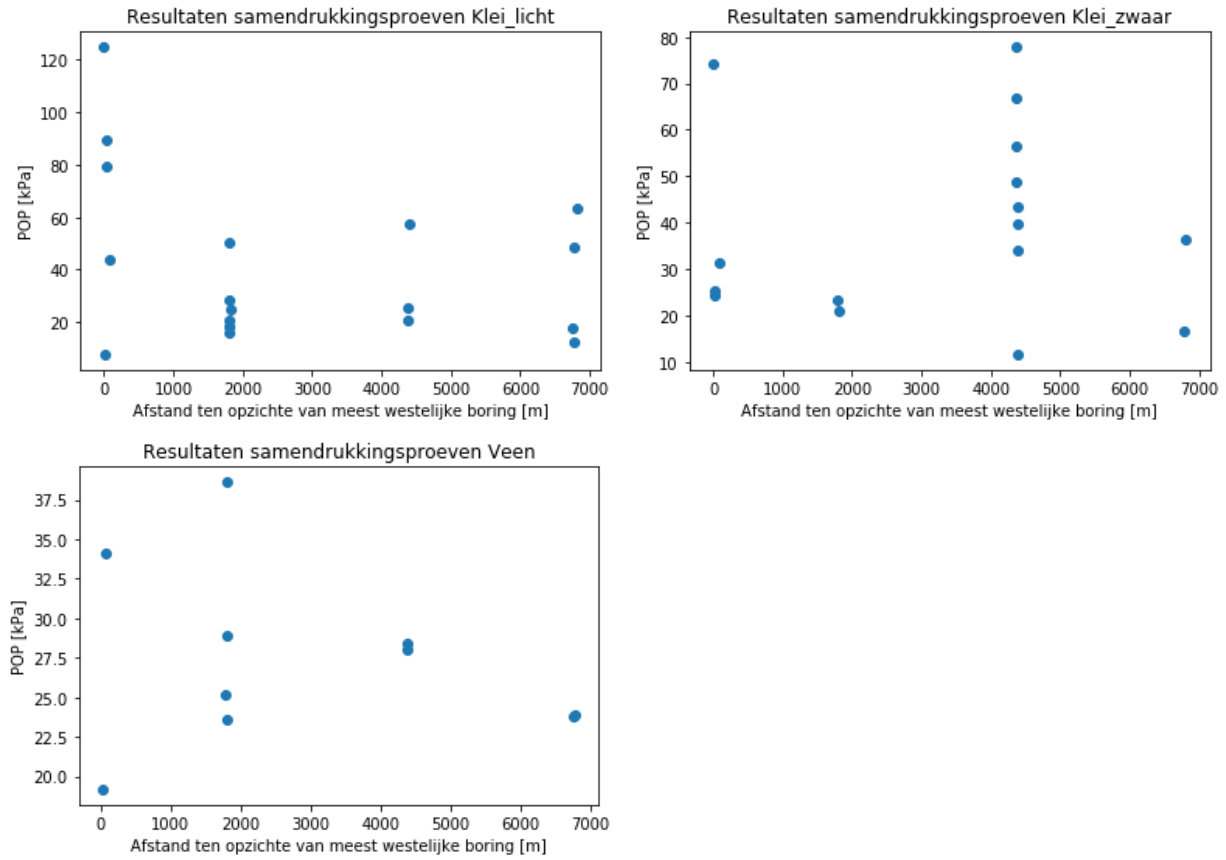
2.1.3 Laboratoriumproeven

In deze paragraaf zijn de resultaten van de samendrukkingsproeven op de verschillende grondlagen weergegeven. Aan de hand van deze resultaten is per grondsoort een karakteristieke waarde voor de POP en de OCR afgeleid.

Op basis van de diepteligging van de veenlagen en de monsterdiepte van de samendrukkingsproeven is geconcludeerd dat er geen proeven op klei onder veen zijn uitgevoerd. Daarom wordt voor klei onder veen in de uitwerking van de laboratoriumproeven de standaardwaarde uit de schematiseringshandleiding van 8 kPa aangehouden.

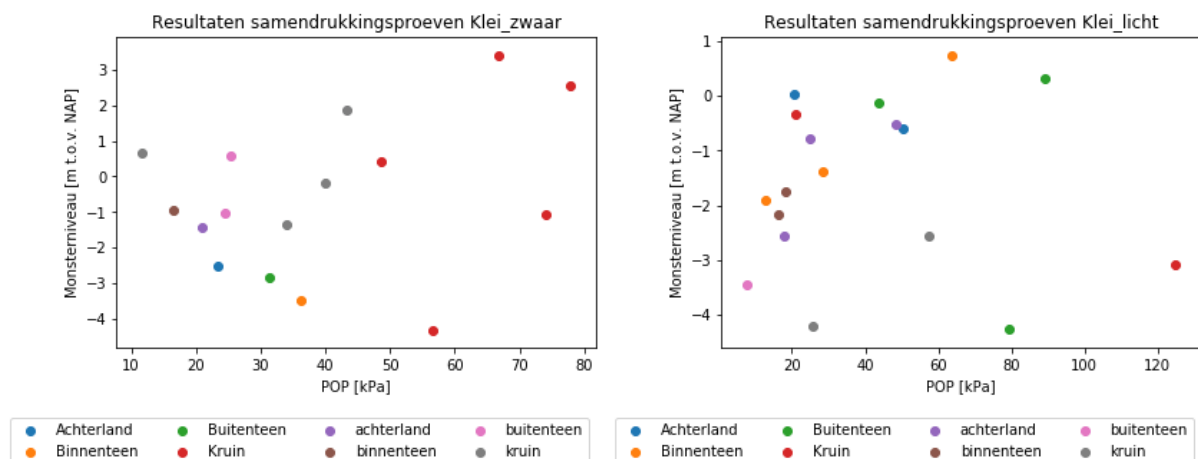
Analyse

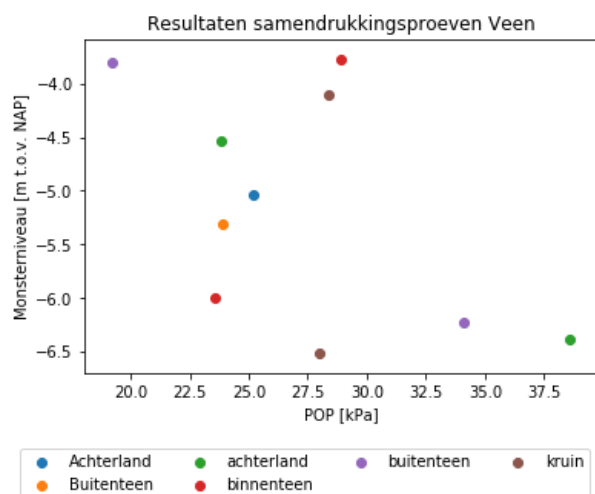
Om inzicht te krijgen in de spreiding van de resultaten per locatie zijn de berekende POP-waarden afgezet ten opzichte van de afstand van de meest westelijk gelegen sondering. In onderstaande grafieken zijn de resultaten hiervan geplot. De resultaten van de proeven zijn samengevat in bijlage C.



Figuur 2.3: Spreiding van de uitgewerkte POP-waarden door middel van laboratoriumonderzoek in dijkvak 7b ten opzichte van de meest oostelijke boring

Daarnaast is ook nog per locatie in het dwarsprofiel van de boring gekeken of dit mogelijk leidt tot clustering van resultaten. In onderstaande grafieken zijn hiervan de resultaten geplott.





Figuur 2.4: Spreiding van de uitgewerkte POP-waarden door middel van laboratoriumonderzoek in dijkvak 7b op basis van diepte in ligging in het dwarsprofiel

Resultaat

In figuur 2.3 is gekeken naar de ruimtelijke spreiding van de laboratoriumresultaten over het gehele dijktraject door de locaties en de berekende POP waarden tegen elkaar uit te zetten. Er is geen duidelijk verschil zichtbaar tussen grondsoorten in het oostelijk deel of het westelijk deel van het projectgebied. Ook is er een relatief grote spreiding zichtbaar in de resultaten. Geconcludeerd is dat er geen ruimtelijke trend aanwezig is parallel aan de waterkering.

In figuur 2.4 is gekeken naar de ruimtelijke spreiding ten opzichte van de ligging in het dwarsprofiel. Wederom wordt een grote spreiding gevonden en kan er geen clustering worden waargenomen tussen proeven onder of naast de waterkering. Geconcludeerd is dat er geen ruimtelijke trend aanwezig is haaks op de waterkering.

Voor de beschikbare proeven ter plaatse van de kruin is beoordeeld of er een onderscheid is te maken tussen dijksmateriaal en klei_zwaar. Dit onderscheid is niet eenduidig vast te stellen op basis van de beschikbare sonderingen. Wel blijkt uit figuur 2.4 dat de drie beschikbare proeven die boven ca. NAP +1,0 m tot +2,0 m liggen en daarmee tot het dijksmateriaal kunnen worden gerekend hoge POP waarden (> 43 kPa) hebben. Omdat dit echter maar drie proeven betreft, is besloten om voor het dijksmateriaal geen aparte grondsoort te definiëren maar samen te nemen met klei_zwaar. Dit betekent dat voor het dijksmateriaal en klei_zwaar dezelfde POP waarde wordt gehanteerd. Dit is een conservatief uitgangspunt omdat voor de beschikbare proeven boven ca. NAP +1,0 m tot +2,0 m relatief hoge POP waarden worden gevonden.

In onderstaande tabel staan de resultaten van de statistische bewerken van de berekende POP-waarden.

Tabel 3 POP-waarde op basis van laboratoriumproeven

Grondsoort	Aantal [-]	Gemiddelde POP [kPa]	Standaardafwijking POP [kPa]	Laagkarakteristieke waarde POP [kPa]
Dijkmateriaal Klei_zwaar	16	39,45	20,37	20,29
Klei_licht	18	41,68	31,41	15,73
Veen	10	27,37	5,64	21,63

In onderstaande tabel staan de resultaten van de statistische bewerken van de berekende OCR waarden.

Tabel 4 OCR-waarde op basis van laboratoriumproeven

Grondsoort	Aantal [-]	Gemiddelde OCR [-]	Standaardafwijking OCR [kPa]	Laagkarakteristieke waarde OCR [kPa]
Dijkmateriaal Klei_zwaar	16	1,55	0,28	1,28
Klei_licht	18	1,84	0,51	1,34
Veen	10	1,37	0,14	1,52

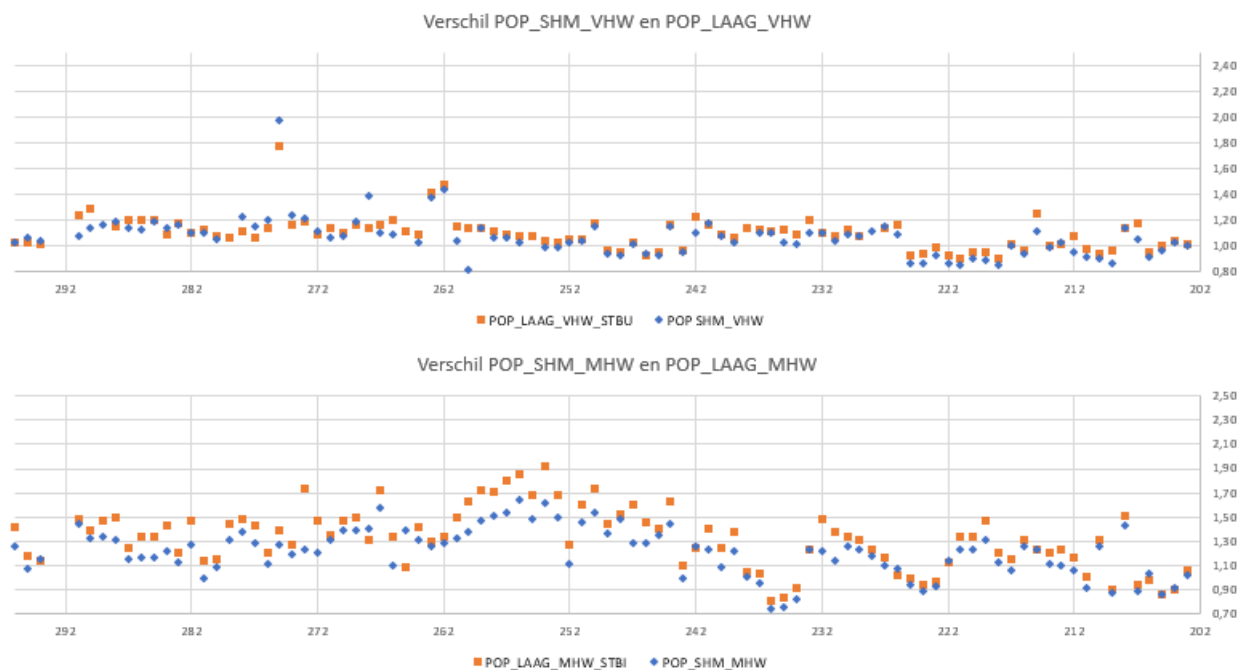
2.2 Gevoeligheidsanalyse

Defaultwaarden POP vs Laboratoriumwaarden POP

Om een indruk te krijgen van de potentiële impact van de afgeleide karakteristieke POP-waarden op de berekende stabiliteitsfactoren is een vergelijk gemaakt tussen de defaultwaarden uit de schematiseringshandleiding en de berekende POP-waarden uit het laboratoriumonderzoek. Opgemerkt dient te worden dat het hier gaat om een relatieve analyse en niet om een veiligheidsoordeel.

Door middel van automatisch rekenen zijn op basis van de AHN, het geotechnisch lengteprofiel en de kenmerkende dijkgeometrie lijnen (kruin- en teenlijnen) per dijkpaal profielen gegenereerd voor het programma D-GEO Suite Stability. De profielen zijn gevuld met de hydraulische randvoorwaarden en sterkteparameters voor de verschillende grondsoorten conform de technisch uitgangspuntennotitie. Per profiel is vervolgens de stabiliteitsfactor voor het scenario val na hoogwater (buitenwaarts) en maatgevend hoogwater (binnenwaarts) berekend.

In onderstaande grafieken zijn de resultaten geplot van deze analyse. Op de horizontale as staan de dijkpalen vermeld en op de verticale as de verkregen stabiliteitsfactor.



Figuur 2.5: Vergelijking stabiliteitsfactoren per dijkpaal met een POP uit de schematiseringshandleiding en de laboratoriumproeven

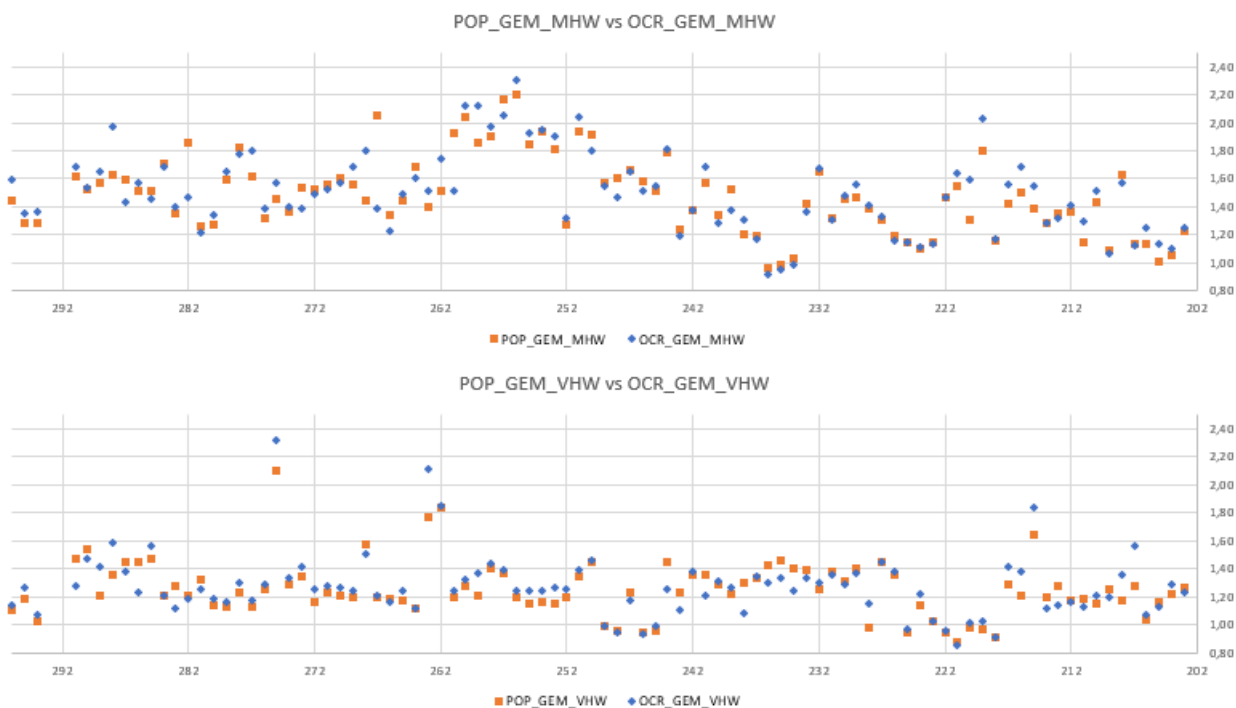
Wat opvalt is dat de verschillen tussen de berekende stabiliteitsfactoren binnenwaarts groter zijn dan de verschillen buitenwaarts. Dit is te verklaren doordat de glijcirkels in het buitenwaartse scenario grotendeels door het dijksmateriaal heengaan. In deze analyse is geen POP waarde toegekend aan antropogeen materiaal.

Het hanteren van een POP op basis van de laboratoriumproeven ten opzichte van de laagkarakteristieke ondergrenswaarden uit de schematiseringshandleiding macrostabiliteit resulteert in een gemiddelde verhoging van de stabiliteitsfactor van 0,10.

2.3 Gevoeligheidsanalyse POP vs OCR

POP-waarde vs ORC-waarde

Naar een vergelijking tussen het laboratoriumonderzoek en de defaultwaarden is ook gekeken naar de invloed van de POP versus de OCR. Op basis van het laboratoriumonderzoek zijn de gemiddelden van beide waarden afgeleid en toegekend aan de overeenkomstige grondlagen in de automatisch gegenereerde profielen. In onderstaande grafiek zijn de resultaten van deze beoordeling weergegeven. Op de horizontale as zijn de dijkpalen langs het traject uitgezet en op de verticale as verkregen stabiliteitsfactoren.



Figuur 2.6: Vergelijking stabiliteitsfactoren per dijkspaal met een POP en OCR uit de laboratoriumproeven

Wat opvalt is dat er niet veel verschil zit tussen de resultaten. Toepassing van de OCR leidt bij enkele profielen tot een toename of afname van de stabiliteit ten opzichte van de POP. Op basis van de verschillen per profiel wordt door het rekenen met de OCR een toename van 0,02 op de stabiliteitsfactor verkregen over het gehele traject. Dit wordt gezien de gevoeligheden in deze analyse als niet significant beschouwd.

3 Conclusies

In voorliggende rapportage is onderzocht op welke wijze de POP-waarde voor het deeltraject CUB kan worden afgeleid voor toepassing in de aanscherping van de veiligheidsanalyse en het vervolg van de verkenningsfase. De POP-waarden in deze analyse zijn gebaseerd op uitwerking van het laboratoriumonderzoek en door afleiding uit sonderingen binnen dijkvak 7b door middel van N_{KT} factoren.

Op basis van de uitgevoerde analyses kan het volgende worden geconcludeerd:

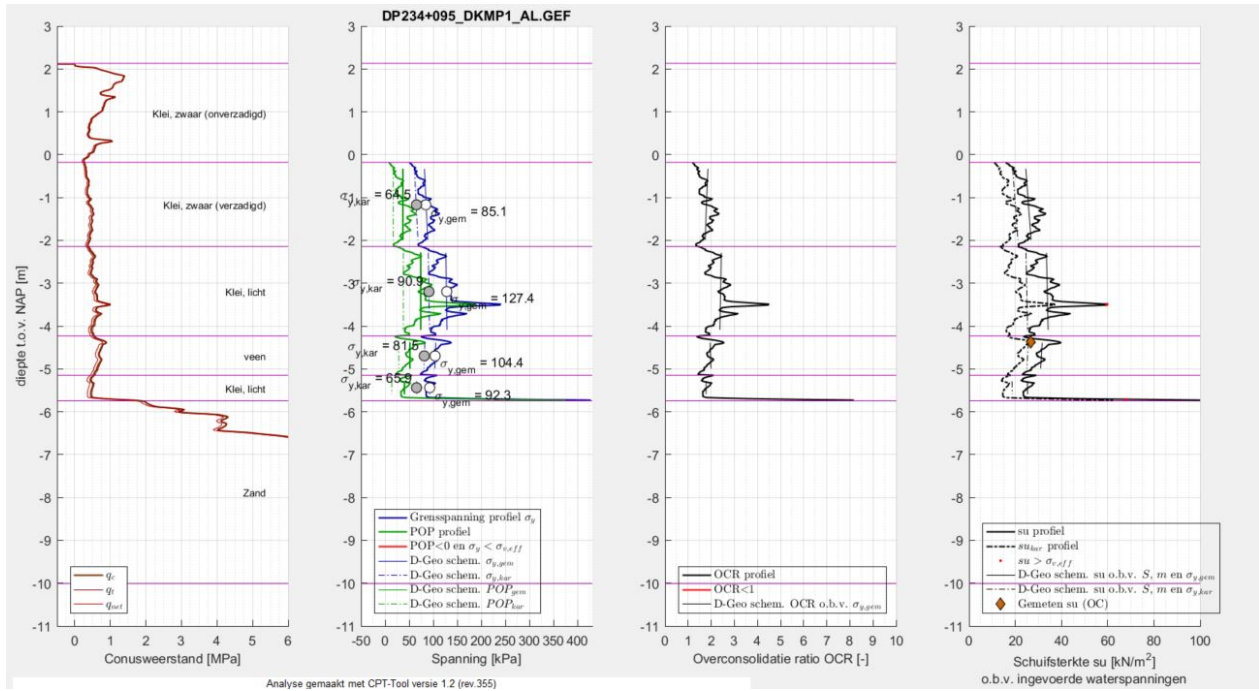
- Er is geen regionale trend te herkennen in de POP-waarde die volgt uit de laboratoriumuitwerking.
- Er is geen regionale trend te herkennen in de POP-waarde die volgt uit de beschouwde sonderingen via N_{KT} -factoren.
- Spreiding van de resultaten uit de laboratoriumuitwerking is groot. Aan de hand van deze resultaten wordt ook een N_{kt} factor bepaald voor het gehele traject. Dit effect werkt door in de uitwerking van de individuele sonderingen.
- Er is geen duidelijk onderscheid te maken tussen dijksmateriaal en klei_zwaar. Daarom worden deze grondsoorten samen genomen bij het bepalen van de POP-waarde.

Gezien bovenstaande punten is geconcludeerd dat voor het aanscherpen van de veiligheidsanalyse het beste gerekend kan worden met de laag karakteristieke POP-waarde uit het laboratoriumonderzoek. Dit houdt wel in dat voor klei licht onder het veen de waarde uit de schematiseringshandleiding moet worden aangehouden. Verwacht wordt niet dat de onderkant van de afschuifvlakken zo diep ligt dat deze laag significantie invloed heeft op de stabiliteit van de laag en daarom is dit een verantwoorde keuze. In onderstaande tabel zijn deze waarden per grondsoort weergegeven. De waarden zijn afgerond op hele getallen.

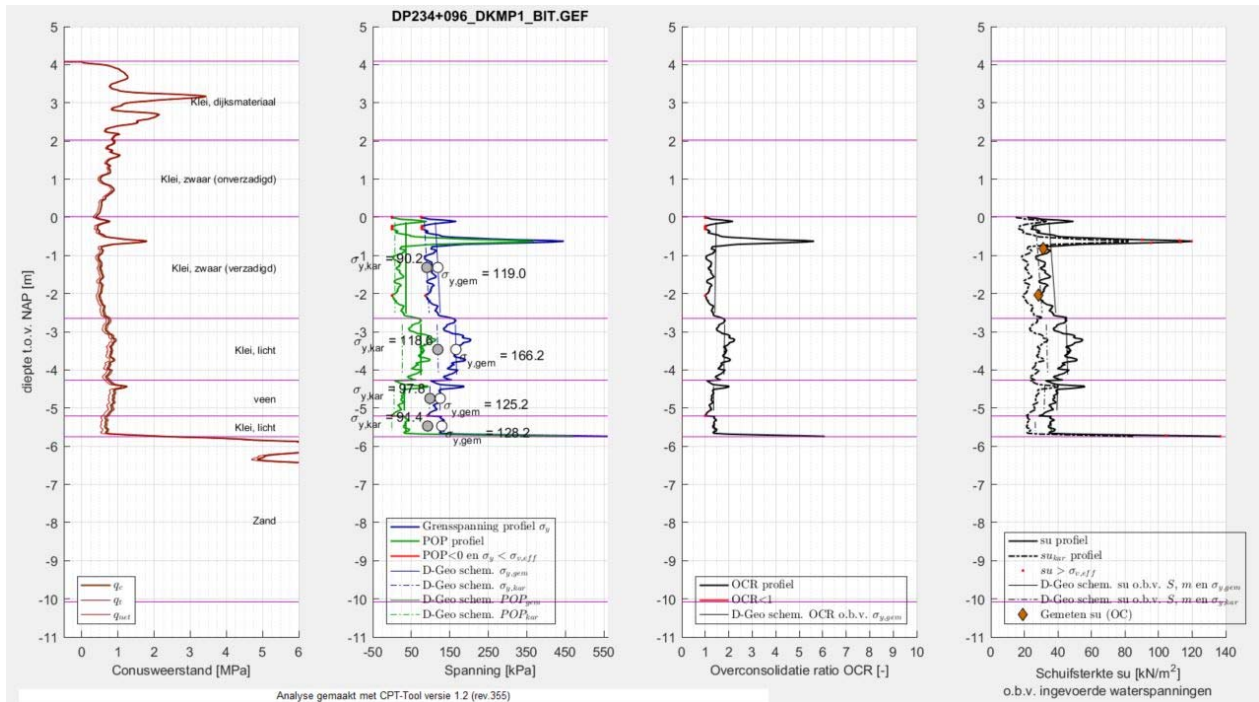
Tabel 5 Laag karakteristieke POP-waarde voor de stabiliteitsanalyses

Grondsoort	Aantal	Gemiddelde POP [kPa]	Standaard afwijking POP [kPa]	Laagkarakteristieke waarde POP [kPa]	Op basis van
Dijksmateriaal Klei_zwaar	16	39	20	20	Labproeven
Klei_licht	18	42	31	15	Labproeven
Veen	10	27	6	21	Labproeven
Klei_licht_onder_veen				8	Schematiserings handleiding (Echteld klei diep)

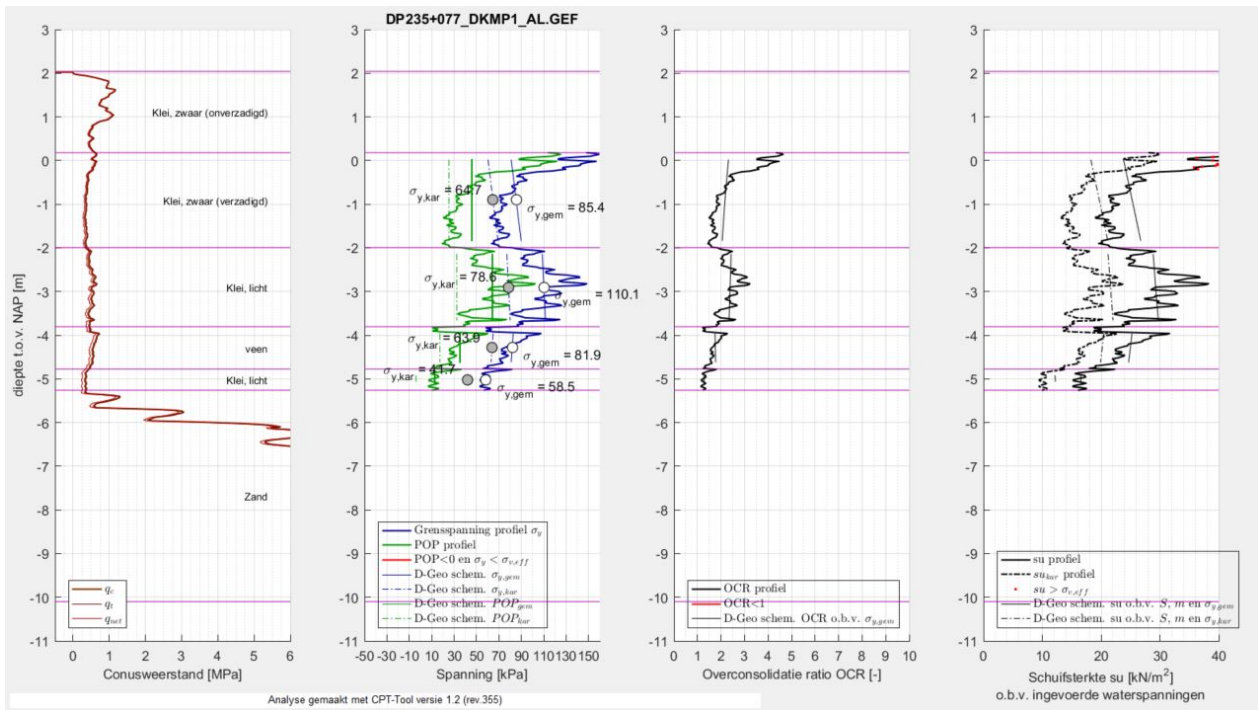
Bijlage A: Uitwerking sonderingen dijkvak 7b



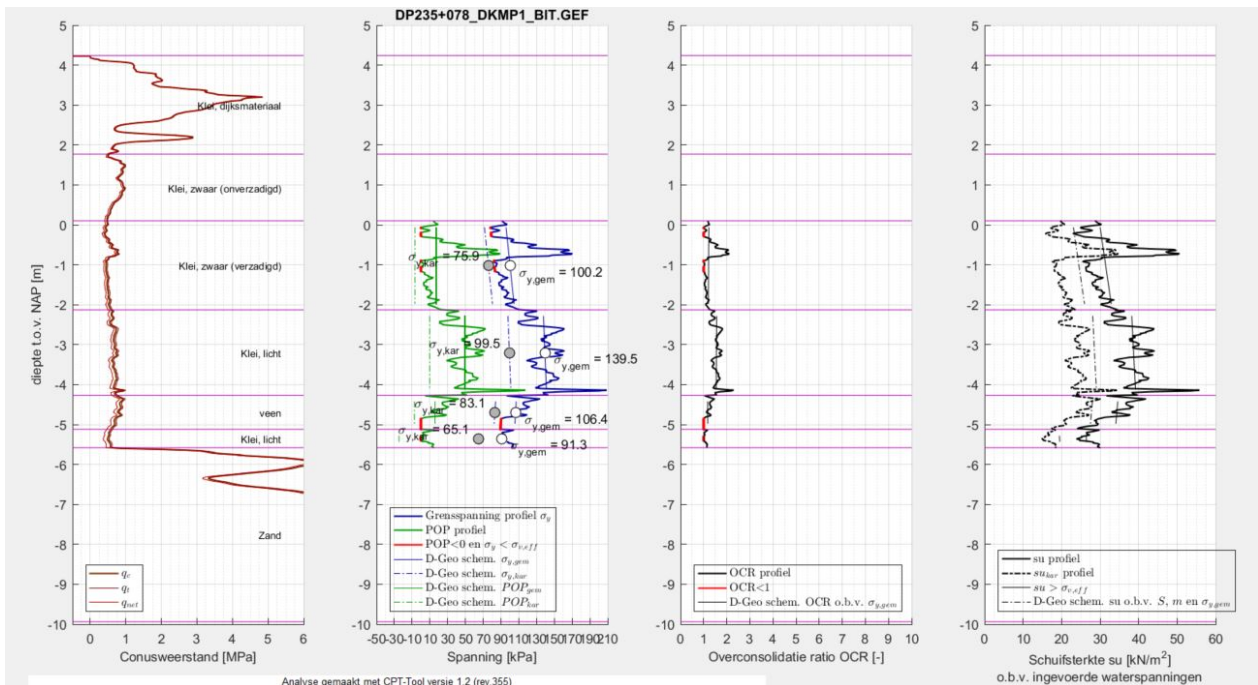
Figuur 3.1: DP234+095_DKMP1_AL



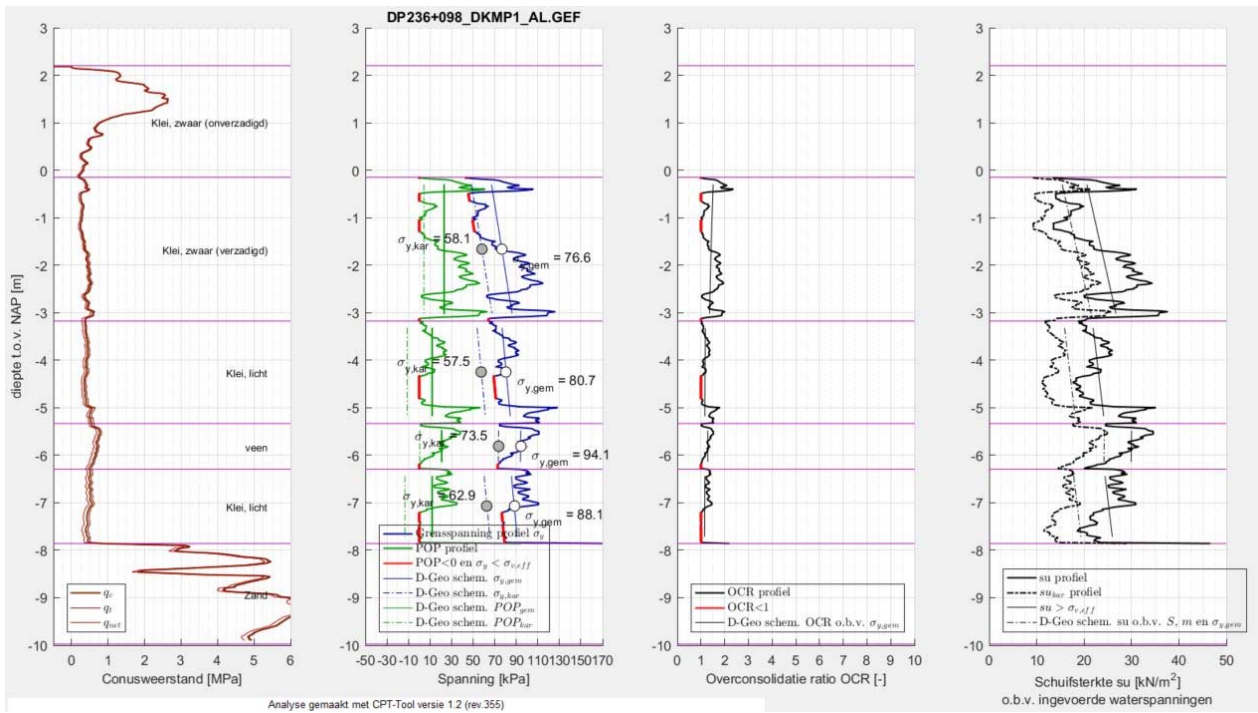
Figuur 3.2: DP234+096_DKMP1_BIT



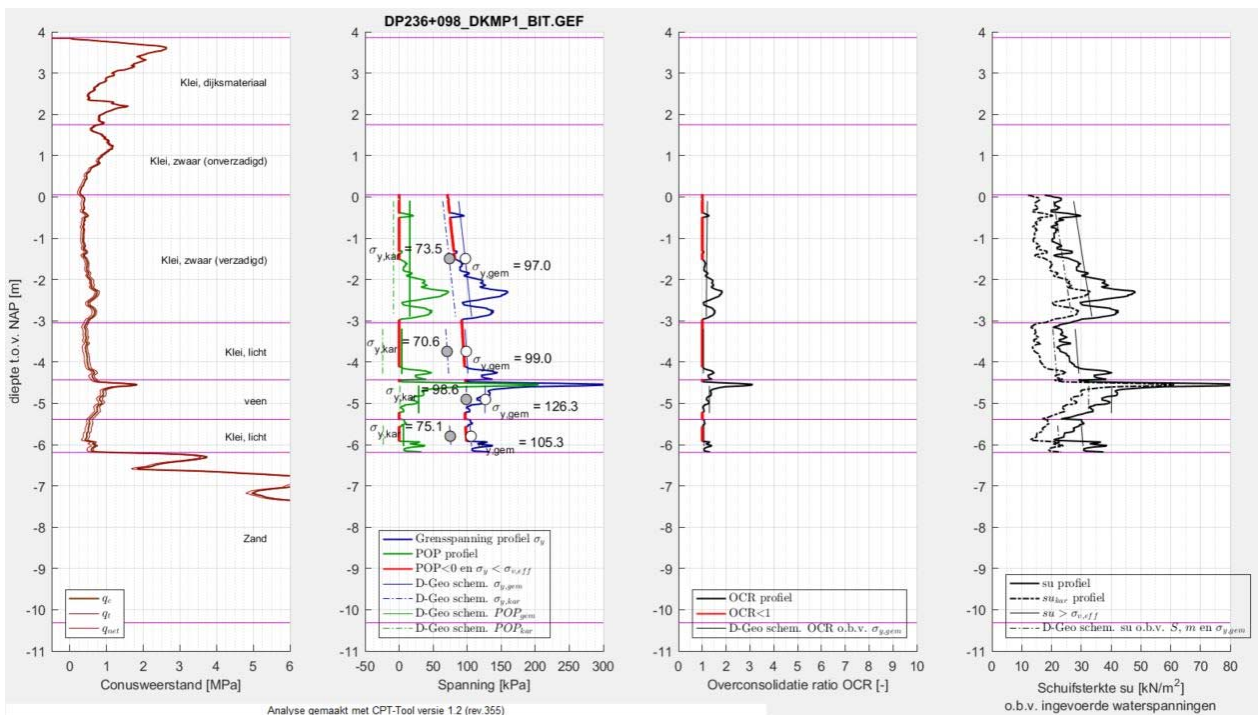
Figuur 3.3: DP235+077_DKMP1_AL



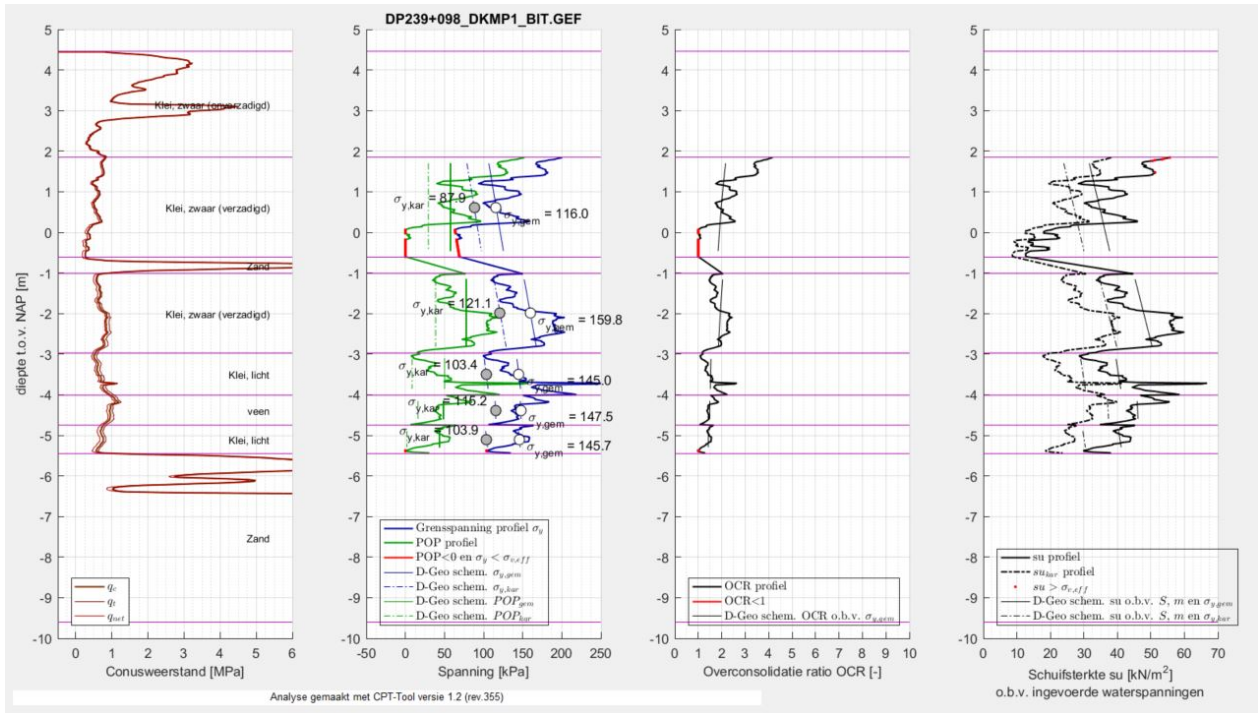
Figuur 3.4: DP235+078_DKMP1_BIT



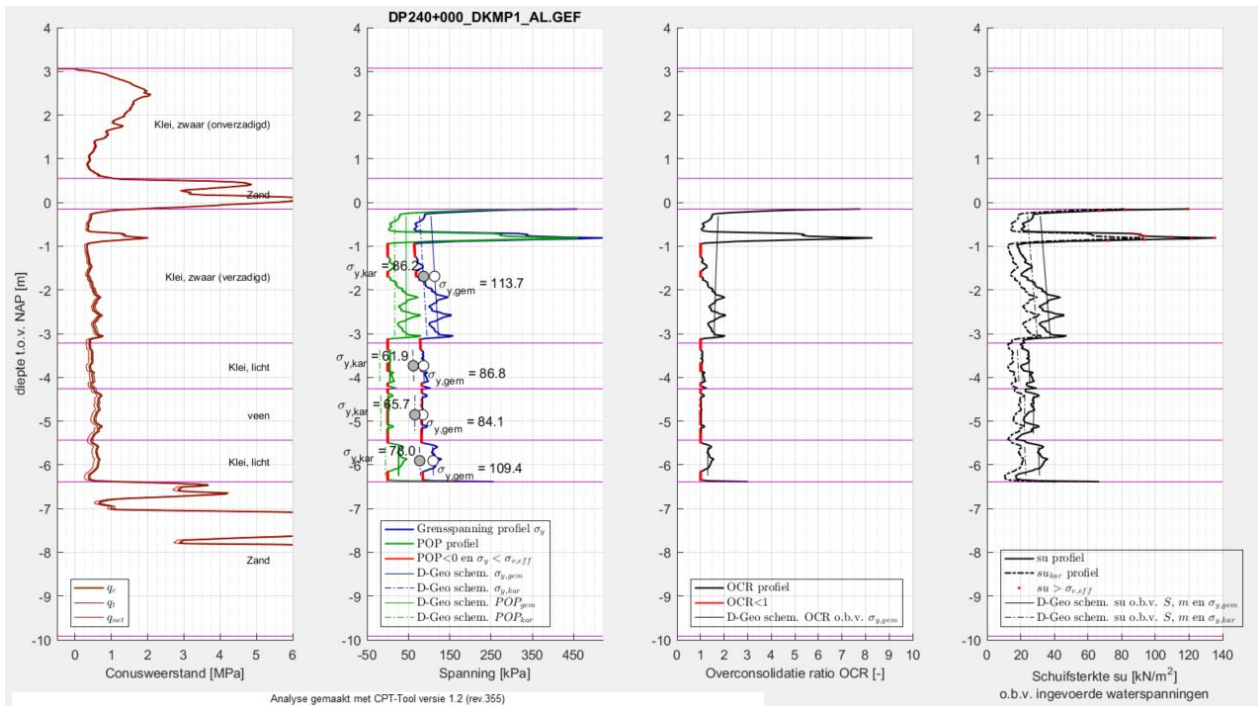
Figuur 3.5: DP236+098_DKMP1_AL



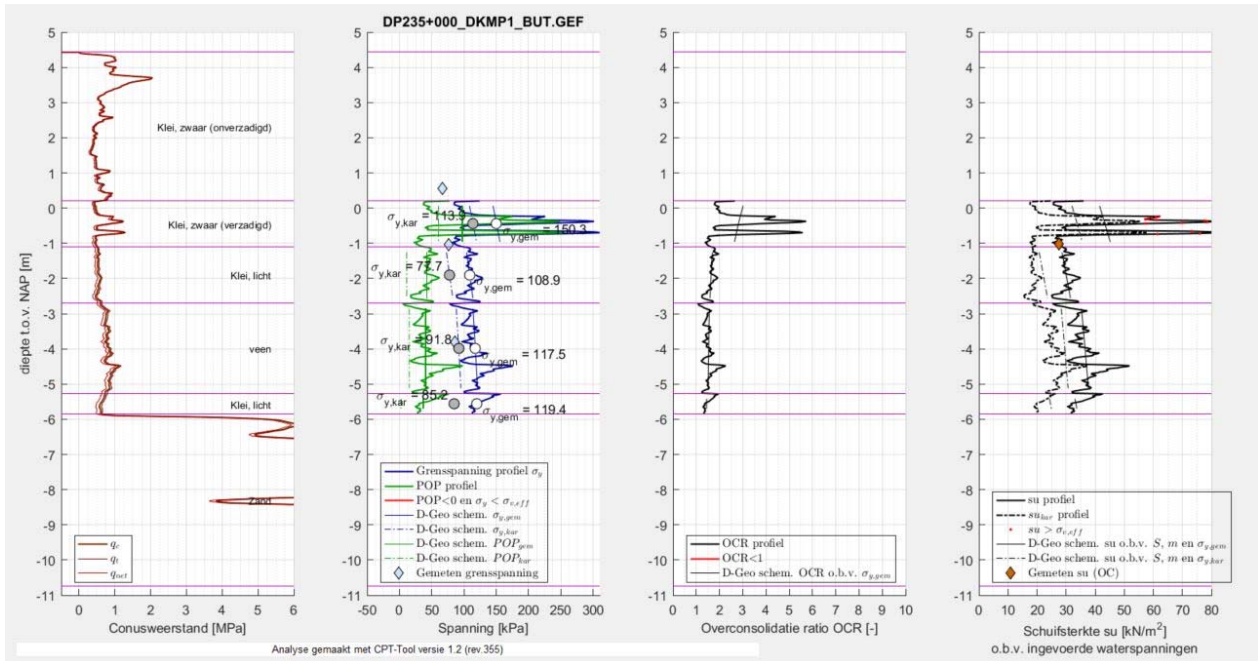
Figuur 3.6: DP236+098_DKMP1_BIT



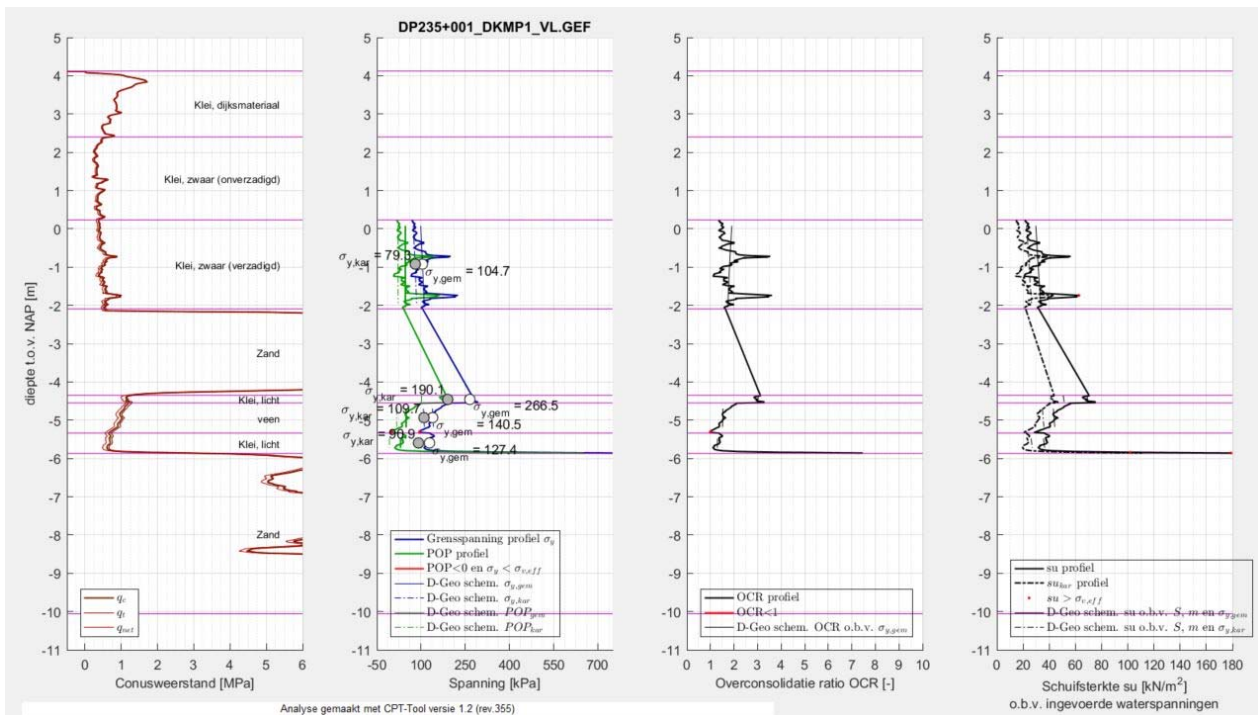
Figuur 3.7: DP239+098_DKMP1_BIT



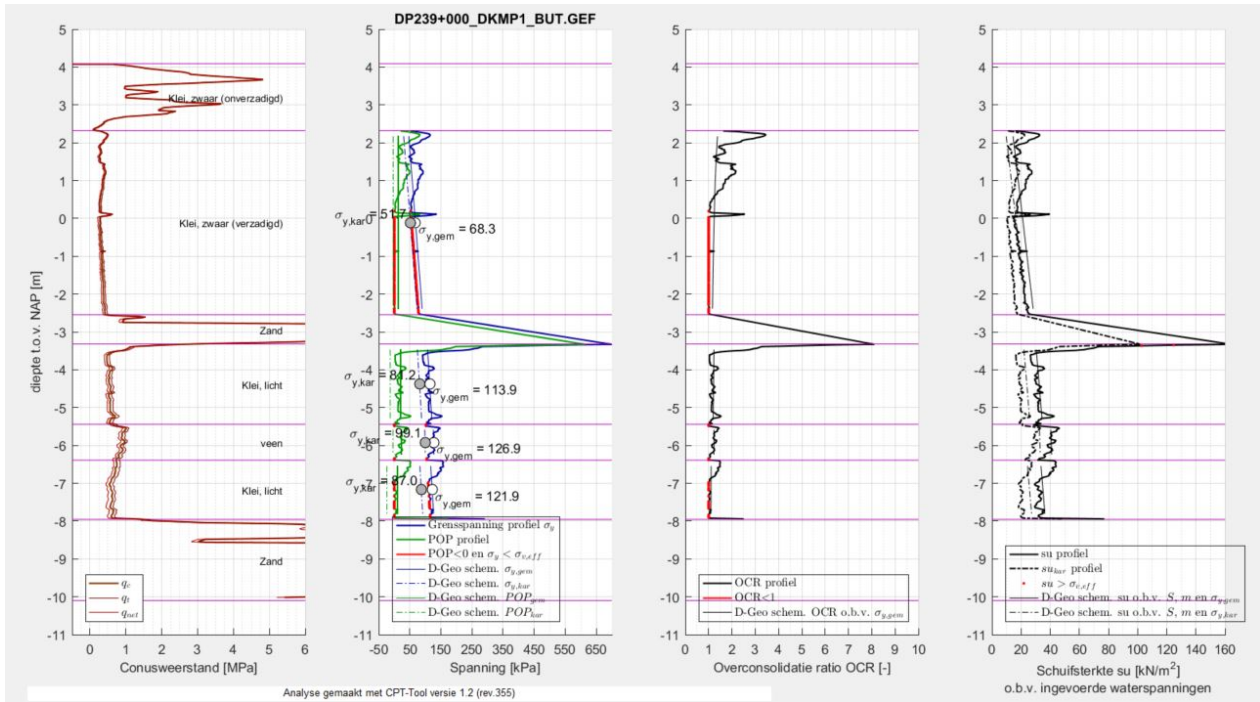
Figuur 3.8: DP240+000_DKMP1_AL



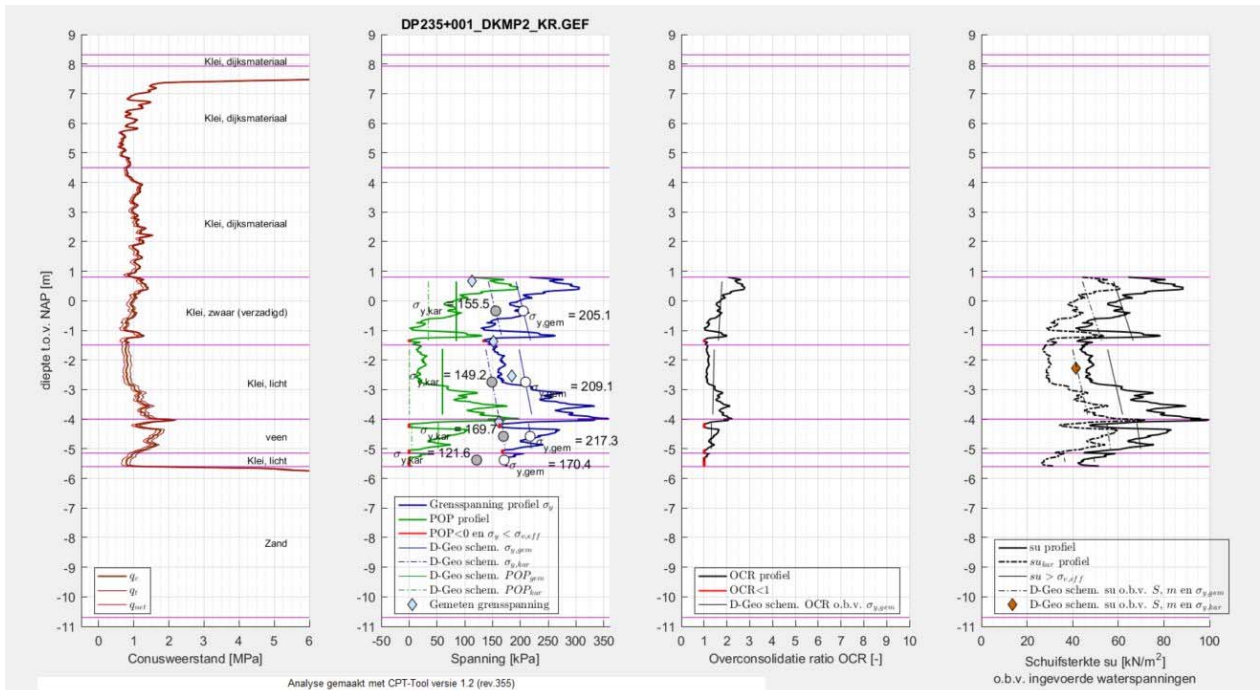
Figuur 3.9: DP235+000_DKMP1_BUT



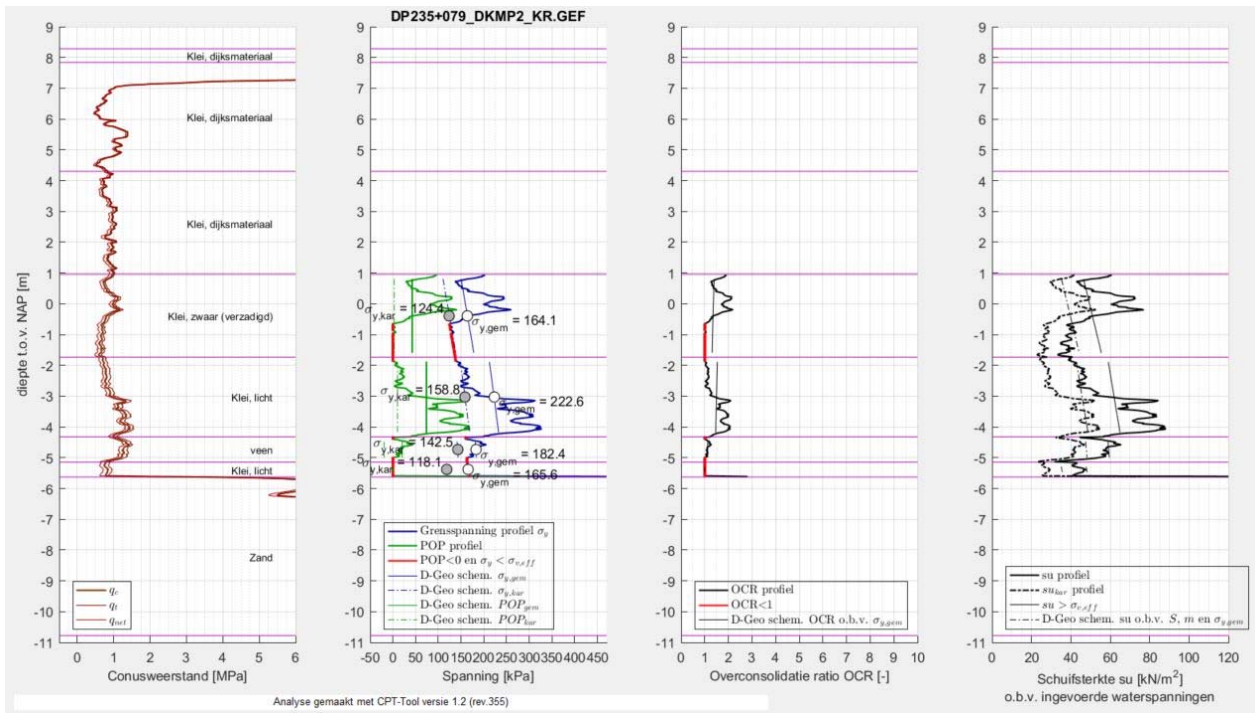
Figuur 3.10: DP235+001_DKMP1_VL



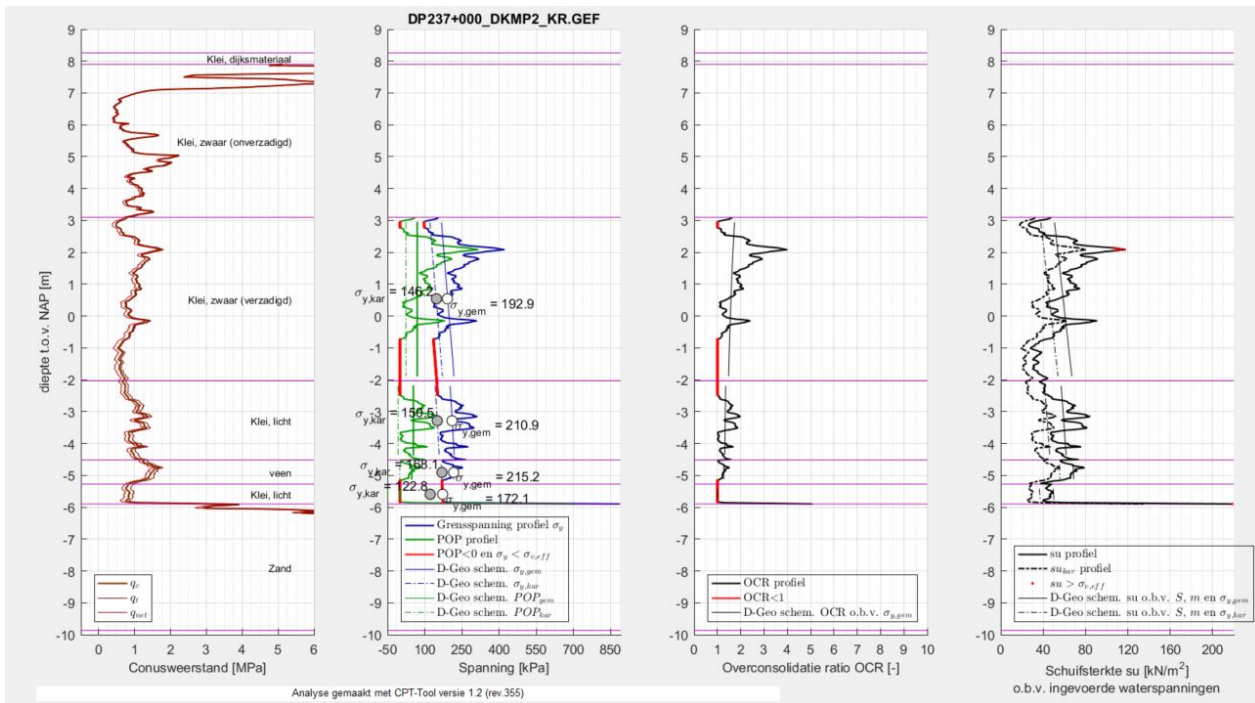
Figuur 3.11: DP239+000_DKMP1_BUT



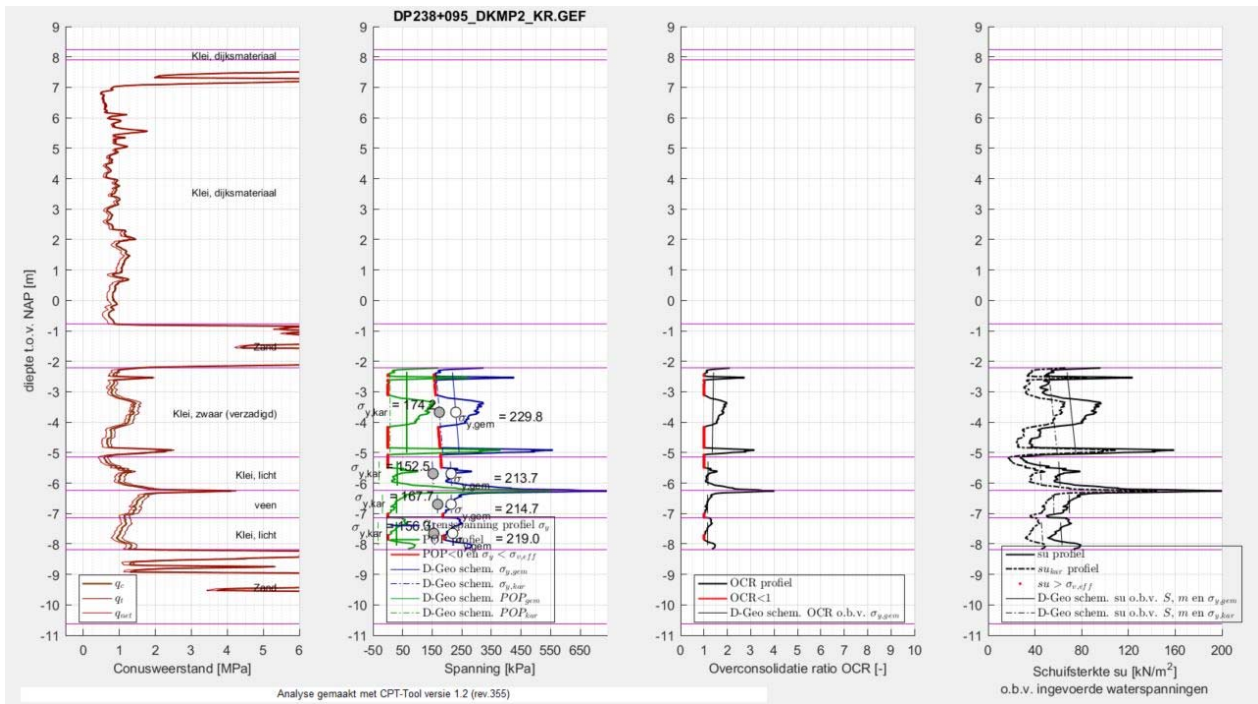
Figuur 3.12: DP235+001_DKMP2_KR



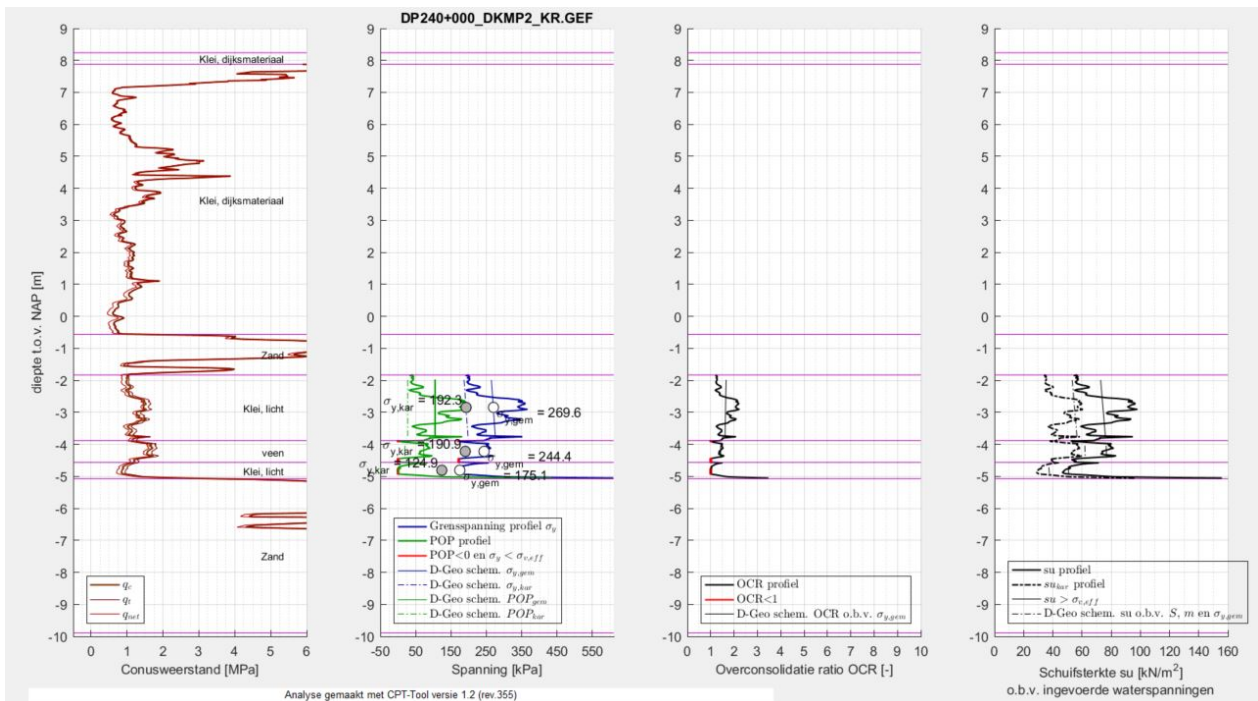
Figuur 3.13: DP235+079_DKMP2_KR



Figuur 3.14: DP237+000_DKMP2_KR



Figuur 3.15: DP238+095_DKMP2_KR:



Figuur 3.16: DP240+000_DKMP2_KR

Bijlage B: Resultaten sonderingen dijkvak 7b

Sondering	Grondsoort	Gem hoogte laag [m NAP]	O.K. laag [m NAP]	POP [kPa]	ln(POP)	POPkar [kPa]
DP234+095_DKMP1_AL	Klei_zwaar	-1.16	-2.14	37.66	3.63	17.05
DP235+077_DKMP1_AL	Klei_zwaar	-0.91	-1.99	46.04	3.83	25.37
DP236+098_DKMP1_AL	Klei_zwaar	-1.67	-3.18	22.85	3.13	4.30
DP240+000_DKMP1_AL	Klei_zwaar	-1.68	-3.21	44.68	3.80	17.15
DP234+096_DKMP1_BIT	Klei_zwaar	-1.32	-2.65	36.14	3.59	7.34
DP235+078_DKMP1_BIT	Klei_zwaar	-1.02	-2.13	17.56	2.87	0.00
DP236+098_DKMP1_BIT	Klei_zwaar	-1.50	-3.05	15.32	2.73	0.00
DP239+098_DKMP1_BIT	Klei_zwaar	-1.99	-2.97	77.42	4.35	38.74
DP235+000_DKMP1_BUT	Klei_zwaar	-0.45	-1.10	96.91	4.57	60.52
DP239+000_DKMP1_BUT	Klei_zwaar	-1.22	-2.54	12.83	2.55	0.00
DP235+001_DKMP1_VL	Klei_zwaar	-0.93	-2.09	47.03	3.85	21.70
DP235+001_DKMP2_KR	Klei_zwaar	-0.35	-1.49	84.50	4.44	34.85
DP235+079_DKMP2_KR	Klei_zwaar	-0.39	-1.73	42.66	3.75	2.94
DP237+000_DKMP2_KR	Klei_zwaar	0.54	-2.03	70.92	4.26	24.24
DP238+095_DKMP2_KR	Klei_zwaar	-3.68	-5.15	63.39	4.15	7.77
DP240+000_DKMP2_KR	-	-	-	-	-	-

Sondering	Grondsoort	Gem hoogte laag [m NAP]	O.K. laag [m NAP]	POP [kPa]	ln(POP)	POPkar [kPa]
DP234+095_DKMP1_AL	Klei_licht_boven_veen	-3.02	-4.23	74.42	4.31	37.89
DP235+077_DKMP1_AL	Klei_licht_boven_veen	-2.80	-3.80	63.94	4.16	32.37
DP236+098_DKMP1_AL	Klei_licht_boven_veen	-3.57	-5.33	11.91	2.48	0.00
DP240+000_DKMP1_AL	Klei_licht_boven_veen	-3.03	-4.26	5.92	1.78	0.00
DP234+096_DKMP1_BIT	Klei_licht_boven_veen	-3.04	-4.27	74.50	4.31	26.87
DP235+078_DKMP1_BIT	Klei_licht_boven_veen	-3.04	-4.27	49.69	3.91	9.72
DP236+098_DKMP1_BIT	Klei_licht_boven_veen	-3.12	-4.43	4.18	1.43	0.00
DP239+098_DKMP1_BIT	Klei_licht_boven_veen	-2.91	-4.01	50.11	3.91	8.55
DP235+000_DKMP1_BUT	Klei_licht_boven_veen	-2.25	-2.70	42.46	3.75	11.25
DP239+000_DKMP1_BUT	Klei_licht_boven_veen	-2.56	-3.32	19.76	2.98	0.00
DP235+001_DKMP1_VL	Klei_licht_boven_veen	-3.18	-4.55	178.00	5.18	101.80
DP235+001_DKMP2_KR	Klei_licht_boven_veen	-2.90	-4.00	60.51	4.10	0.50
DP235+079_DKMP2_KR	Klei_licht_boven_veen	-3.06	-4.32	73.94	4.30	10.17
DP237+000_DKMP2_KR	Klei_licht_boven_veen	-3.16	-4.52	52.85	3.97	0.00
DP238+095_DKMP2_KR	Klei_licht_boven_veen	-4.02	-6.24	31.59	3.45	0.00
DP240+000_DKMP2_KR	Klei_licht_boven_veen	-2.84	-3.88	105.10	4.65	27.82

Sondering	Grondsoort	Gem hoogte laag [m NAP]	O.K. laag [m NAP]	POP [kPa]	ln(POP)	POPkar [kPa]
DP234+095_DKMP1_AL	Veen	-4.69	-5.15	51.43	3.94	28.57
DP235+077_DKMP1_AL	Veen	-4.29	-4.77	35.29	3.56	17.36
DP236+098_DKMP1_AL	Veen	-5.81	-6.29	21.12	3.05	0.50
DP240+000_DKMP1_AL	Veen	-4.85	-5.44	1.80	0.59	0.00
DP234+096_DKMP1_BIT	Veen	-4.74	-5.21	32.70	3.49	5.29
DP235+078_DKMP1_BIT	Veen	-4.70	-5.12	15.91	2.77	0.00
DP236+098_DKMP1_BIT	Veen	-4.91	-5.39	29.10	3.37	1.45
DP239+098_DKMP1_BIT	Veen	-4.38	-4.75	48.53	3.88	16.24
DP235+000_DKMP1_BUT	Veen	-3.99	-5.27	40.98	3.71	15.26
DP239+000_DKMP1_BUT	Veen	-4.38	-5.44	23.55	3.16	0.00
DP235+001_DKMP1_VL	Veen	-4.95	-5.34	48.32	3.88	17.56
DP235+001_DKMP2_KR	Veen	-4.58	-5.15	57.83	4.06	8.65
DP235+079_DKMP2_KR	Veen	-4.74	-5.15	20.67	3.03	0.00
DP237+000_DKMP2_KR	Veen	-4.90	-5.28	46.64	3.84	0.00
DP238+095_DKMP2_KR	Veen	-6.90	-7.55	28.92	3.36	0.00
DP240+000_DKMP2_KR	Veen	-4.23	-4.57	72.88	4.29	19.38

Sondering	Grondsoort	Gem hoogte laag [m NAP]	O.K. laag [m NAP]	POP [kPa]	ln(POP)	POPkar [kPa]
DP234+095_DKMP1_AL	Klei_licht_onder_veen	-5.45	-5.75	40.43	3.70	13.96
DP235+077_DKMP1_AL	Klei_licht_onder_veen	-5.02	-5.26	12.73	2.54	0.00
DP236+098_DKMP1_AL	Klei_licht_onder_veen	-7.08	-7.86	12.13	2.50	0.00
DP240+000_DKMP1_AL	Klei_licht_onder_veen	-5.92	-6.39	25.80	3.25	0.00
DP234+096_DKMP1_BIT	Klei_licht_onder_veen	-5.48	-5.75	36.01	3.58	0.00
DP235+078_DKMP1_BIT	Klei_licht_onder_veen	-5.35	-5.58	1.44	0.36	0.00
DP236+098_DKMP1_BIT	Klei_licht_onder_veen	-5.79	-6.19	6.84	1.92	0.00
DP239+098_DKMP1_BIT	Klei_licht_onder_veen	-5.10	-5.45	43.75	3.78	1.99
DP235+000_DKMP1_BUT	Klei_licht_onder_veen	-5.56	-5.85	36.60	3.60	2.42
DP239+000_DKMP1_BUT	Klei_licht_onder_veen	-5.92	-6.39	11.44	2.44	0.00
DP235+001_DKMP1_VL	Klei_licht_onder_veen	-5.61	-5.87	29.39	3.38	0.00
DP235+001_DKMP2_KR	Klei_licht_onder_veen	-5.38	-5.60	0.00	0.00	0.00
DP235+079_DKMP2_KR	Klei_licht_onder_veen	-5.39	-5.63	0.00	0.00	0.00
DP237+000_DKMP2_KR	Klei_licht_onder_veen	-5.59	-5.90	0.00	0.00	0.00
DP238+095_DKMP2_KR	Klei_licht_onder_veen	-7.87	-8.19	29.77	3.39	0.00
DP240+000_DKMP2_KR	Klei_licht_onder_veen	-4.82	-5.07	0.00	0.00	0.00

Statistiek resultaten sonderingen

	Klei zwaar	Klei licht boven veen	Veen	Klei licht onder veen
Aantal metingen	15.00	16.00	16.00	16.00
Gemiddelde	47.73	56.18	35.98	17.90
Gemiddelde log_e	3.70	3.67	3.37	2.87
Standaardafwijking	26.06	42.97	17.92	16.26
Standaardafwijking log_e	0.63	1.02	0.85	0.99
Student-t factor 0.05	1.76	1.75	1.75	1.75
u 0.05	1.64	1.64	1.64	1.64
Spreidingsreductie	0.25	0.25	0.25	0.25
Factor spreidingsreductie	0.56	0.56	0.56	0.56
Standaardafwijking gecorrigeerd	15.70	25.60	10.67	9.69
Standaardafwijking log_e gecorrigeerd	0.38	0.61	0.51	0.59
LognormaalMuSigma mu	49.38	65.97	42.01	28.90
LognormaalMuSigma sigma	34.63	89.46	43.48	37.45
LognormaalMuSigma mu gecorrigeerd	43.48	47.12	33.22	21.03
LognormaalMuSigma sigma gecorrigeerd	19.52	44.17	22.81	18.70
Kar5% normaal verdeeld	4.86	-14.50	6.51	-8.85
Kar5% lognormaal verdeeld	14.29	7.29	7.17	3.45
Kar5% student t verdeeld	1.83	-19.15	4.57	-10.61
Kar5% student t verdeeld (+spreidingsreductie)	21.90	14.07	18.42	1.96
Laag_kar5% normaal verdeeld gecorrigeerd	21.90	14.07	18.42	1.96
Laag_kar5% lognormaal verdeeld gecorrigeerd	21.60	14.39	12.65	6.67
Hoog_kar5% normaal verdeeld gecorrigeerd	73.56	98.29	53.54	33.83
Hoog_kar5% lognormaal verdeeld gecorrigeerd	75.67	106.54	67.36	46.71

Bijlage C: Resultaten laboratoriumproeven dijktraject CUB

Samendrukkingsproef	Grondsoort	Locatie	Niveau maaiveld [m t.o.v. NAP]	Niveau monster [m t.o.v. NAP]	Terreinspanning [kPa]	Grensspanning	POP [kPa]	ln(POP)	OCR [-]	ln(OCR)
DP235+001_B_KR_mo-27a1-S03	Klei_licht	kruin	8.15	-2.55	126.80	184.10	57.30	4.05	1.45	0.37
DP282+000_B_KR_mo-30a2-S18	Klei_licht	kruin	7.69	-4.21	149.90	175.60	25.70	3.25	1.17	0.16
DP206+005_B_KR_M023-a	Klei_licht	Kruin	8.99	-0.33	145.00	165.95	20.95	3.04	1.14	0.13
DP282+000_B_BUT_mo-17a3-S14	Klei_licht	buitenteen	3.24	-3.46	88.70	96.50	7.80	2.05	1.09	0.08
DP262+114_B_BUT_M010-a	Klei_licht	Buitenteen	4.18	0.31	34.00	123.31	89.31	4.49	3.63	1.29
DP235+002_B_BIT_mo-16a1-S09	Klei_licht	binnenteen	4.14	-2.16	69.20	85.50	16.30	2.79	1.24	0.21
DP282+001_B_BIT_mo-14a1-S23	Klei_licht	binnenteen	3.48	-1.76	57.30	75.60	18.30	2.91	1.32	0.28
DP206+004_B_BIT_M014-a	Klei_licht	Binnenteen	4.07	-1.38	54.00	82.29	28.29	3.34	1.52	0.42
DP262+114_B_BIT_M015-a	Klei_licht	Binnenteen	3.99	-1.90	67.00	79.67	12.67	2.54	1.19	0.17
DP235+003_B_AL_mo-12b1-S06	Klei_licht	achterland	2.16	-2.55	39.40	57.30	17.90	2.88	1.45	0.37
DP282+001_B_AL_mo-06a1-S20	Klei_licht	achterland	1.25	-0.78	16.30	41.20	24.90	3.21	2.53	0.93
DP263+001_B_AL_M010-a	Klei_licht	Achterland	3.04	-0.61	41.00	91.41	50.41	3.92	2.23	0.80
DP263+001_B_KR_M024-a	Klei_licht	Kruin	8.06	-3.09	123.00	247.75	124.75	4.83	2.01	0.70
DP205+095_B_BUT_M010-a	Klei_licht	Buitenteen	3.50	-0.13	41.00	84.57	43.57	3.77	2.06	0.72
DP262+114_B_BUT_M022-a	Klei_licht	Buitenteen	4.18	-4.27	64.00	143.35	79.35	4.37	2.24	0.81
DP262+114_B_BIT_M009-a	Klei_licht	Binnenteen	3.99	0.74	50.00	113.51	63.51	4.15	2.27	0.82
DP235+003_B_AL_mo-07a1-S05	Klei_licht	achterland	2.16	-0.51	27.40	76.00	48.60	3.88	2.77	1.02

Samendrukkingsproef	Grondsoort	Locatie	Niveau maaiveld [m t.o.v. NAP]	Niveau monster [m t.o.v. NAP]	Terreinspanning [kPa]	Grensspanning	POP [kPa]	In(POP)	OCR [-]	In(OCR)
DP206+004_B_AL_M007-a	Klei_licht	Achterland	2.70	0.02	24.00	44.68	20.68	3.03	1.86	0.62
DP235+001_B_KR_mo-19a1-S01	Klei_zwaar	kruin	8.15	0.67	101.10	112.80	11.70	2.46	1.12	0.11
DP235+001_B_KR_mo-24a1-S02	Klei_zwaar	kruin	8.15	-1.37	117.60	151.60	34.00	3.53	1.29	0.25
DP282+000_B_KR_mo-15a2-S16	Klei_zwaar	kruin	7.69	1.87	103.20	146.60	43.40	3.77	1.42	0.35
DP282+000_B_KR_mo-20a3-S17	Klei_zwaar	kruin	7.69	-0.20	121.90	161.80	39.90	3.69	1.33	0.28
DP206+005_B_KR_M033-a	Klei_zwaar	Kruin	8.99	-4.31	174.00	230.47	56.47	4.03	1.32	0.28
DP263+001_B_KR_M008-a	Klei_zwaar	Kruin	8.06	3.41	68.00	134.72	66.72	4.20	1.98	0.68
DP263+001_B_KR_M010-a	Klei_zwaar	Kruin	8.06	2.56	76.00	153.79	77.79	4.35	2.02	0.70
DP263+001_B_KR_M016-a	Klei_zwaar	Kruin	8.06	0.41	98.00	146.66	48.66	3.88	1.50	0.40
DP263+001_B_KR_M019-a	Klei_zwaar	Kruin	8.06	-1.08	109.00	183.13	74.13	4.31	1.68	0.52
DP235+001_B_BUT_mo-10a1-S11	Klei_zwaar	buitenteen	4.48	0.56	40.70	66.10	25.40	3.23	1.62	0.48
DP235+001_B_BUT_mo-14a1-S12	Klei_zwaar	buitenteen	4.48	-1.04	51.90	76.40	24.50	3.20	1.47	0.39
DP205+095_B_BUT_M016-a	Klei_zwaar	Buitenteen	3.50	-2.85	59.00	90.25	31.25	3.44	1.53	0.43
DP235+002_B_BIT_mo-13a1-S08	Klei_zwaar	binnenteen	4.14	-0.96	61.00	77.60	16.60	2.81	1.27	0.24
DP206+004_B_BIT_M019-a	Klei_zwaar	Binnenteen	4.07	-3.47	70.00	106.29	36.29	3.59	1.52	0.42
DP282+001_B_AL_mo-07a3-S21	Klei_zwaar	achterland	1.25	-1.44	18.80	39.80	21.00	3.04	2.12	0.75
DP206+004_B_AL_M014-a	Klei_zwaar	Achterland	2.70	-2.53	43.00	66.37	23.37	3.15	1.54	0.43
DP235+001_B_KR_mo-31a1-S04	Veen	kruin	8.15	-4.10	133.10	161.50	28.40	3.35	1.21	0.19

Samendrukkingsproef	Grondsoort	Locatie	Niveau maaiveld [m t.o.v. NAP]	Niveau monster [m t.o.v. NAP]	Terreinspanning [kPa]	Grensspanning	POP [kPa]	In(POP)	OCR [-]	In(OCR)
DP282+000_B_KR_mo-36a2-S19	Veen	kruin	7.69	-6.52	158.40	186.40	28.00	3.33	1.18	0.16
DP235+001_B_BUT_mo-21a1-S13	Veen	buitenteen	4.48	-3.81	66.70	85.90	19.20	2.95	1.29	0.25
DP282+000_B_BUT_mo-24a3-S15	Veen	buitenteen	3.24	-6.23	103.10	137.20	34.10	3.53	1.33	0.29
DP262+114_B_BUT_M024-c	Veen	Buitenteen	4.18	-5.31	66.00	89.88	23.88	3.17	1.36	0.31
DP235+002_B_BIT_mo-20a1-S10	Veen	binnenteen	4.14	-3.77	74.40	103.30	28.90	3.36	1.39	0.33
DP282+001_B_BIT_mo-22a2-S24	Veen	binnenteen	3.48	-5.99	84.00	107.60	23.60	3.16	1.28	0.25
DP235+003_B_AL_mo-17a1-S07	Veen	achterland	2.16	-4.54	42.40	66.20	23.80	3.17	1.56	0.45
DP282+001_B_AL_mo-14a2-S22	Veen	achterland	1.25	-6.38	63.40	102.00	38.60	3.65	1.61	0.48
DP263+001_B_AL_M021-a	Veen	Achterland	3.04	-5.04	54.00	79.20	25.20	3.23	1.47	0.38

Statistiek resultaten laboratoriumonderzoek

	POP Klei zwaar	POP Klei licht boven veen	POP Veen	OCR Klei zwaar	OCR Klei licht boven veen	OCR Veen
Aantal metingen	16	18	10	16	18	10
Gemiddelde	39.45	41.68	27.37	1.55	1.84	1.37
Gemiddelde log_e	3.54	3.47	3.29	0.42	0.55	0.31
Standaardafwijking	20.37	31.41	5.64	0.28	0.51	0.14
Standaardafwijking log_e	0.54	0.75	0.20	0.18	0.27	0.10
Student-t factor 0.05	1.75	1.74	1.83	1.75	1.74	1.83
u 0.05	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
Spreidingsreductie	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Factor spreidingsreductie	0.56	0.55	0.59	0.56	0.55	0.59
Standaardafwijking gecorrigeerd	12.14	18.36	3.72	0.17	0.30	0.09
Standaardafwijking log_e gecorrigeerd	0.32	0.44	0.13	0.11	0.16	0.07
LognormaalMuSigma mu	40.10	42.60	27.42	1.55	1.80	1.37
LognormaalMuSigma sigma	23.54	36.77	5.54	0.28	0.49	0.14
LognormaalMuSigma mu gecorrigeerd	36.45	35.47	27.11	1.53	1.76	1.36
LognormaalMuSigma sigma gecorrigeerd	13.35	19.50	3.63	0.16	0.28	0.09
Kar5% normaal verdeeld	5.94	-9.98	18.10	1.08	1.01	1.13
Kar5% lognormaal verdeeld	14.13	9.45	19.33	1.14	1.12	1.15
Kar5% student t verdeeld	3.73	-12.95	17.04	1.05	0.96	1.11
Kar5% student t verdeeld (+spreidingsreductie)	19.48	11.48	21.26	1.27	1.36	1.21
Laag_kar5% normaal verdeeld gecorrigeerd	19.48	11.48	21.26	1.27	1.36	1.21
Laag_kar5% lognormaal verdeeld gecorrigeerd	20.29	15.73	21.63	1.28	1.34	1.22
Hoog_kar5% normaal verdeeld gecorrigeerd	59.41	71.88	33.48	1.82	2.33	1.52
Hoog_kar5% lognormaal verdeeld gecorrigeerd	58.95	66.09	33.39	1.81	2.24	1.52

F Overzicht alle beschikbare peilbuizen

CUB

Locaties bestaande en aanvullende peilbuizen
 PBS 3.2.2
 13-5-2020

DWP	Peilbuis Plas	Peilbuis Voorland	Peilbuis Buitenteen	WSM Kruin	Peilbuis Kruin	Peilbuis Binnenteen / Achterland	Opmerking
202						PB diep (ca. -5,4 tot -6,4) Meetwaarde ca. +2,6	Bestaand meetpunt DinoLoket (B39A2382) PB diep achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
206			DP205+095_B_BUT PB02 (ca. -4,7 tot -5,7) Meetwaarde ca. +2,5 tot +2,7		DP206+005_B_KR PB01 (ca. +0,5 tot +1,5) in klei Meetwaarde ca. +3,0 tot +4,0	DP206+004_B_BIT PB01 (ca. +0,9 tot +1,9) in klei Meetwaarde ca. +1,6 tot +2,7 PB02 (ca. -7,9 tot -6,9) Meetwaarde ca. +2,4 tot +2,5	Bestaande meetraai Wiertsema-Inpjin-Blokpoel PB02 buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte. PB01 kruin is geplaatst in dijklingschaam van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB01 binnenteen is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 binnenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
214	DP214+000_B_VL (MP001) (meting waterniveau in plas op voorland) Meetwaarde ca. +2,8 tot 3,1		DP213+099_B_BUT (B1001) PB02 (ca. -7,8 tot -8,8) Meetwaarde (ca. +2,5 tot 3,1)			Boring niet uitgevoerd DP214+000 (nieuwe locatie) in pleistoceen zand ca. -7,0 tot -8,0	RAAI 1 aanvullend onderzoek Meting van waterstand in de plas op het voorland om weerstand van plasbodem in rekening te kunnen brengen. PB02 buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
221						PB ondiep (ca. +1,4 tot +0,4) in klei Meetwaarde ca. +1,9 PB diep (ca. -8 tot -9) Meetwaarde ca. +2,2	Bestaand meetpunt DinoLoket (B39A2383) PB ondiep achterland is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB diep achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
221		DP221+024_B_VL (B1003) PB01 (ca. -1,3 tot -2,3) in tussenzandlaag Meetwaarde (ca. +2,8 tot +3,2) PB02 (ca. -8,3 tot -9,3) in pleistoceen zand Meetwaarde (ca. +2,0 tot +2,8)	DP221+028_B_BUT (B1004) DP221+030_HB_BUT	DP221+030_B_KR (WSM001) DP221+030_DKMP2_KR (+1,5)		DP221+026_B_AL (B1005) DP221+030_DKMP2_AL PB01 (-8,3 tot -9,3) Meetwaarde (ca. 2,0 tot +2,6)	RAAI 2 aanvullend onderzoek Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM in kruin ca. gelijk aan aangetroffen GWS ter plaatse van BIT en BUT handboringen. PB01 voorland is geplaatst in tussenzandlaag ter bepaling freatische grondwaterstand PB02 voorland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte. PB01 buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte. PB01 achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
224						PB ondiep (ca. +0,8 tot -0,2) in klei Meetwaarde ca. +2,1 PB diep (ca. -6,8 tot -7,8) Meetwaarde ca. +2,1	Bestaand meetpunt DinoLoket (B39A2384) PB ondiep achterland is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB diep achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
226+095						DP226+095_B_AL PB01 (ca. -0,2 tot +0,8) in klei Meetwaarde ca. +1,3 tot +1,6 PB02 (ca. -8,2 tot -7,2) Meetwaarde ca. +1,9 tot +2,2	Bestaand meetpunt in achterland Wiertsema-Inpjin-Blokpoel PB01 achterland is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
229						DP229+000_B_AL PB01 (ca. -0,6 tot +0,4) in zand Meetwaarde ca. +1,5 tot +1,6 PB02 (ca. -6,9 tot -7,9) in zand	Bestaand meetpunt in achterland Wiertsema-Inpjin-Blokpoel PB01 achterland is in tussenzandlaag geplaatst. Op basis van deze bestaande peilbuis kan mogelijke respons worden vastgesteld. PB02 achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
235			DP235+001_B_BUT PB02 (ca. -6,5 tot -7,5) Meetwaarde ca. +1,7 tot +1,9		DP235+001_B_KR PB01 (ca. +2,8 tot +3,8) in klei Meetwaarde ca. +3,9 tot +4,7	DP235+002_B_BIT PB01 (ca. +0,4 tot +1,4) in klei Meetwaarde ca. +1,6 tot +2,8 PB02 (ca. -6,3 tot -7,3) in zand Meetwaarde ca. +1,7 tot +1,8	Bestaande meetraai Wiertsema-Inpjin-Blokpoel PB02 buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte. PB01 kruin is geplaatst in dijklingschaam van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB01 achterland is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 achterland is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
239			PB ondiep (ca. -2,3 tot +3,3) in tussenzandlaag Meetwaarde ca. +3,0 PB diep (ca. -8,7 tot -9,7) in zand Meetwaarde ca. +1,6		PB diep (ca. -7 tot -8) in zand Meetwaarde ca. +1,6	PB diep (ca. -7 tot -8) in zand Meetwaarde ca. +1,6	Bestaande meetraai DinoLoket (B38F2421, B38F2422, B38F2423) PB ondiep buitenteen is geplaatst in tussenzandlaag ter bepaling stijghoogte. PB diep buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandlaag ter bepaling stijghoogte. PB diep kruin is geplaatst in pleistoceen zandlaag ter bepaling stijghoogte. PB diep achterland is geplaatst in pleistoceen zandlaag ter bepaling stijghoogte.
241						DP241+001_B_BIT (B1006) DP240+074_DKMP1_BIT PB01 (-0,3 tot +1,3) Meetwaarde (ca. +3,1 tot +3,7) PB02 (-5,2 tot -6,2) Meetwaarde (ca. +1,3 tot +1,8)	RAAI 3 aanvullend onderzoek PB01 binnenteen in tussenzandlaag om respons op de buitenwaterstand te meten. PB02 binnenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
243	DP243+000_B_VL (MP002) DP243+000 (nieuwe locatie) (meting waterniveau in plas op voorland)		DP242+091_B_BUT (B1007) DP242+090_DKMP1_BUT (-7,5 tot -8,5)	DP242+091_B_KR (WSM002) DP242+091_DKMP2_KR (+2,0)		DP242+090_B_AL (B1008) DP242+088_DKMP1_AL (-7,8 tot -8,8)	RAAI 3 aanvullend onderzoek Ook meting van waterstand in de plas op het voorland om weerstand van plasbodem in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM ca. gelijk aan aangetroffen GWS ter plaatse van handboring DP242+093_HB_AL.
244+90						DP244+103_B_AL (B1009) DP244+90 (nieuwe locatie) (7,4 tot -8,4)	RAAI 3 aanvullend onderzoek Fort Honswijk, ter plaatse van inundatiesluis in pleistoceen zandpakket. Tussenzandlaag is niet aanwezig
244+635		DP244+652_B_VL (B1010) (in tussenzandlaag ca. -1,4 tot -2,4) Meetwaarde (ca. +1,8 tot +2,9)	DP244+633_B_BUT (B1011) DP244+633_DKMP1_BUT (in tussenzandlaag ca. -1,7 tot -2,7) Meetwaarde (ca. +2,4 tot +2,8)			DP244+635_B_AL (B1012) DP244+635_DKMP1_AL (in tussenzandlaag ca. -1,3 tot -2,3) Meetwaarde (ca. +2,1 tot +2,2)	RAAI 4 aanvullend onderzoek Toegangsweeg Fort Honswijk, ter plaatse van tussenzandlaag. Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Alle peilbuizen zijn geplaatst in een tussenzandlaag.
248		DP248+017_B_VL (B1013) DP248+000 (nieuwe locatie) (in zandlaag ca. -1,0 tot -2,0)	DP248+001_B_BUT (B1014) DP248+000 (nieuwe locatie) (in zandlaag ca. -2,2 tot -3,2)	WSM003 DP248+000 (nieuwe locatie) (+2,0)		DP247+089_B_AL (B1015) S44.248_AL (-5,2 tot -6,2)	RAAI 5 aanvullend onderzoek Maatwerklocatie pipings Honswijkwaard. Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM gelijk aan aangetroffen GWS ter plaatse van BIT en BUT handboringen. Tussenzandlaag AL van ca. -0,2 tot -1,3 m geen peilbuismeting.
256		DP256+011_B_VL (B1016) DP256+000 (nieuwe locatie) (in zandlaag ca. -1,1 tot -2,1)	DP256+001_B_BUT (B1017) DP256+000 (nieuwe locatie) (in zandlaag ca. -1,1 tot -2,1)	WSM004 DP256+000 (nieuwe locatie) (+2,0)		DP255+097_B_AL (B1018) DP255+097_DKMP_AL (-1,3 tot -2,3)	RAAI 6 aanvullend onderzoek Maatwerklocatie pipings Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM gelijk aan aangetroffen GWS ter plaatse van handboring DP255+092_HB_AL.
263			DP262+114_B_BUT PB02 (ca. -7,3 tot -8,3) Meetwaarde ca. +1,7 tot +1,9		DP263+001_B_KR PB01 (ca. +3,8 tot +4,8) in klei Meetwaarde n.b. PB02 (ca. -0,7 tot +0,3) in klei Meetwaarde ca. +3,5 tot +5,8	DP262+114_B_BIT PB02 (ca. +0,4 tot -0,6) in klei Meetwaarde ca. +1,6 tot +2,4 PB03 (ca. -7,2 tot -8,2) Meetwaarde ca. +1,5 tot +1,7	Bestaande meetraai Inpjin-Blokpoel PB02 buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte. PB01 kruin is geplaatst in dijklingschaam van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 kruin is geplaatst in dijklingschaam van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 binnenteen is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB03 binnenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte.
271						PB ondiep (ca. +1,6 tot +0,6) in klei Meetwaarde ca. +1,9 PB diep (ca. -1,8 tot -2,8) Meetwaarde (ca. +0,6 tot +1,6)	Bestaand meetpunt DinoLoket (B38F2420) PB ondiep binnenteen is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB diep binnenteen is geplaatst in holocene zandpakket ter bepaling stijghoogte (heeft getijde invloed).
272		DP271+096_B_VL (B1019) (in zandlaag ca. -5,6 tot -6,6) Meetwaarde (ca. +0,5 tot +2,1)	DP271+097_B_BUT (B1020) DP271+097_DKMP1_BUT (-5,0 tot -6,0) Meetwaarde (ca. +0,5 tot +1,7)	WSM005 (+2,0) Meetwaarde (ca. +10,0 tot +3,0)		DP272+012_B_BIT (B1021) DP272+000_DKMP1_BIT (-2,0 tot -3,0) Meetwaarde (ca. +0,5 tot +1,5)	RAAI 7 aanvullend onderzoek Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Binnenteen afhankelijk of de metingen van de nu hier aanwezige DINO peilbuis nog doorlopen. Diepte van WSM is 1 m minus maalveelniveau buitenteen.
272+097					DP272+097_B_KR PB01 (ca. +3,5 tot +4,5) in klei Meetwaarde ca. +2,7 tot +3,1 PB02 (ca. -10,0 tot -9,0) Meetwaarde ca. +0,4 tot +0,9		Bestaand meetpunt in kruin Wiertsema-Inpjin-Blokpoel PB01 kruin is geplaatst in dijklingschaam van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 kruin is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte (heeft getijde invloed).
280		DP280+004_B_VL (B1022) (in zandlaag ca. -4,0 tot -5,0) Meetwaarde (ca. +0,2 tot +2,4)	DP279+083_B_BUT (B1023) (in zandlaag ca. -4,2 tot -5,2) Meetwaarde (ca. +0,2 tot +2,3)	WSM006 DP280+000_DKMP2_KR (+2,0) Meetwaarde (ca. +12,0 tot +4,0)		DP279+081_B_AL (B1024) DP280+000_DKMP2_BIT (in zandlaag ca. -3,3 tot -4,3) Meetwaarde (ca. +0,2 tot +1,8)	RAAI 8 aanvullend onderzoek Maatwerklocatie pipings Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM gelijk aan GWS aangetroffen in handboring DP280+000_HB_BIT Op deze locatie is ook een wel waargenomen.
282			DP282+000_B_BUT PB02 (ca. -7,8 tot -8,8) Meetwaarde ca. +0,1 tot +1,0		DP282+000_B_KR PB01 (ca. +0,2 tot +1,2) in klei Meetwaarde ca. +1,6 tot +2,3	DP282+000_B_BIT PB01 (ca. -0,2 tot +0,8) Meetwaarde ca. +1,0 tot +1,9 PB02 (ca. -8,0 tot -9,0) Meetwaarde ca. +0,0 tot +1,0	Bestaande meetraai Wiertsema-Inpjin-Blokpoel PB02 buitenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte (heeft getijde invloed). PB01 kruin is geplaatst in dijklingschaam van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB01 binnenteen is geplaatst in deklaag van klei en heeft als doel de freatische grondwaterstand te meten. PB02 binnenteen is geplaatst in pleistoceen zandpakket ter bepaling stijghoogte (heeft getijde invloed).
289		DP288+061_B_VL (B1025) (in zandlaag ca. -6,8 tot -7,8) Meetwaarde (ca. +0,0 tot +2,1)	DP288+081_B_BUT (B1026) DP289+001_HB_VL (in zandlaag ca. -3,4 tot -4,4) Meetwaarde (ca. +0,0 tot +2,0)	WSM007 DP289+000_DKMP2_KR (+2,0) Meetwaarde (ca. +2,5 tot +3,0)		DP288+079_B_AL (B1027) DP288+081_HB_AL (-4,0 tot -5,0) Meetwaarde (ca. +0,0 tot +1,8)	RAAI 9 aanvullend onderzoek Maatwerklocatie pipings Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM gelijk aan GWS aangetroffen in handboring DP288+080_HB_BIT
295		DP295+052_B_VL (B1028) (in pleistoceen zand ca. -8,7 tot -9,7) Meetwaarde (ca. +0,0 tot +2,5)	DP295+020_B_BUT (B1029) (in pleistoceen zand ca. -9,8 tot -10,8) Meetwaarde (ca. +0,0 tot +2,5)	DP295+054_B_KR (WSM008) DP295+054_DKMP2_KR (+3,0) Meetwaarde (ca. +2,5 tot +5,0)		Boring niet uitgevoerd DP295+050_DKMP1_BIT (-8,0 tot -9,0)	RAAI 10 aanvullend onderzoek Peilbuis ca. halverwege het voorland om weerstand van voorland in rekening te kunnen brengen. Diepte van WSM ca. gelijk aan maalveelniveau achterland.

De genoemde waarden zijn de hoogtematen van de plaatsingsdiepte van het filter of WSM-sensor t.o.v. NAP [m]
 De benaming tussen haakjes (b.v. B1001) is de gehanteerde benaming tijdens de uitvoering van de boring.

- = Bestaande meetraai Wiertsema-Inpjin-Blokpoel
- = Bestaand meetpunt DinoLoket
- = Aanvullende meetraai Wiertsema-Inpjin-Blokpoel

G Beschikbare peilbuismetingen



Opdrachtnummer: 02P011039-03

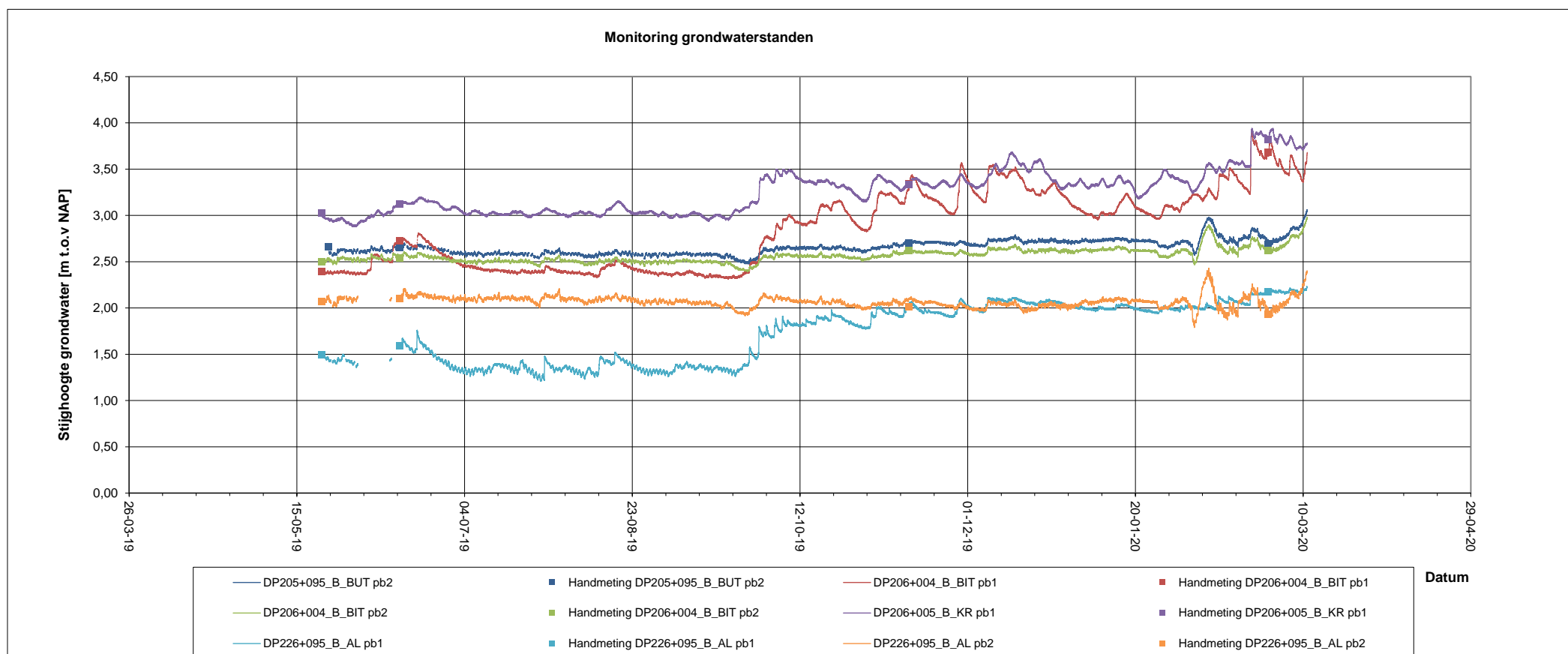
Project: CUB

Omschrijving: Monitoring peilbuizen

Grafiek: DP205/DP206/DP226

Meetperiode: 22 mei 2019

tot 11 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-03

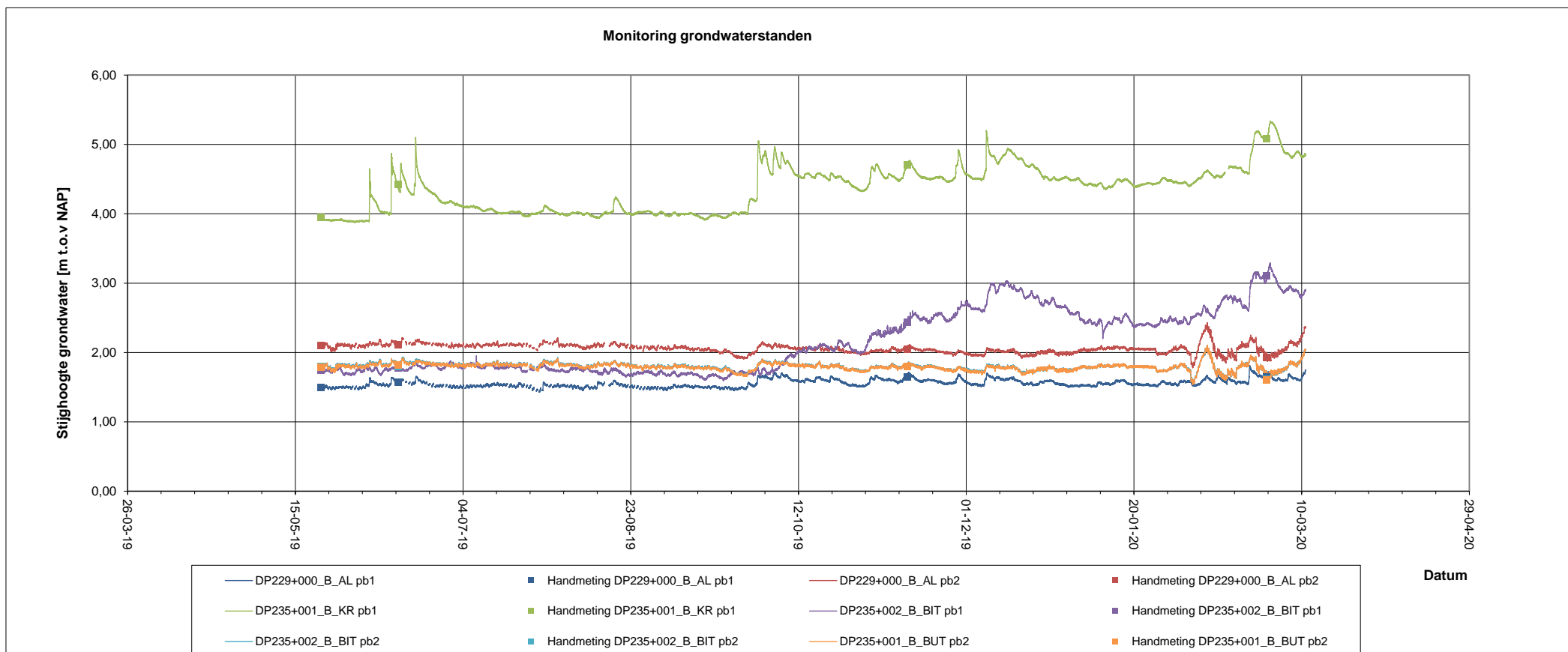
Project: CUB

Omschrijving: Monitoring peilbuizen

Grafiek: DP229/DP235

Meetperiode: 22 mei 2019

tot 11 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-03

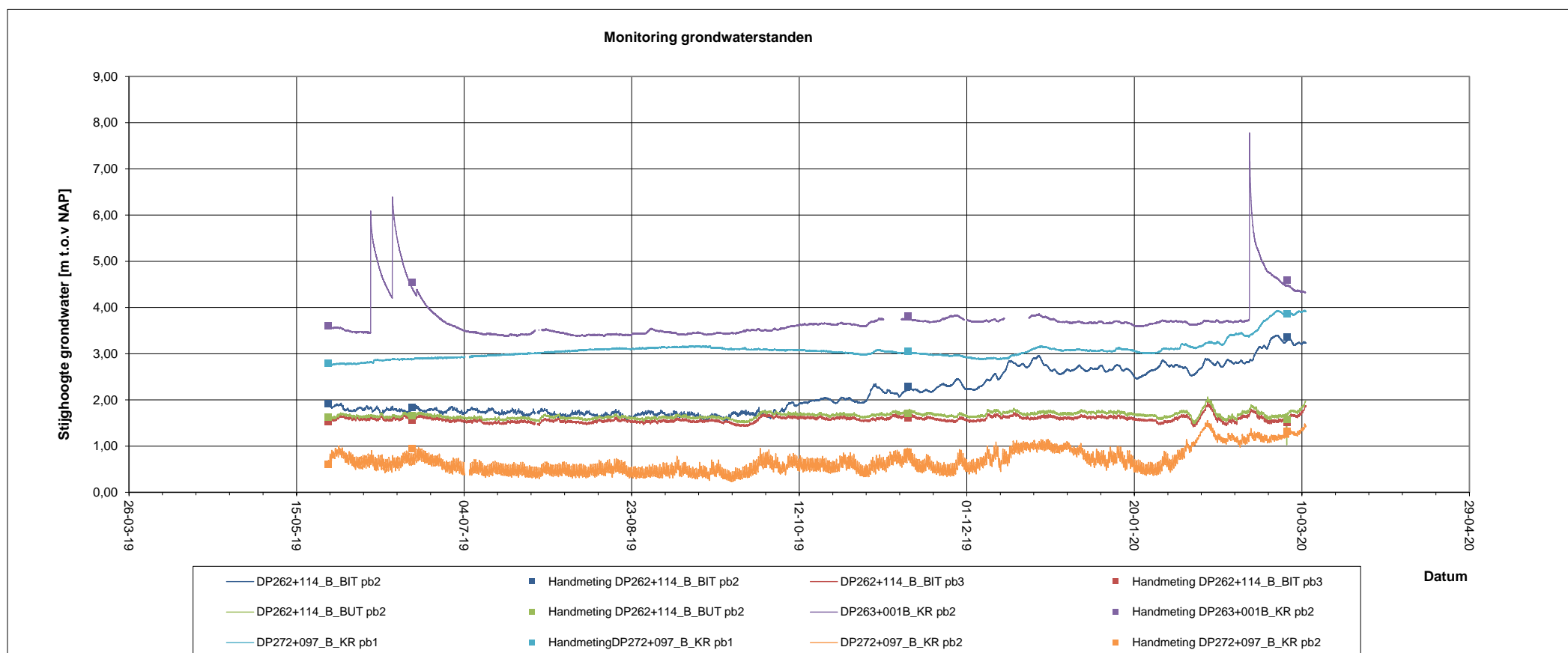
Project: CUB

Omschrijving: Monitoring peilbuizen

Grafiek: DP262/DP263/DP272

Meetperiode: 24 mei 2019

tot 11 maart 2020

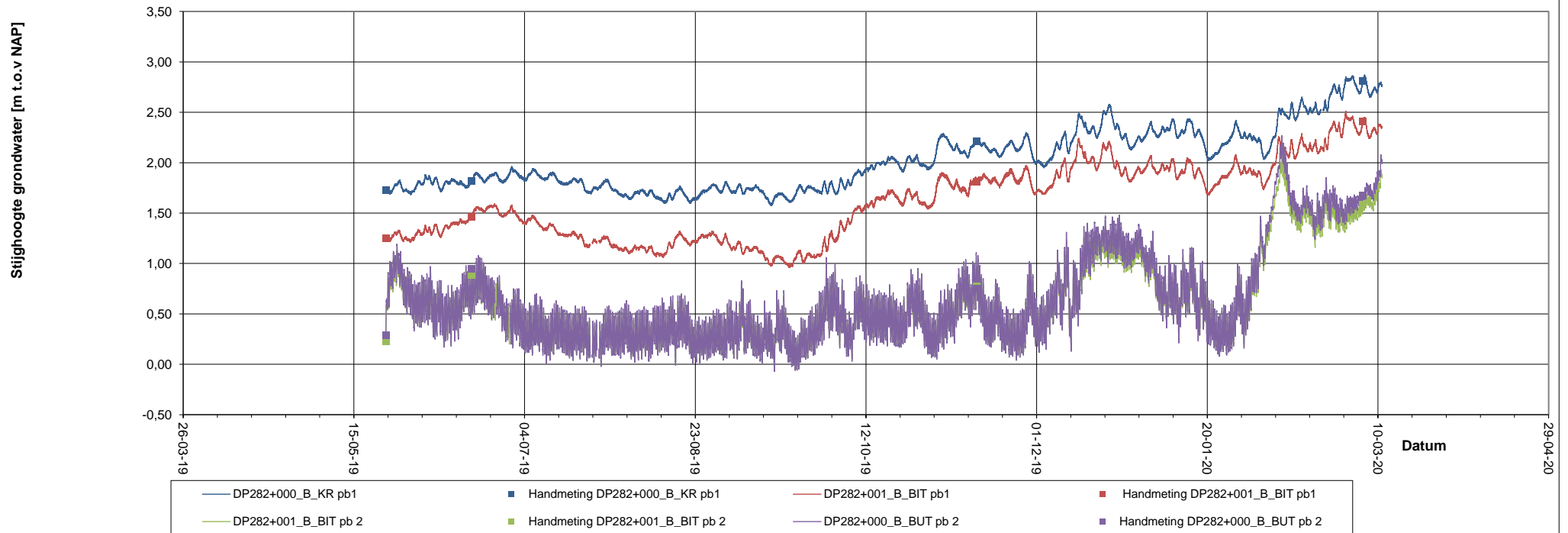




Opdrachtnummer: 02P011039-03
Project: CUB
Omschrijving: Monitoring peilbuizen

Grafiek: DP282
Meetperiode: 24 mei 2019 tot 11 maart 2020

Monitoring grondwaterstanden





Opdrachtnummer: 02P011039-08

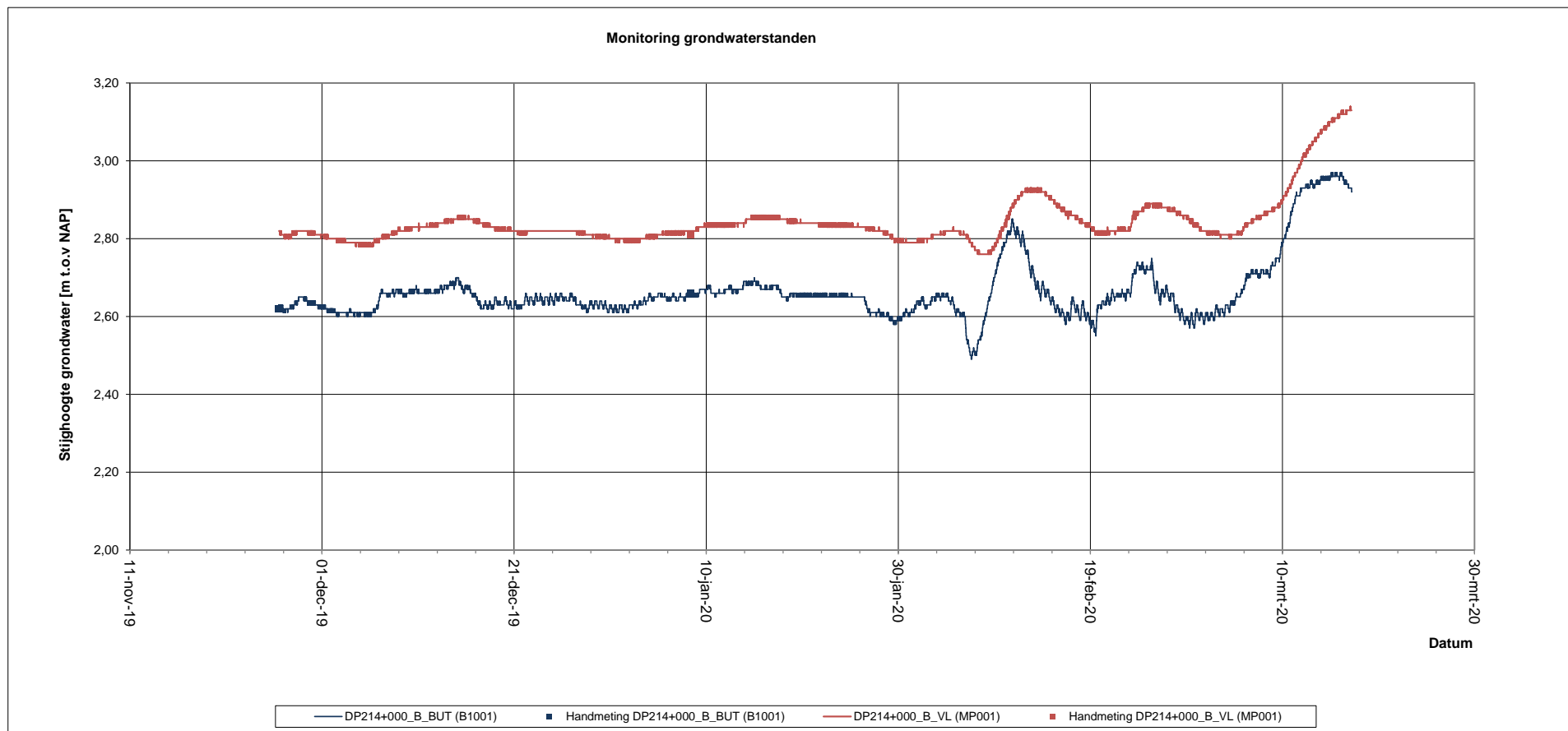
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 1

Meetperiode: 26 november 2019

tot 17 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

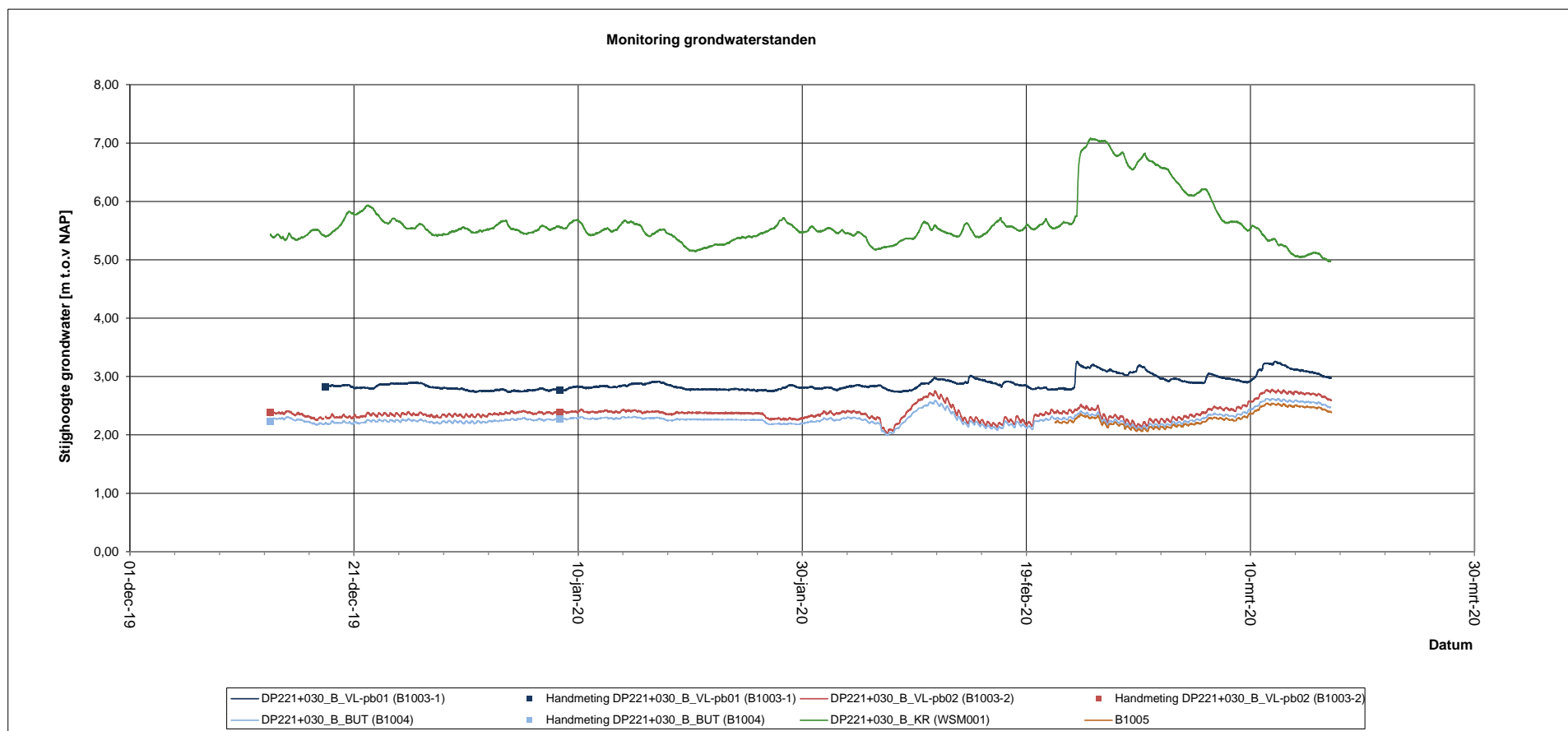
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 2

Meetperiode: 13 december 2019

tot 17 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

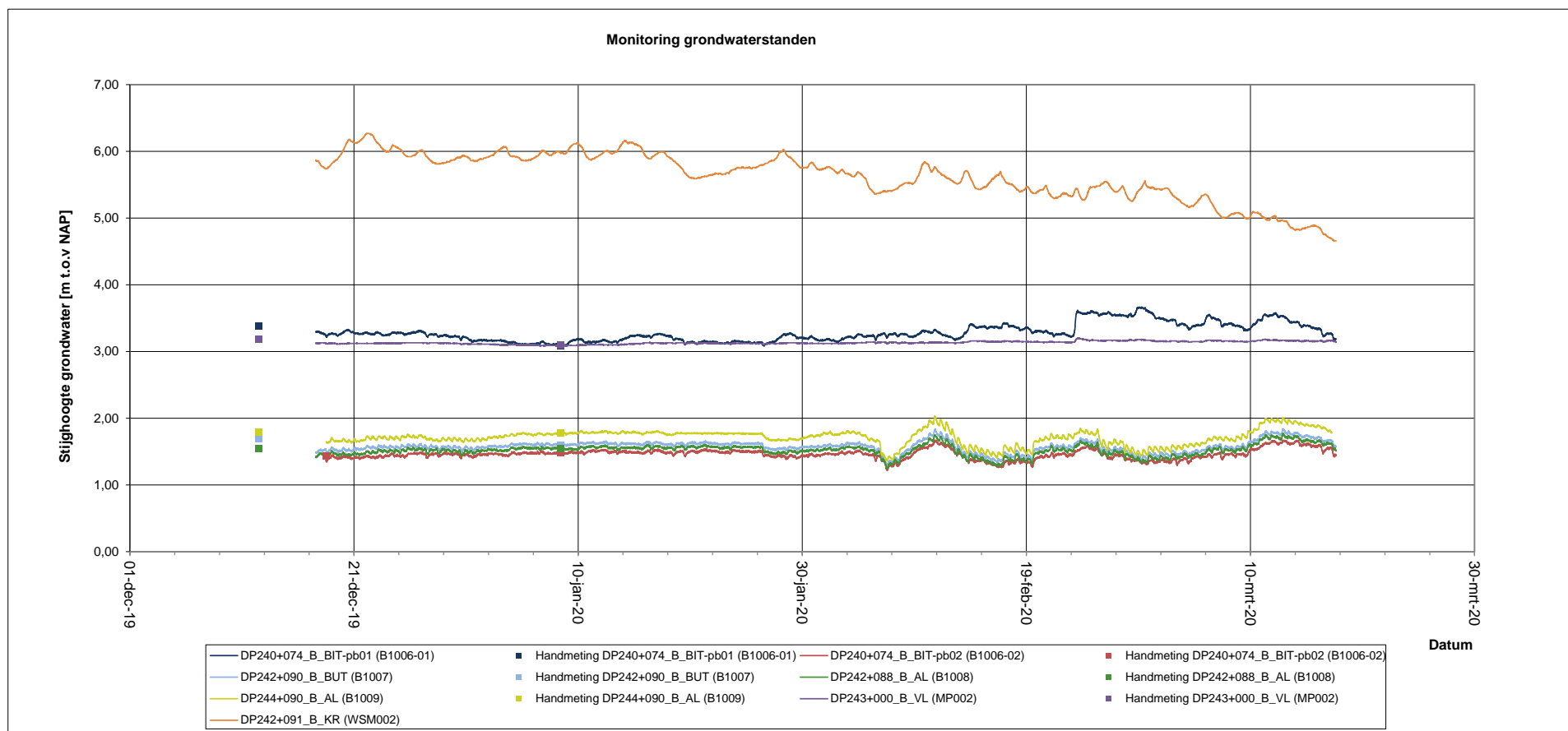
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 3

Meetperiode: 12 december 2019

tot 17 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

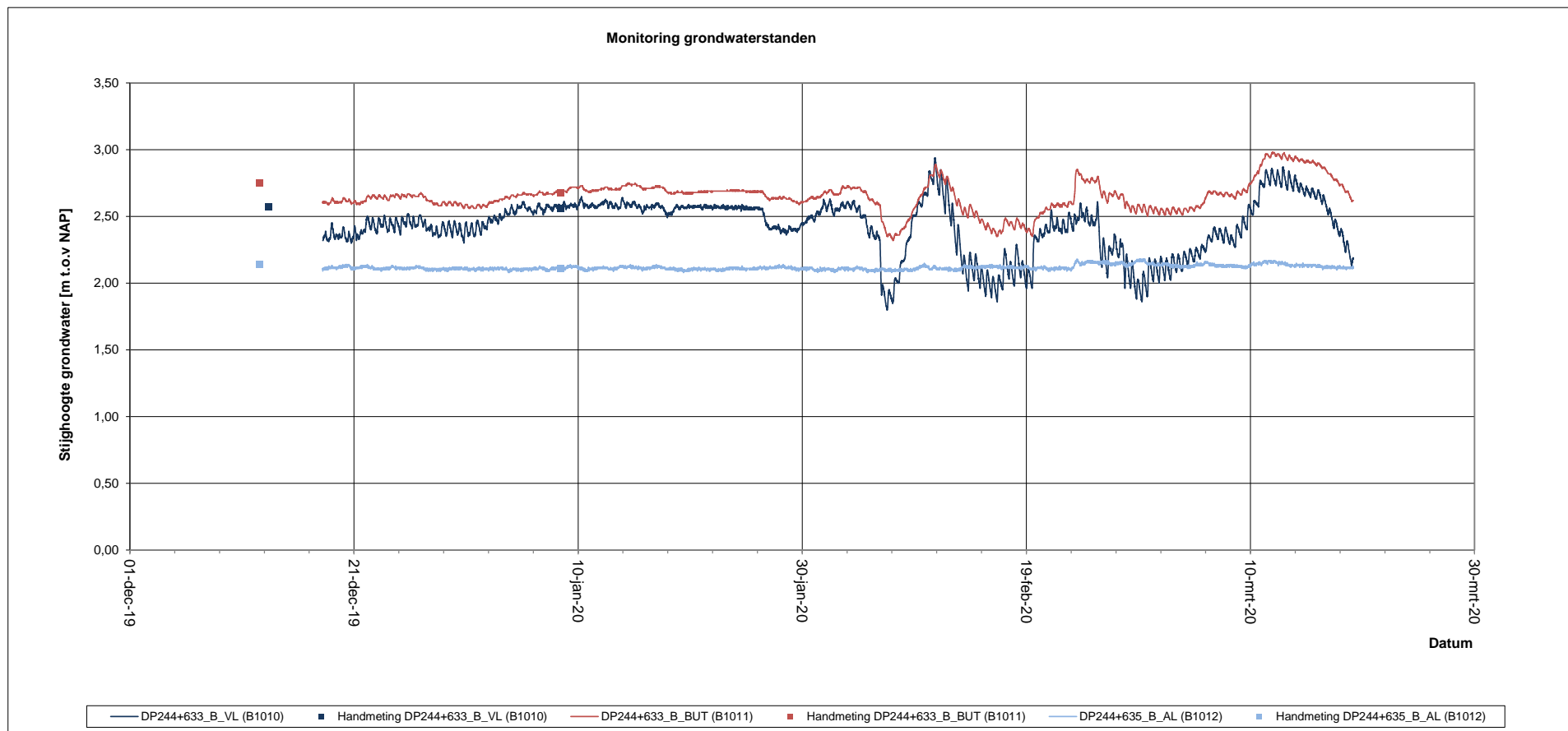
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 4

Meetperiode: 13 december 2019

tot 19 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

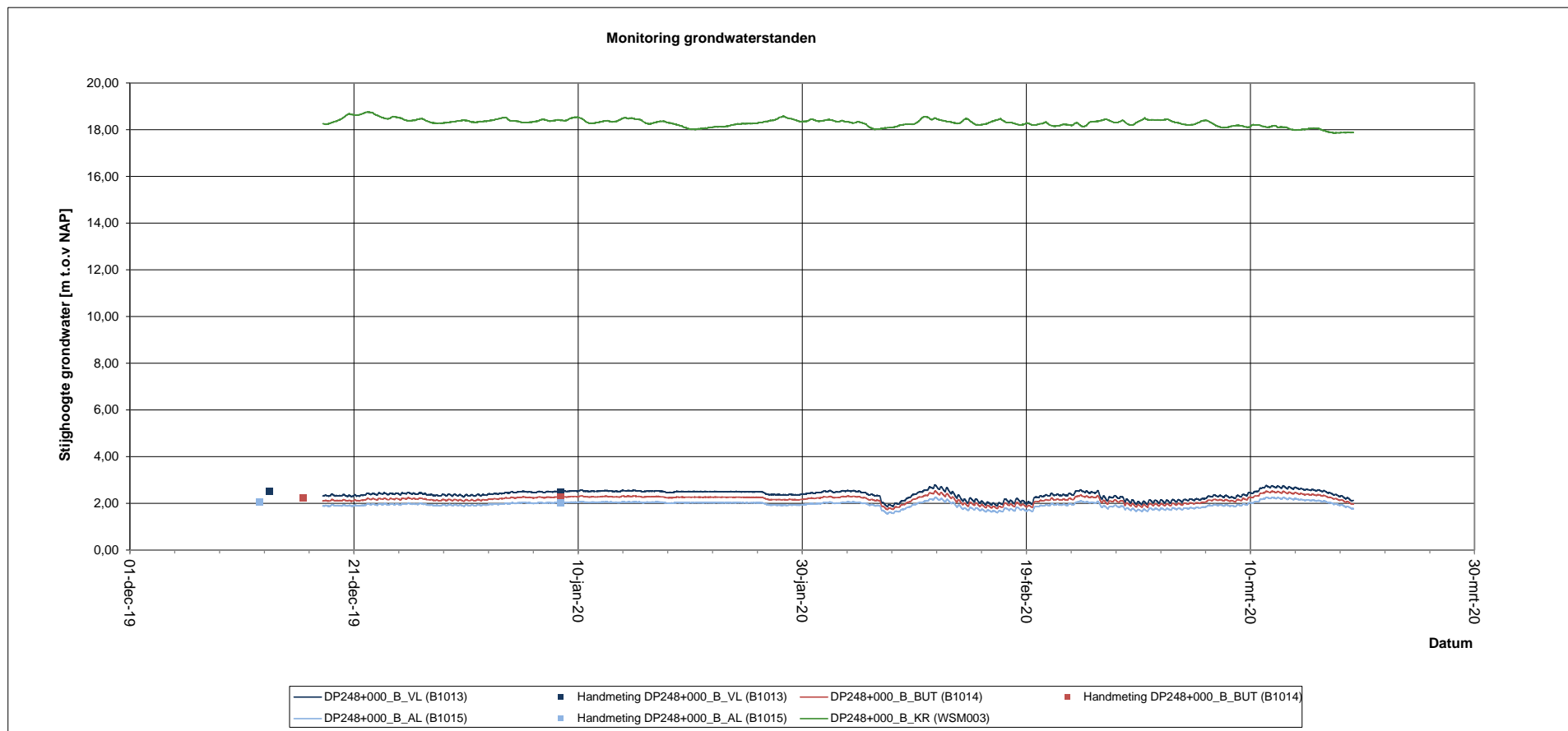
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 5

Meetperiode: 13 december 2019

tot 19 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

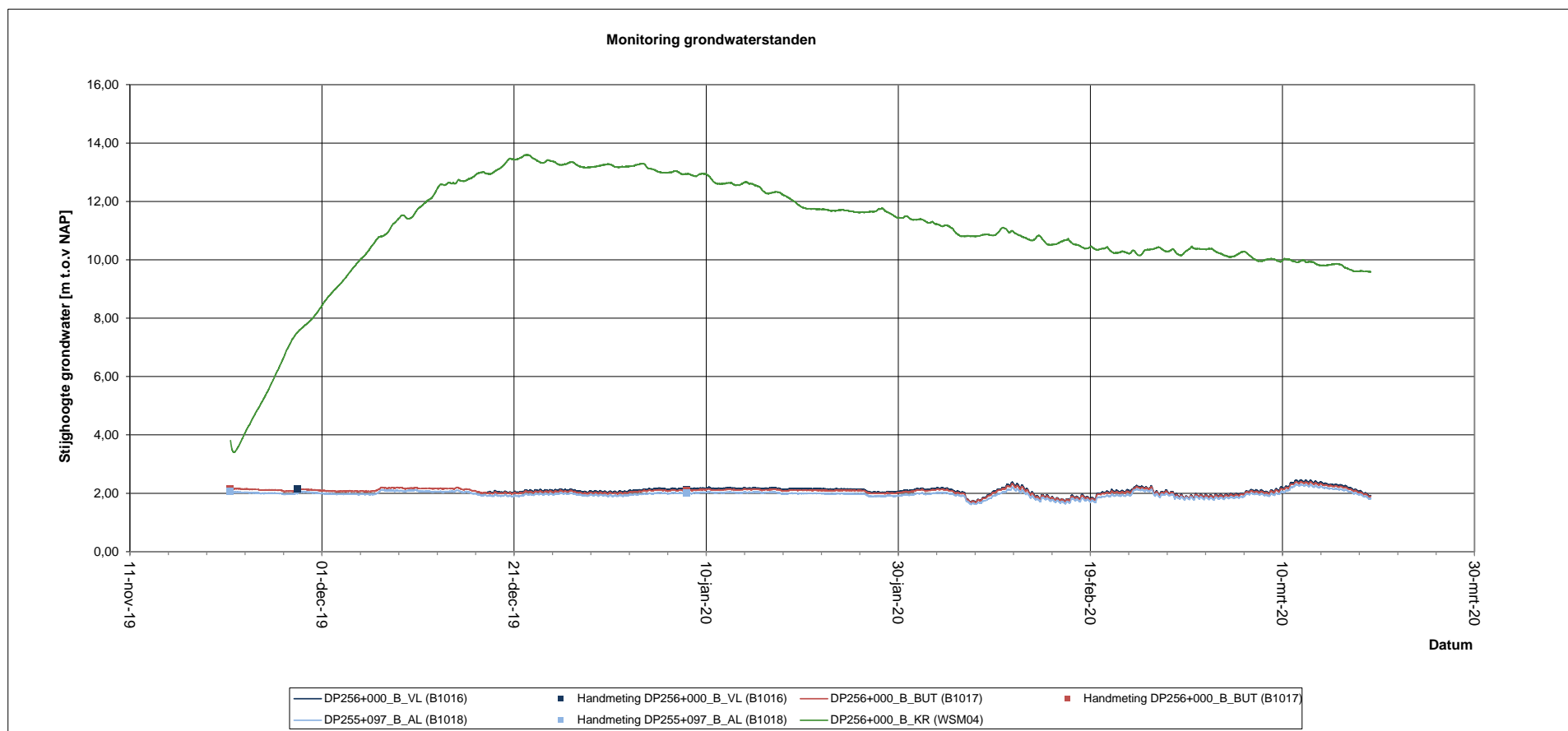
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 6

Meetperiode: 21 november 2019

tot 19 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

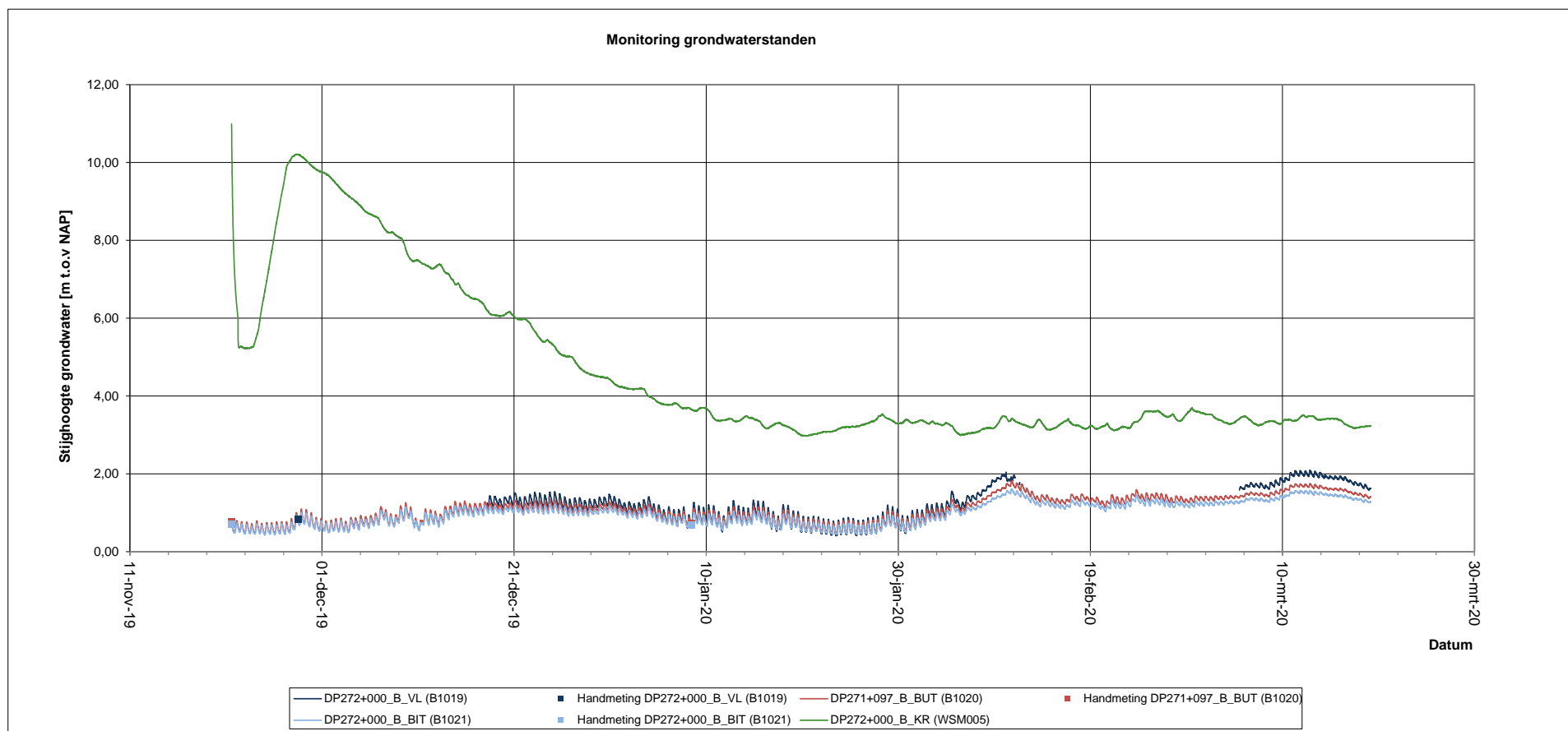
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 7

Meetperiode: 21 november 2019

tot 19 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

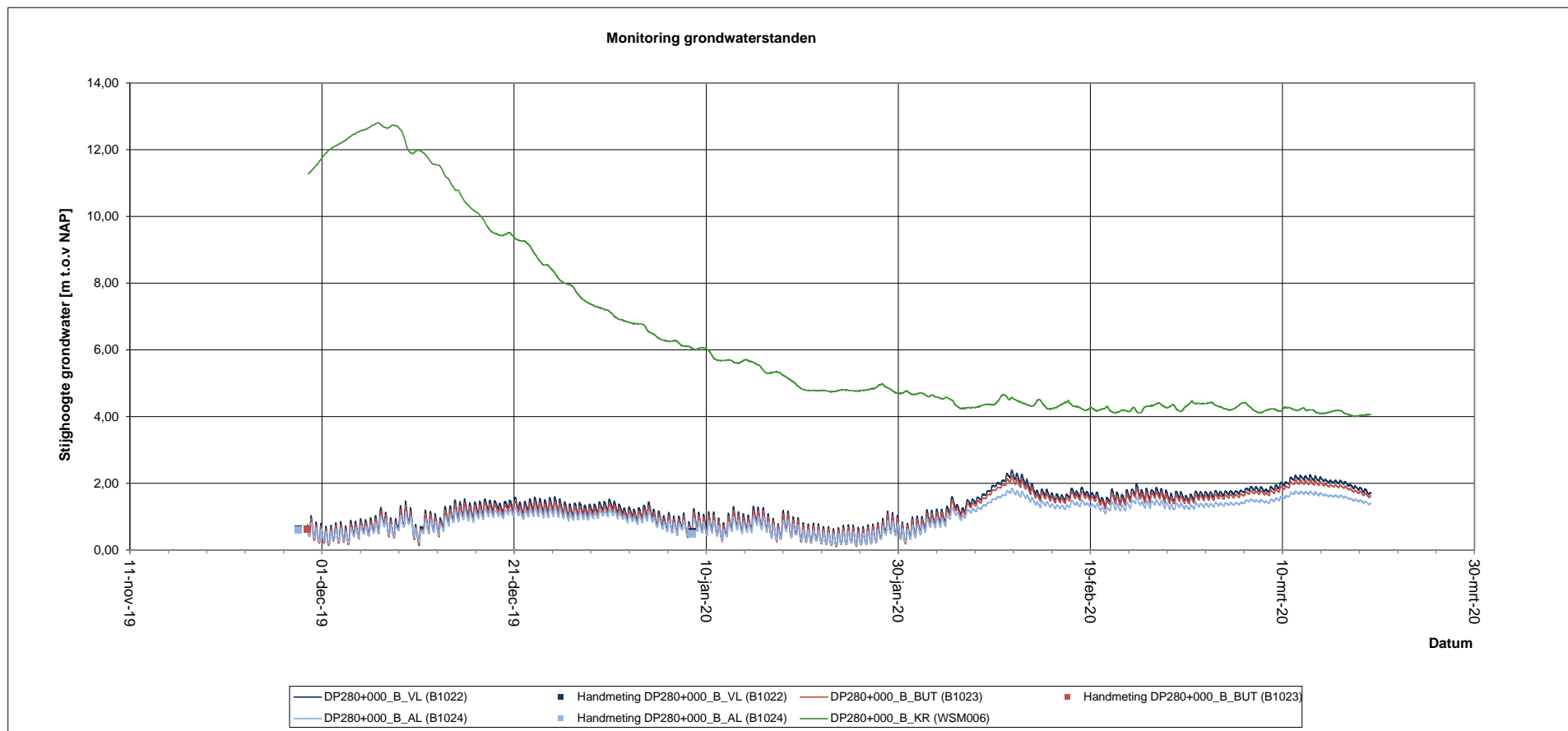
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 8

Meetperiode: 28 november 2019

tot 19 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

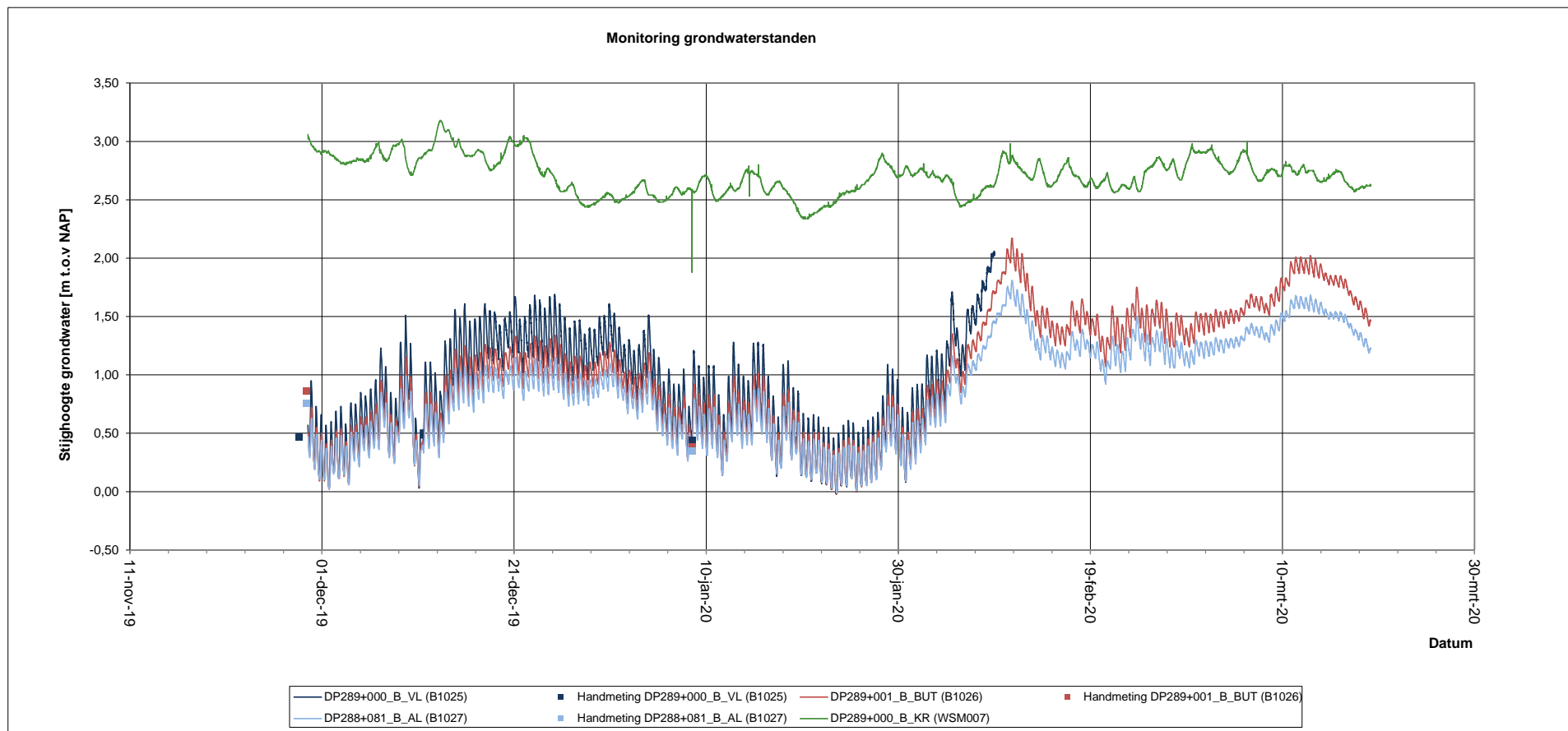
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 9

Meetperiode: 28 november 2019

tot 19 maart 2020





Opdrachtnummer: 02P011039-08

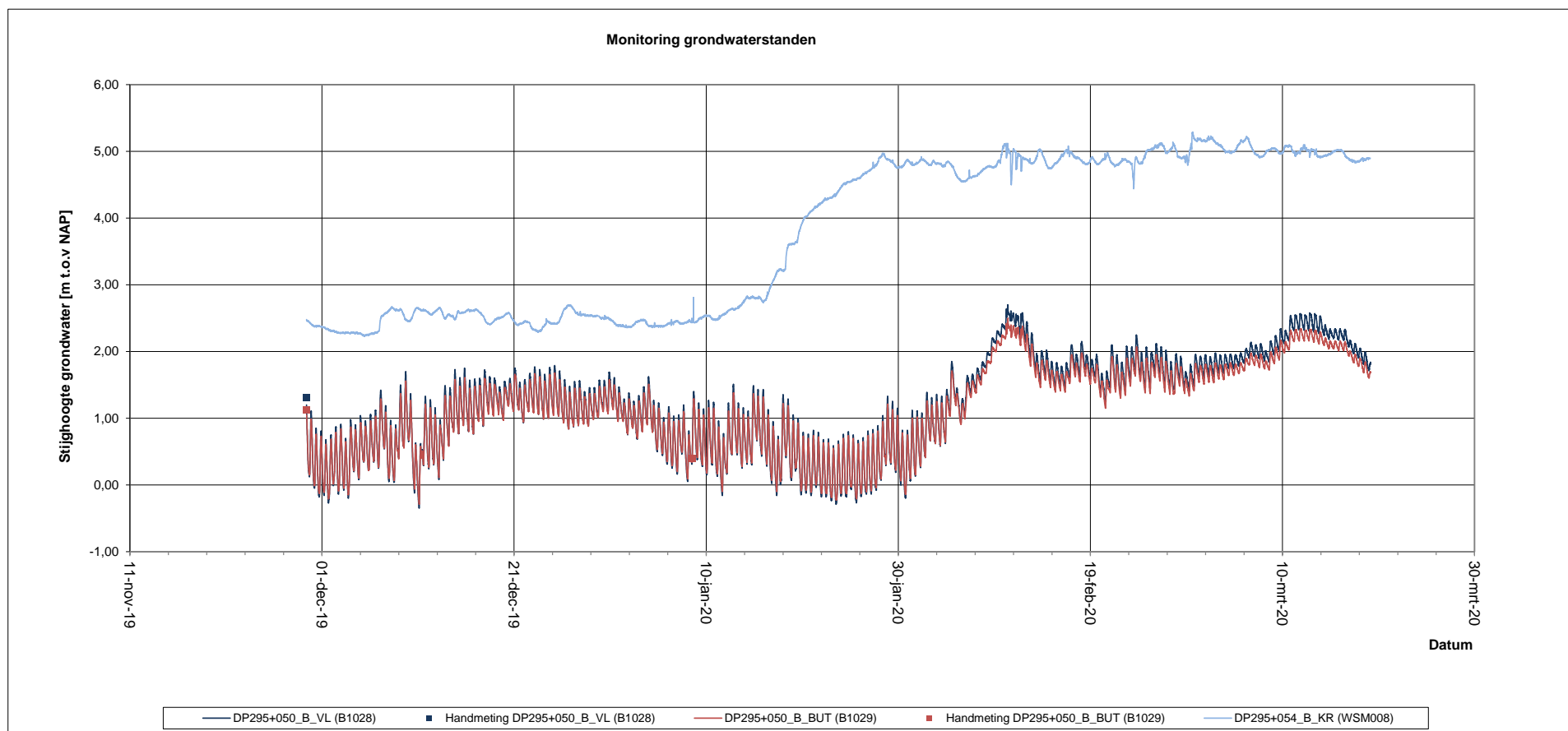
Project: CUB-A

Omschrijving: Monitoring waterspanning

Grafiek: Raai 10

Meetperiode: 29 november 2019

tot 19 maart 2020

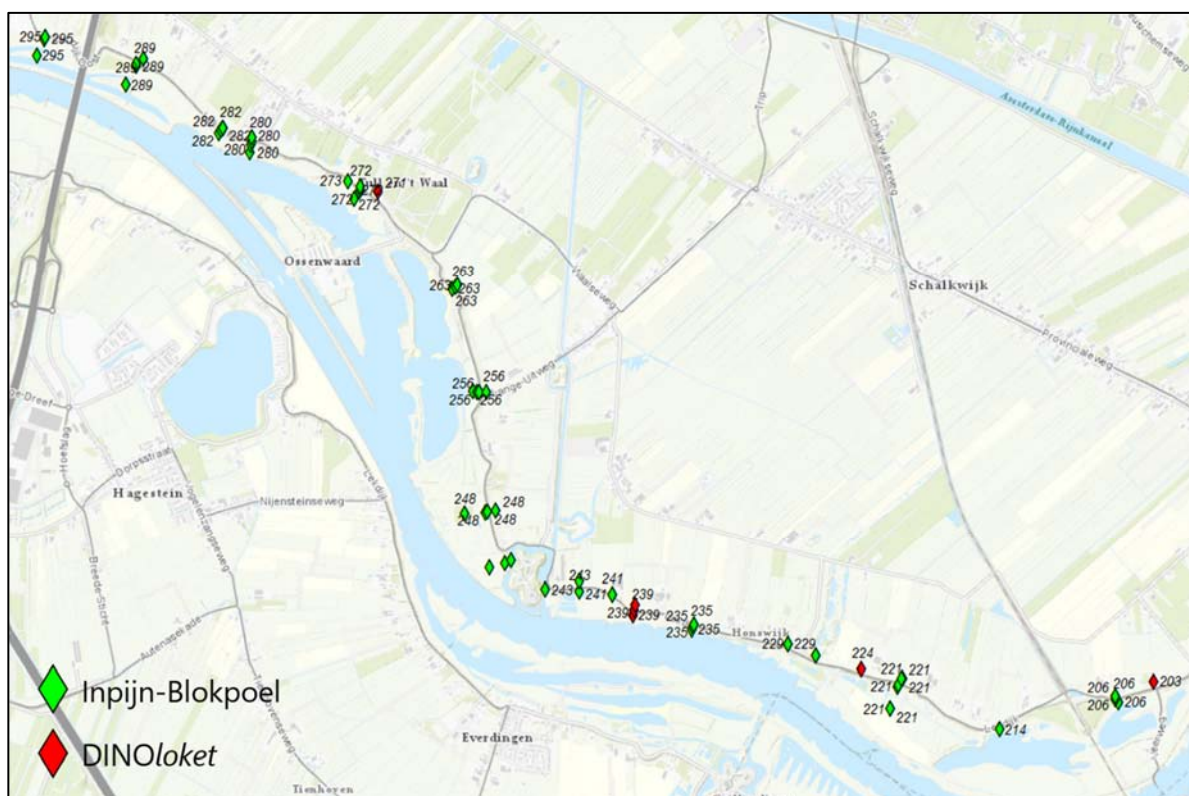


Bijlage H: Responsanalyse

In deze bijlage zijn de responsfactoren voor het deelproject CUB afgeleid. De responsfactor bepaalt de mate waarin de buitenwaterstand bij maatgevend hoogwater de stijghoogte in het achterland beïnvloedt. De responsfactor is bepaald aan de hand van de beschikbare peilbuismetingen in het achterland of de binnenteen van de dijk. Door middel van extrapolatie van de hoogste waterstand, gemeten gedurende een hoogwater golf van enige duur, kan de stijghoogte bij extreme maatgevende waterstanden worden afgeleid. In paragraaf H.1 zijn de locaties van de peilbuisraaiën weergegeven. De volgende paragraaf H.2 zijn de methodiek en uitgangspunten beschreven. In de laatste paragraaf H.3 zijn de uitgevoerde analyses gepresenteerd. Voor een uitgebreide uitwerking van de resultaten wordt verwezen naar bijlage I.

H.1 Locaties peilbuizen

Op het deelproject CUB staan op 22 locaties één of meerdere peilbuizen (peilbuisraai). De peilbuizen zijn verspreid over de gehele dijkstrekking, zie figuur 9.3. De totale lengte van het deelproject CUB bedraagt circa 10,8 km zodat gemiddeld om de 500 m een peilbuismeting beschikbaar is. 5 peilbuis locaties zijn beschikbaar in het DINOloket van TNO. Deze DINOloket peilbuizen zijn gemeten gedurende een periode van 2 februari 2016 tot 08 april 2019. De overige peilbuizen zijn geplaatst en gemonitord door Inpijn-Blokpoel. Deze peilbuizen zijn geïnstalleerd en gemonitord vanaf mei 2019 [14][15].



Figuur 9.3: Overzicht beschikbare peilbuizen CUB

H.2 Uitgangspunten en methodiek

Zoals beschreven in de inleiding is de stijghoogte in het watervoerende zandpakket bij extreme waarden afgeleid middels extrapolatie van de hoogste waterstand gedurende een hoogwatergolf van enige duur. Bij deze methodiek wordt een stationaire situatie aangenomen en uitgegaan van een lineair verband tussen peilbuistopstand en riviertopstand. Deze extrapolatiemethode staat bekend als model 3A en is uitgebreid beschreven in paragraaf 2.3.5 en b3.3 van Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken [4].

Het extrapolatiemodel 3A op basis van topwaterstanden is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- **Stationaire situatie:** De aannahme van een stationaire situatie is gerechtvaardigd aangezien er een lang (>7 dagen) hoogwater van 7 februari tot 14 februari 2020 is gemeten en er geen invloed is van getijde of andere secundaire golven, waardoor het niet-stationaire karakter van de grondwaterstroming beperkt is.
- **Invloed onder water lopen van het voorland:** Het effect van het voorland is in de responsanalyse verwerkt aangezien het voorland zonder zomerkade tijdens het recente hoogwater (net) onderwater heeft gestaan. Daarnaast is gecontroleerd of de 5 DINO/oket peilbuizen een significant hogere respons laten zien, aangezien deze het hoogwater van 2018 hebben gemeten. Het hoogwater van januari 2018 was ruim 80 cm hoger (ca. +4,80 m NAP ter plaatse van Culemborg brug) dan het hoogwater van 2020, waardoor meer voorland onder water stond. Het effect van het voorland wordt overigens in meer detail beschouwd in de maatwerkpaak piping.
- **Invloed bereiken grenspotentiaal:** De geanalyseerde hoogwatergolven zijn niet zo hoog geweest dat deklagen zijn opgedreven en de grenspotentiaal is bereikt.

Het toepassen van de extrapolatiemethode op basis van topwaterstanden is verantwoord voor het bepalen de stijghoogte bij ontwerpomstandigheden is het lineaire verband tussen de metingen afbuigt als het stromingsbeeld in zand overgaat van freatisch (bij een lagere buitenwaterstand) naar artesisch (spanningswater bij een hogere buitenwaterstand). Dit is nader beschouwd in paragraaf H.3.2.

H.2.1 Buitenwaterstand Lek

De buitenwaterstanden van de Lek gedurende de geanalyseerde hoogwaters zijn gedownload van de website van Rijkswaterstaat [13]. Binnen het traject bevinden zich 3 meetstations;

1. Culemborg brug;
2. Hagenstein boven;
3. Hagenstein beneden.

Om de waterstandstanden van de Lek op de locaties van de peilbuizen tussen de RWS meetpunten te bepalen is gebruik gemaakt van interpolatie waarin een lineaire verband is aangenomen, zie tabel 9-3.

Tabel 9-3: Interpolatie buitenwaterstanden CUB en koppeling km-raai aan dijkpaalnummer

DWP	Meetpunt RWS	km-raai	Interpolatiefactor tussen meetpunten	Interpolatiefactor tussen meetpunten	Vaste correctie waarde [m]
202					0,12
203		939			0,1
206					0,04
208	Culemborg brug	939,805	0		0
210		940	0,03		
214			0,15		

215		941	0,17		
221			0,28		
223		942	0,32		
224			0,33		
227			0,37		
229			0,4		
234		943	0,47		
235			0,48		
239			0,54		
241			0,57		
243			0,6		
244		944	0,61		
244+90			0,63		
244+635			0,68		
248			0,74		
249		945	0,76		
256			0,85		
260		946	0,91		
263			0,95		
267	Hagestein boven	946,64	1	0	
271				0,8	
272	Hagestein beneden	947,11		1	0
273					-0,01
280					-0,05
282					-0,06
284		948			-0,07
289					-0,1
295					-0,13
296		949			-0,14
300	Voorhavendijk Zuid				-0,16
303	Voorhavendijk Noord				-0,16

H.2.2 Normwaterstand

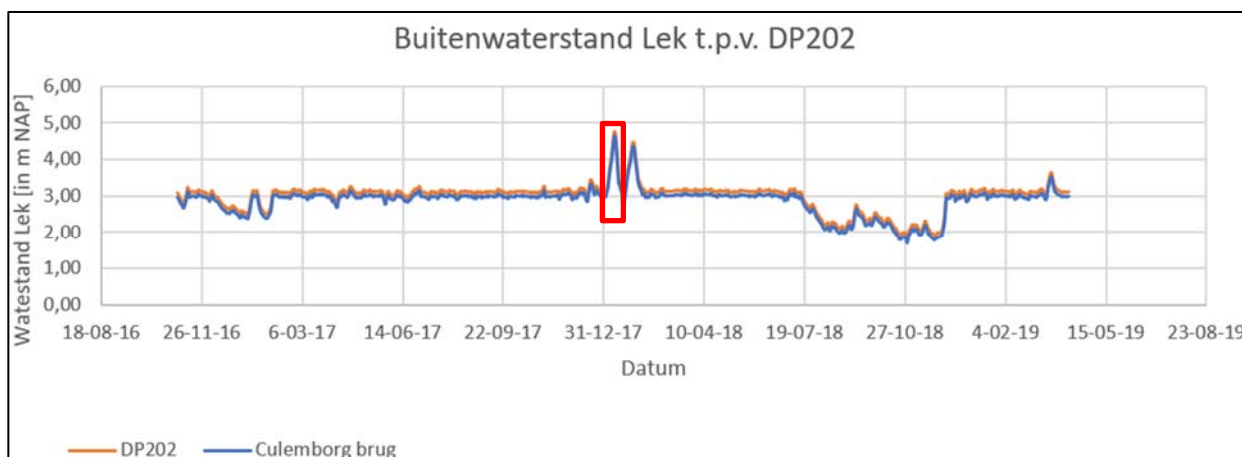
Om de respons per peilbuislocatie te bepalen bij maatgevend omstandigheden zijn de normwaterstanden (WBN) uit de Technische uitgangspuntennotitie [5] overgenomen.

H.2.3 Hoogwatergolven

In deze responsanalyse worden twee hoogwatergolven geanalyseerd. Deze worden hieronder nader beschreven.

Hoogwater januari 2018 (DINOloket peilbuizen)

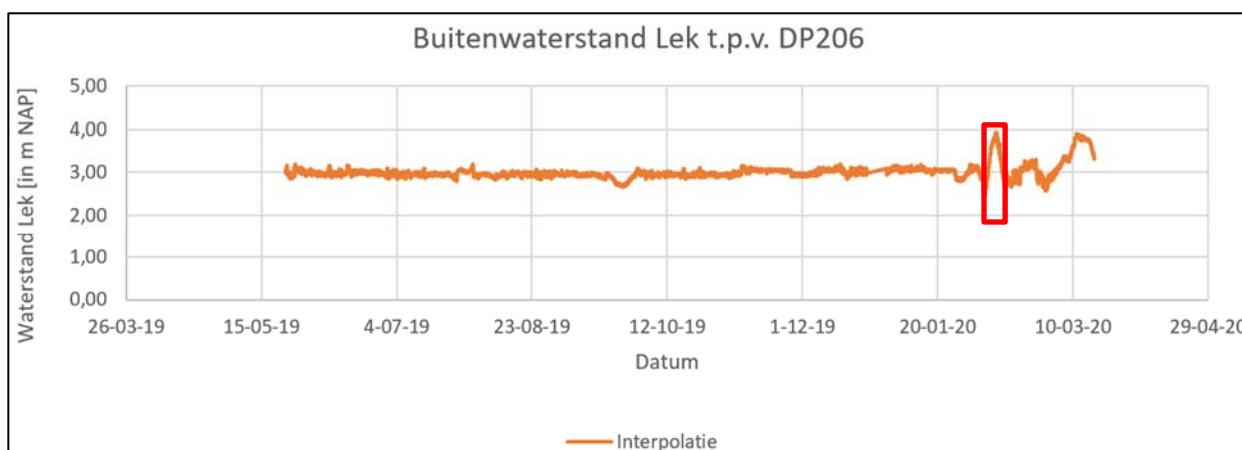
De hoogwatergolf van januari 2018 wordt gebruikt voor de 4 DINOloket peilbuizen (DP202, DP224, DP239 en DP271) die op dat moment functioneel waren. In de responsanalyse is de periode van 2-1-2018 tot 18-1-2018 gebruikt. Het hoogwater bereikte op 11-1-2018 een hoogte van NAP +4,77 m ter plaatse van de Culemborgse brug.



Figuur 9.4: Hoogwatergolf Lek januari 2018 ter plaatse van DWP 202 en Culemborgse brug

Hoogwater februari 2020 (overige peilbuizen Inpijn-Blokpoel)

De hoogwatergolf van januari 2018 wordt gebruikt voor de overige peilbuizen. In de responsanalyse is de periode van 7-2-2020 tot 14-2-2018 gebruikt. Het hoogwater bereikte op 11-2-2018 een hoogte van NAP +3,9 m ter plaatse van de DWP 206.



Figuur 9.5: Hoogwatergolf Lek februari 2020 ter plaatse van DWP 206

H.3 Analyses

H.3.1 Responsfactoren diepe zandlagen

De responsfactoren van de diepe zandlagen zijn opgenomen in tabel 9-4. Voor een uitgebreide analyse van de peilbuizen wordt verwezen naar bijlage I. In de tabel is ook de locatie ten opzichte van de dijk (buitenteen BUT, binnenteen BIT of achterland AL) van de geanalyseerde peilbuis aangegeven. Het is beoogd om de peilbuis ter plaatse van het achterland te analyseren, aangezien dit meest waarschijnlijke locatie van opbarsten is. Indien een peilbuis niet te analyseren is omdat er geen respons is waargenomen of er geen peilbuis is geplaatst dan is uitgeweken naar peilbuis in de binnenteen of in de buitenteen. Hierbij wordt opgemerkt dat een peilbuis in de binnenteen of buitenteen leidt tot een lichte overschatting van de stijghoogte (orde grootte 0,1 m) zoals volgt uit de analyse van het stijghoogteverloop onder de dijk die is opgenomen in paragraaf H.3.4.

De responsfactor is hier gedefinieerd als:

$$r = (\varphi_{WBN} - \varphi_{m\ddot{u}ddelpunt,ellips}) / (H_{WBN} - H_{m\ddot{u}ddelpunt,ellips})$$

waarin:

r	Responsfactor bij maatgevend hoogwater
φ_{WBN}	Geëxtrapoleerde stijghoogte bij de normwaterstand
$\varphi_{m\ddot{u}ddelpunt,ellips}$	Gemiddelde stijghoogte van de cyclische respons gedurende een hoogwatergolf
H_{WBN}	De normwaterstand
$H_{m\ddot{u}ddelpunt,ellips}$	Gemiddelde buitenwaterstand van de cyclische respons gedurende een hoogwatergolf

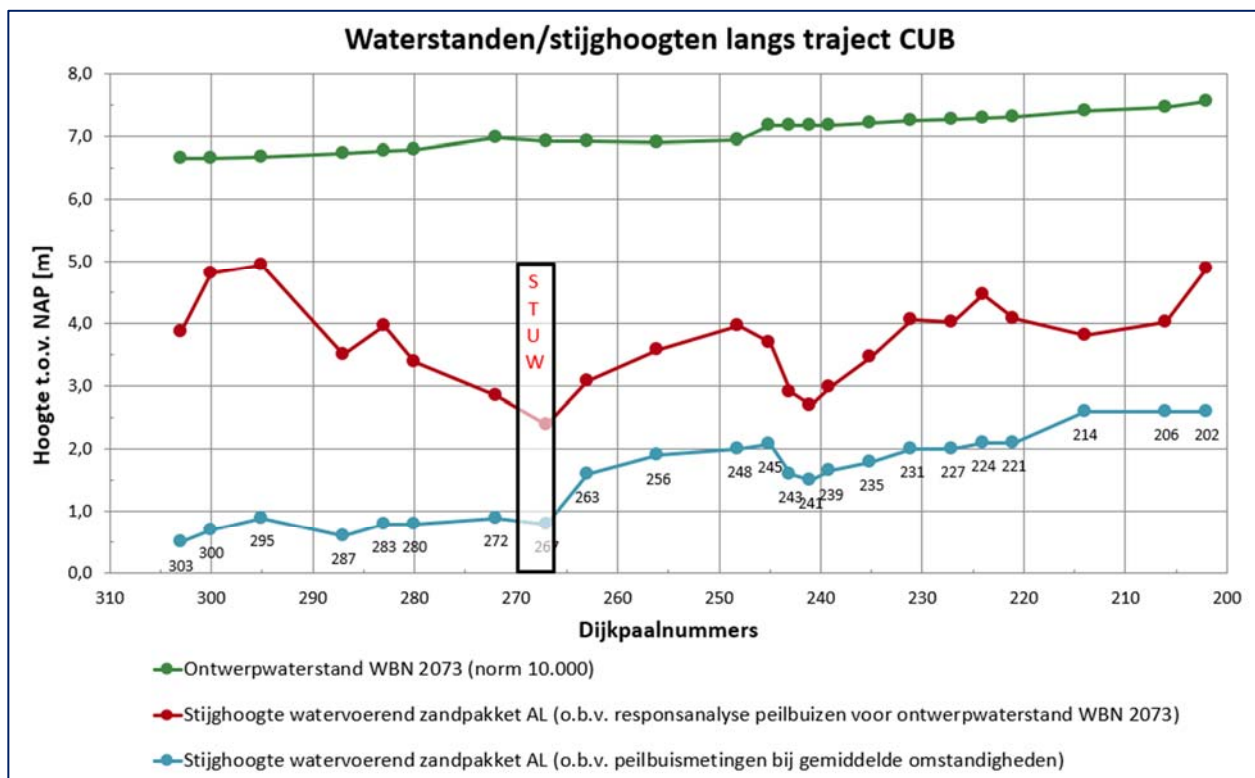
In tabel 9-4 volgt dat de responsfactor varieert tussen de 0,23 en 0,55 met één uitschieter van 0,70.

Tabel 9-4: Resultaten responsanalyse CUB

DWP	Peilbuisnaam	Locatie	H_{WBN} [m NAP]	φ_{WBN} [m NAP]	r [-]
202	44-202L (dinoloket) B39A2382001	AL	7,55	4,89	0,50
206	DP206+004_B_BIT pb2	BIT	7,45	4,02	0,32
214	DP214+000_B_BUT (B1001)	BUT	7,39	3,81	0,27
221	DP221+026_B_AL (B1005)	AL	7,31	4,08	0,42
224	44-224LD (dinoloket) B39A2384002	BIT	7,29	4,46	0,49
226+095	DP226+095_B_AL pb2	AL	7,26	4,01	0,44
229	DP229+000_B_AL pb2	AL	7,25	4,05	0,45
235	DP235+002_B_BIT pb2	BIT	7,21	3,46	0,38
239	44-239LD (dinoloket) B38F2421001	BIT	7,17	2,98	0,31
241	DP240+074_B_BIT-pb02 (B1006-02)	BIT	7,16	2,70	0,28
243	DP242+088_B_AL (B1008)	AL	7,16	2,90	0,32

244+090	DP244+090_B_AL (B1009)	AL	7,16	3,69	0,46
244+635	DP244+633_B_BUT (B1011)	BUT	7,16	4,34	0,40
248	DP248+000_B_AL (B1015)	AL	6,93	3,96	0,49
256	DP255+097_B_AL (B1018)	AL	6,91	3,58	0,39
263	DP262+114_B_BIT pb3	BIT	6,91	3,08	0,32
271	44-271LD (dinoloket) B38F2420002	BIT	6,84	2,39	0,23
272	DP272+000_B_BIT (B1021)	BIT	6,82	2,79	0,34
280	DP280+000_B_AL (B1024)	AL	6,78	3,39	0,44
282	DP282+001_B_BIT pb2	BIT	6,76	3,97	0,54
289	DP288+081_B_AL (B1027)	AL	6,72	3,50	0,48
295	DP295+050_B_BUT (B1029)	BUT	6,67	4,94	0,70
300	pb1-A-diep	AL	6,64	4,81	0,69
303	pb3-A-diep	AL	6,64	3,87	0,55

In figuur 9.6 zijn de geëxtrapoleerde stijghoogtes bij de normwaterstand per peilbuislocatie in een grafiek geplott.



Figuur 9.6: Overzicht resultaten geëxtrapoleerde stijghoogtes bij de normwaterstand per peilbuislocatie langs deeltraject CUB

Voor de stijghoogte in het watervoerende zandpakket bij gemiddelde omstandigheden (gebaseerd op peilbuismetingen) is een duidelijk onderscheid te maken in het gebied ten westen van de stuw Hagestein en ten oosten van de stuw.

- Ten westen van de stuw is bij gemiddelde omstandigheden een getijdeslag van ca. 1,0 m aanwezig met een gemiddeld buitenwaterniveau van NAP +1,09 m. De stijghoogte in het watervoerende pakket is hier gemiddeld circa 0,5 m lager.
- Ten oosten van de stuw is het buitenwaterniveau afgesteld op een stuwpeil van NAP +3,0 m. De stijghoogte in het watervoerende pakket is hier circa 0,5 tot 1,5 m lager.

De op basis van de responsanalyse afgeleide stijghoogte in het watervoerende zandpakket bij voor de ontwerpwatervlucht WBN geeft een wisselend beeld langs het traject van CUB.

- De hoge stijghoogte bij dijkpaal 300 en 295 wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door weinig weerstand in het voorland en de rivierbodem en een relatief hoge doorlatendheid van het watervoerende pakket. Dit vermoeden wordt versterkt door kweloverlast in het verleden. Om deze reden gaf de grondeigenaar ook geen toestemming voor het plaatsen van een peilbuis in de binnentoecht bij dijkpaal 295. De responsfactor voor dijkpaal 295 is als gevolg hiervan bepaald op basis van de beschikbare peilbuis ter plaatse van de buitentoecht wat leidt tot een overschatting van de factor.
- De relatief lage stijghoogte die tussen dijkpaal 245 en 231 wordt gevonden is te verklaren door de aanwezigheid van een breed voorland tussen dijkpaal 245 en 240. Vervolgens is van dijkpaal 240 tot 231 het pleistocene watervoerende zandpakket waarschijnlijk minder doorlatend, resulterend in een lagere stijghoogte.
- De overige variaties worden veroorzaakt het verschil in de weerstand en lengte van het voorland en doorlatendheid en dikte van het watervoerende zandpakket. Het is daarom nog niet eenduidig vast te stellen wat de oorzaak is van een variatie.
- De responsfactor uit de DINOloket peilbuizen wijken niet significant af van de overige peilbuizen, hierdoor is aangenomen dat het effect van het voorland correct is verdisconteerd.

H.3.2 Nadere analyse peilbuis DWP 202

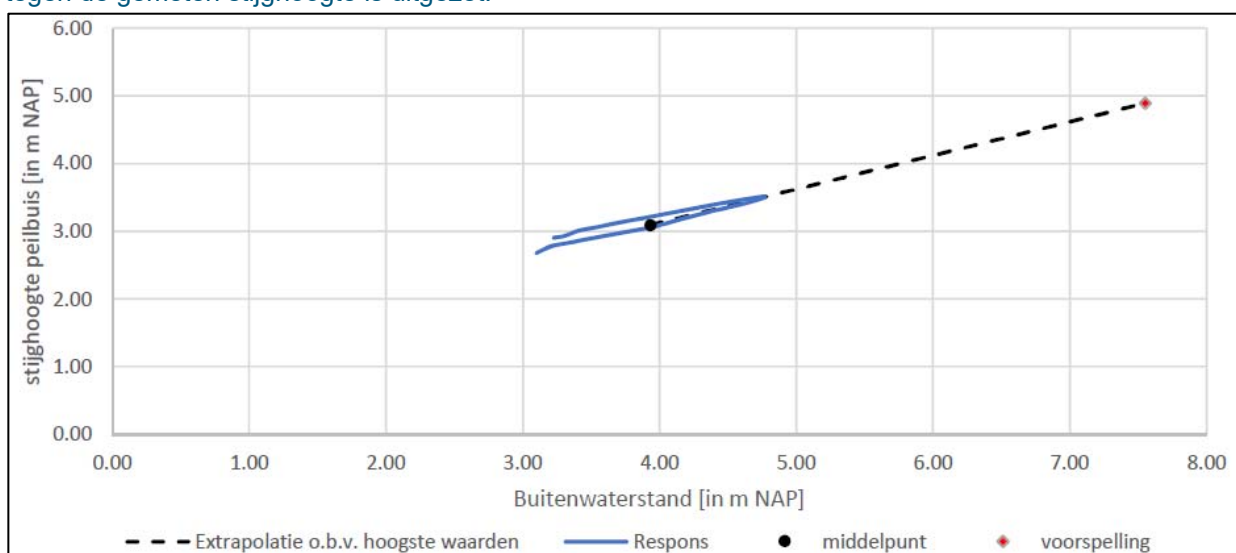
In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op peilbuis 44-202L uit het DINOloket die representatief wordt gesteld voor dijkvak 9d. Deze peilbuis staat in het achterland nabij de Veerweg aan de oostzijde van het deelproject CUB.



Figuur 9.7: Locatie peilbuis 44-202L ter plaatse van DWP 202 aan de oostzijde van het deelproject CUB

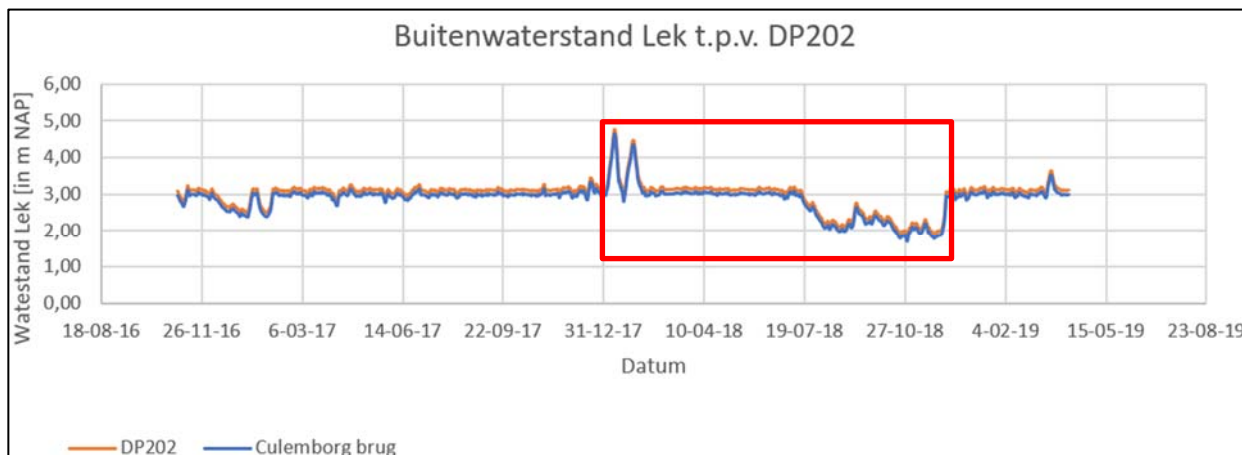
Uit de in bijlage T opgenomen gevoeligheidsanalyse volgt dat de gevoeligheid voor een toename van de stijghoogte in het watervoerende zandpakket op het faalmechanisme piping groot is voor dit dijkvak 9d.

In bijlage I is de responsfactor afgeleid voor de hoogwatergolf van januari 2018 (zie paragraaf H.2.3). Hierbij zijn alleen de waarden van de hoogwatergolf geplot in de grafiek waarbij de buitenwaterstand tegen de gemeten stijghoogte is uitgezet.

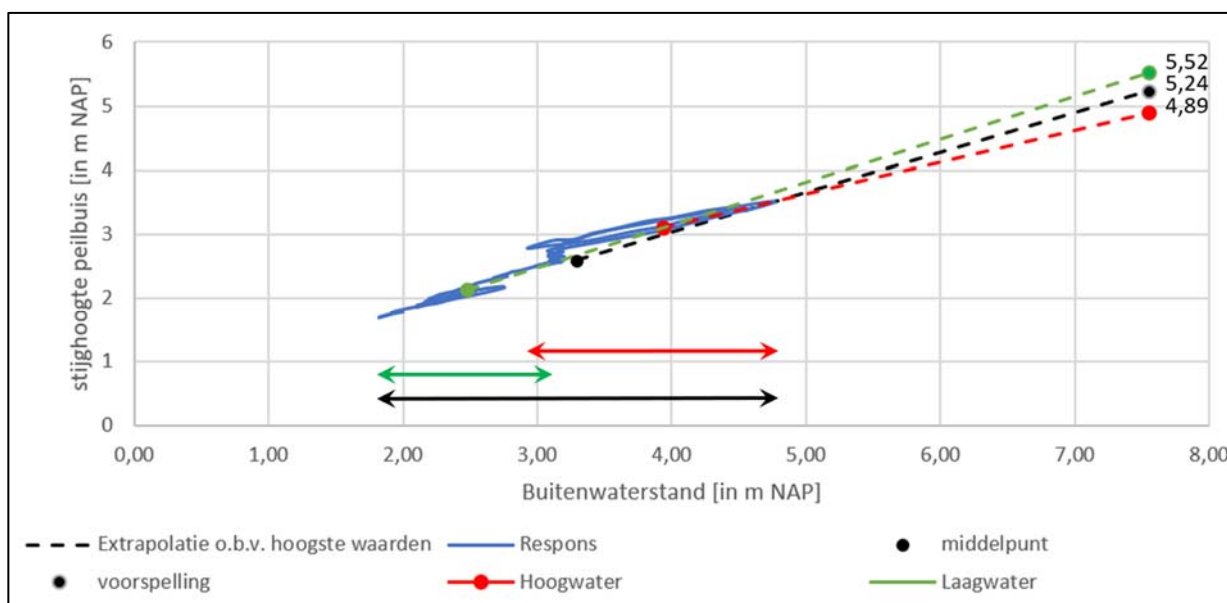


Figuur 9.8: Extrapolatie stijghoogtemeting voor peilbuis 44-202L ter plaatse van DWP 202 voor de hoogwatergolf van januari 2018

Wanneer in de grafiek ook de meetwaarden worden opgenomen voor de situatie onder normale omstandigheden en de droge periode in de zomer van 2018 dan wordt een completer beeld verkregen van de respons van de stijghoogte op de buitenwaterstand.



Figuur 9.9: Hoogwatergolf en laagwaterperiode Lek 2018 ter plaatse van DWP 202 en Culemborgse brug



Figuur 9.10: Extrapolatie stijghoogtemeting voor peilbuis 44-202L ter plaatse van DWP 202 voor de hoogwatergolf van januari 2018 en droge periode van 2018

In figuur 9.10 zijn 3 mogelijke extrapolatie van de stijghoogte als respons op de buitenwaterstand opgenomen:

- Een extrapolatie van de gemeten stijghoogten tijdens het laagwater in de periode 19-7-2018 tot 14-12-2018. Wanneer deze waarden worden geëxtrapoleerd naar een WBN van NAP +7,55 m wordt een stijghoogte van NAP +5,52 m gevonden.
- Een extrapolatie van de gemeten stijghoogten tijdens het hoogwater en laagwater in de periode 2-1-2018 tot 30-10-2018. Wanneer deze waarden worden geëxtrapoleerd naar een WBN van NAP +7,55 m wordt een stijghoogte van NAP +5,24 m gevonden.
- Een extrapolatie van de gemeten stijghoogten tijdens het hoogwater in de periode 2-1-2018 tot 18-1-2018. Wanneer deze waarden worden geëxtrapoleerd naar een WBN van NAP +7,55 m wordt een stijghoogte van NAP +4,89 m gevonden zoals opgenomen in bijlage I.

Op basis van figuur 9.10 kan worden afgeleid dat wanneer een extrapolatie van de gemeten stijghoogte wordt uitgevoerd op hogere waarden van de buitenwaterstand de gevonden respons kleiner wordt. Dit

wordt veroorzaakt doordat het stromingsbeeld in het watervoerende zandpakket overgaat van freatisch (bij lagere buitenwaterstand) naar artesisch (spanningswater bij een hogere buitenwaterstand). De extrapolatie op basis van topwaterstanden bij een hoge buitenwaterstand zijn representatief voor een hoogwatergolf. Voor peilbuis 44-202L ter plaatse van de DWP 202 is daarom een stijghoogte van NAP +4,89 m gehanteerd. De extrapolatie van alleen de hoogwatergolf is voor alle peilbuizen toegepast.

H.3.3 Responsfactoren tussenzandlagen

In tabel 9-5 zijn de responsfactoren in de aanwezige ondiepe peilbuizen in een tussenzandlaag of deklaag weergegeven. In de analyse is nauwelijks of geen trend waargenomen tussen het buitenwater en de peilbuisstand. De peilbuisstand lijkt gevoeliger voor bijvoorbeeld infiltratie van hemelwater. Op basis van deze data is geconcludeerd dat de tussenzandlagen niet of amper in verbinding staan met het buitenwater. De tussenzandlagen zijn hierdoor niet pipinggevoelig en mogen worden gerekend tot de deklaag.

Tabel 9-5: Resultaten responsanalyse CUB voor de ondiepe peilbuizen in een tussenzandlaag (TZ) of deklaag (DL).

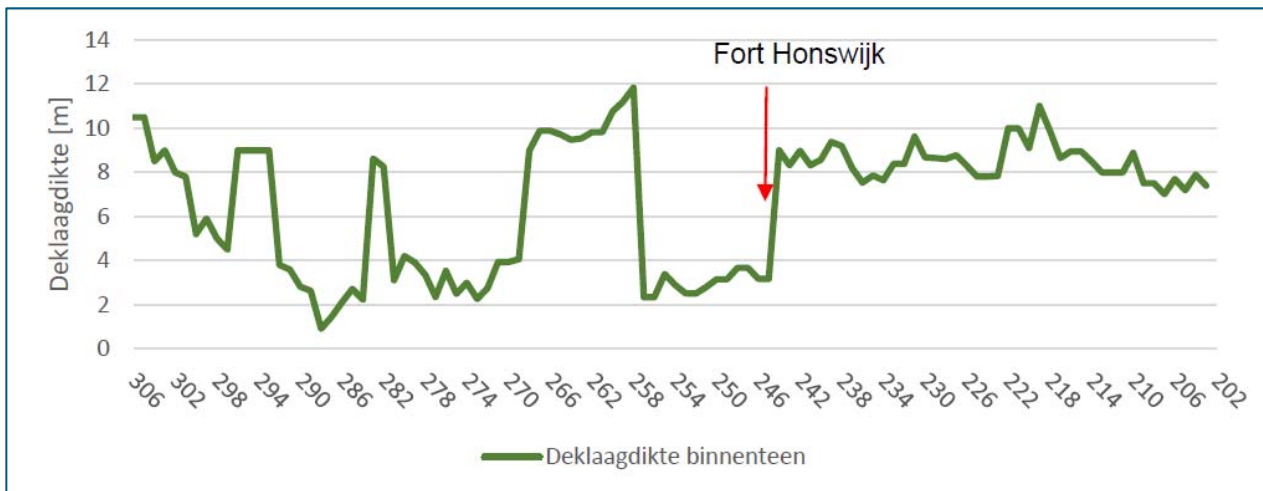
DWP	Peilbuisnaam	Locatie	Laag	H_{WBN} [m NAP]	Φ_{MBN} [m NAP]	r [-]
206	DP206+004_B_BIT pb1	BIT	DL	7,45		geen
226+095	DP226+095_B_AL pb1	AL	DL	7,26		geen
229	DP229+000_B_AL pb1	AL	TZ	7,25	2,10	0,12
235	DP235+002_B_BIT pb1	BIT	DL	7,21		geen
241	DP240+074_B_BIT-pb01 (B1006-01)	BIT	TZ	7,16		geen
244+635	DP244+633_B_AL (B1012)	AL	TZ	7,16		geen
263	DP262+114_B_BIT pb2	BIT	DL	6,91		geen
282	DP282+001_B_BIT pb1	BIT	DL	6,76		geen

H.3.4 Stijghoogteverloop onder de dijk

Het verloop van de stijghoogte onder de dijk richting het achterland is voor 4 peilbuisraaien beschouwd. Het gaat hierbij om de raaien nabij DWP 221, DWP 235 en DWP 256. De raaien zijn hierbij zo gekozen dat er variatie aanwezig is in de breedte van het aanwezige voorland en de deklaagdikte ter plaatse van het achterland.

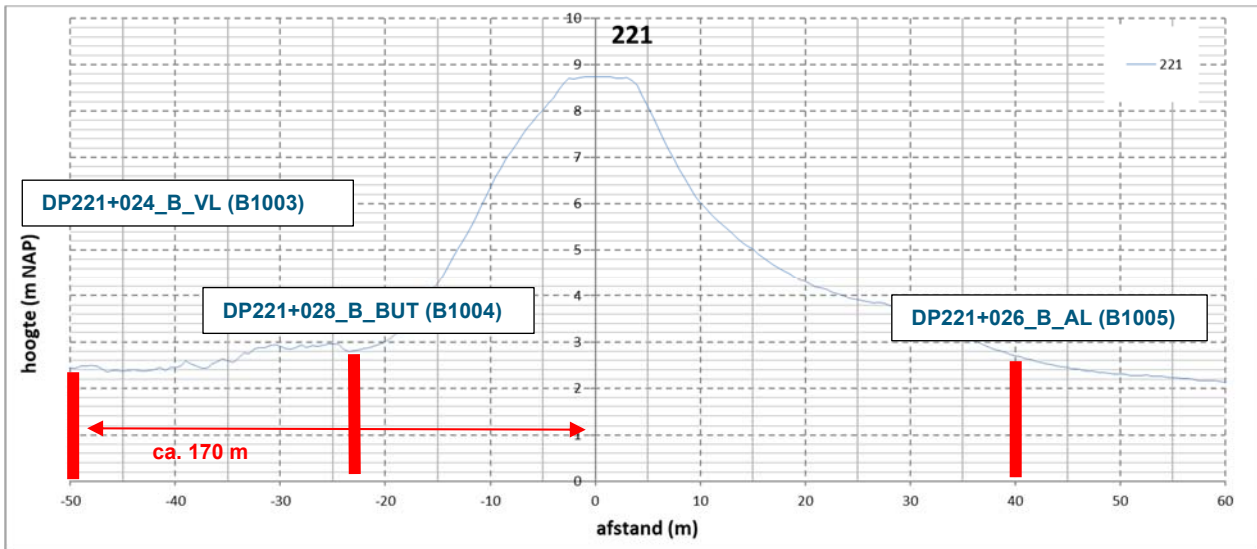
Tabel 9-6: Resultaten responsanalyse CUB voor de ondiepe peilbuis

DWP	Lengte voorland [m]	Deklaagdikte achterland [m]	Bovenzijde watervoerend zandpakket (t.o.v. NAP [m])
221	400	9,3	-6 à -7
235	0 (schaardijk)	7,9	-5 à -6
256	60	2,7	0 à +1
280	100	5,2	0 à -2



Figuur 9.11: Indicatieve deklaagdikte binnenteen in meters per dijkpaal (overgenomen uit Technische uitgangspuntennotitie [5])

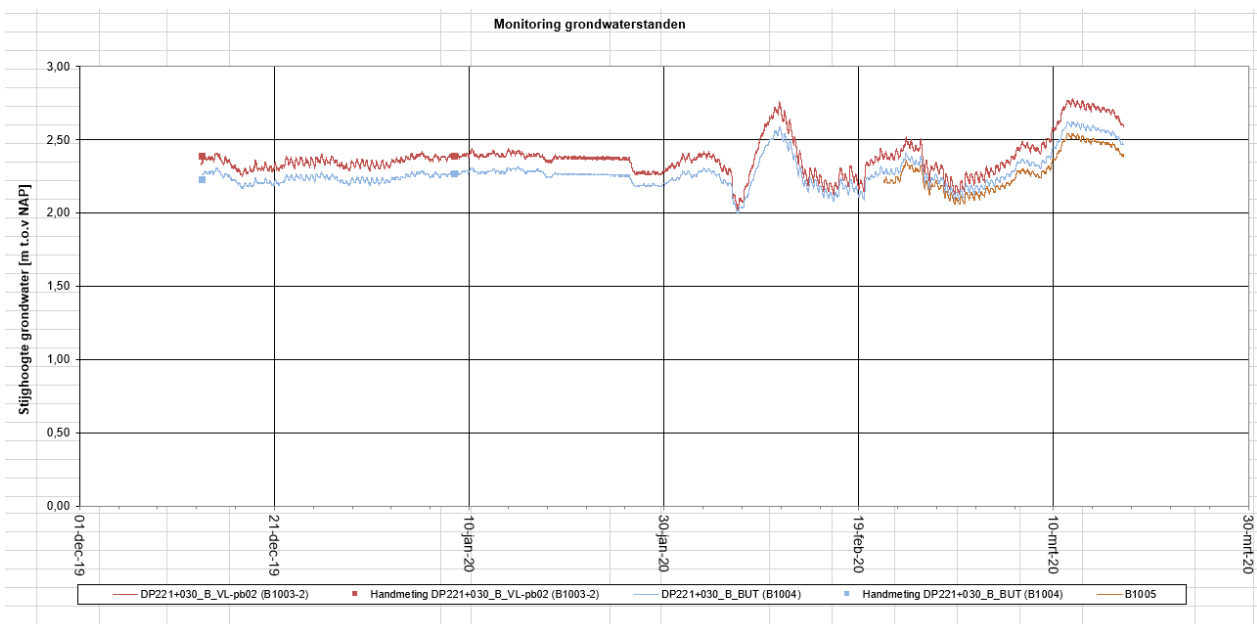
Peilbuisraai 221



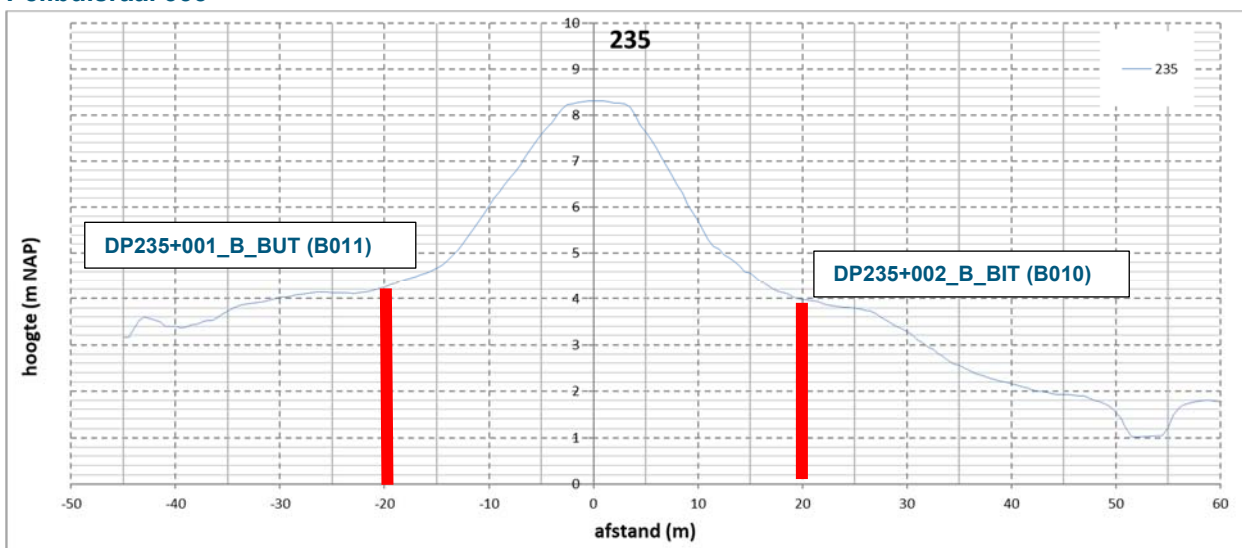
Boring	DP221+024_B_VL (B1003)	DP221+028_B_BUT (B1004)	DP221+026_B_AL (B1005)
Peilbuis nr.	2	1	1
Diepte filter (t.o.v. NAP)	(-8,5 tot -9,5)	(-8,0 tot -9,0)	(-8,2 tot -9,2)

Uit onderstaande grafiek kan worden afgeleid:

- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in voorland en buitenteen (tussenafstand ca. 150 m) bedraagt ca. 0,1 m.
- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in buitenteen en achterland (tussenafstand bedraagt ca. 65 m) bedraagt ca. 0,05 m.



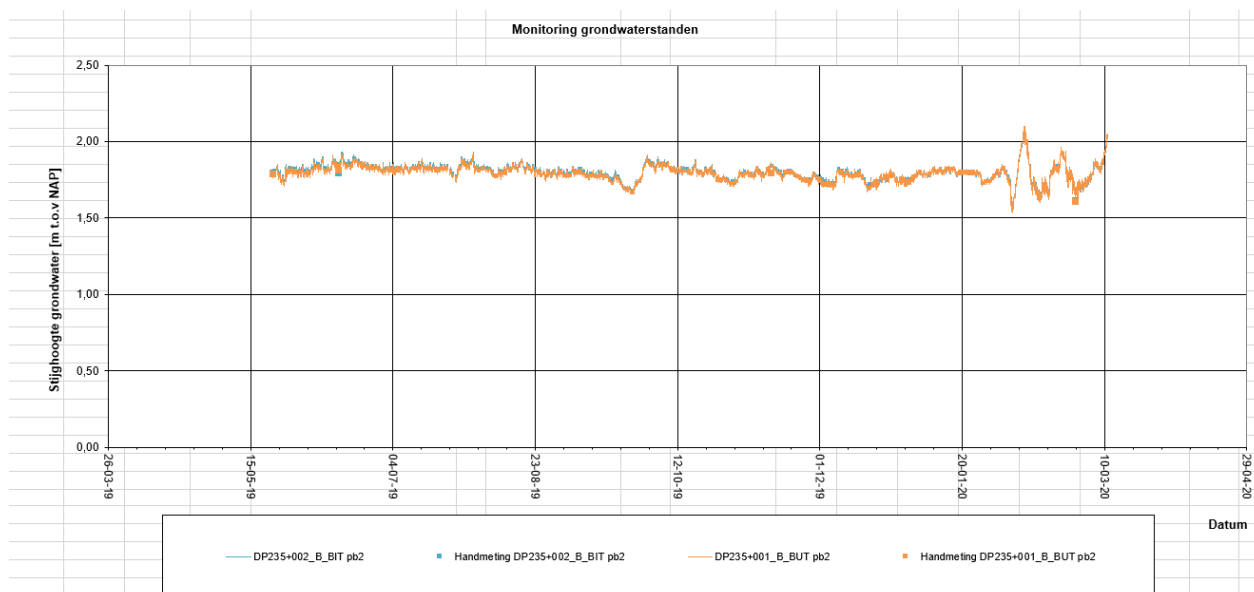
Peilbuisraai 335



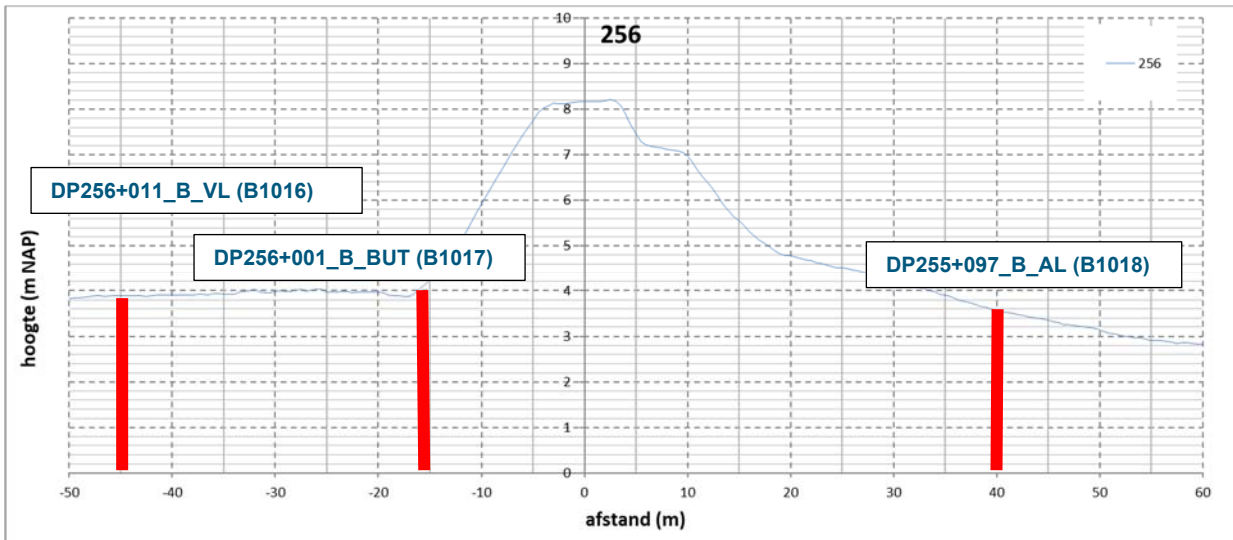
Boring	DP235+001_B_BUT (B011)	DP235+002_B_BIT (B010)
Peilbuis nr.	2	2
Diepte filter (t.o.v. NAP)	(-6,5 tot -7,5)	(-6,3 tot -7,3)

Uit onderstaande grafiek kan worden afgeleid:

- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in buitenteen en binnenteen (tussenafstand bedraagt ca. 40 m) is nihil.



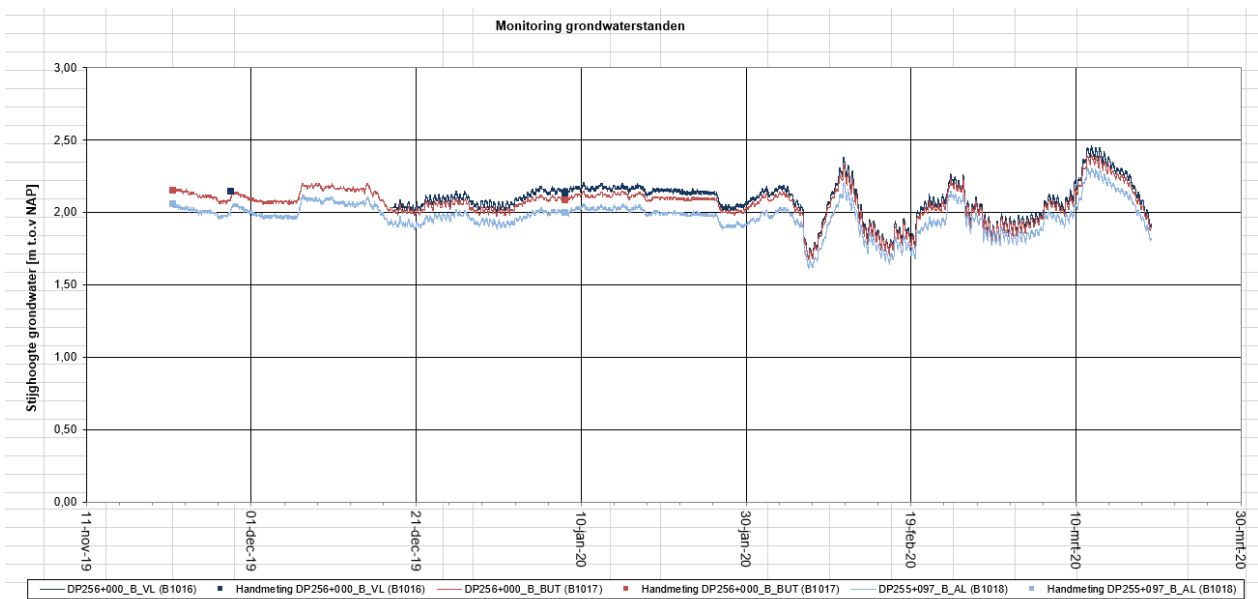
Peilbuisraai 256



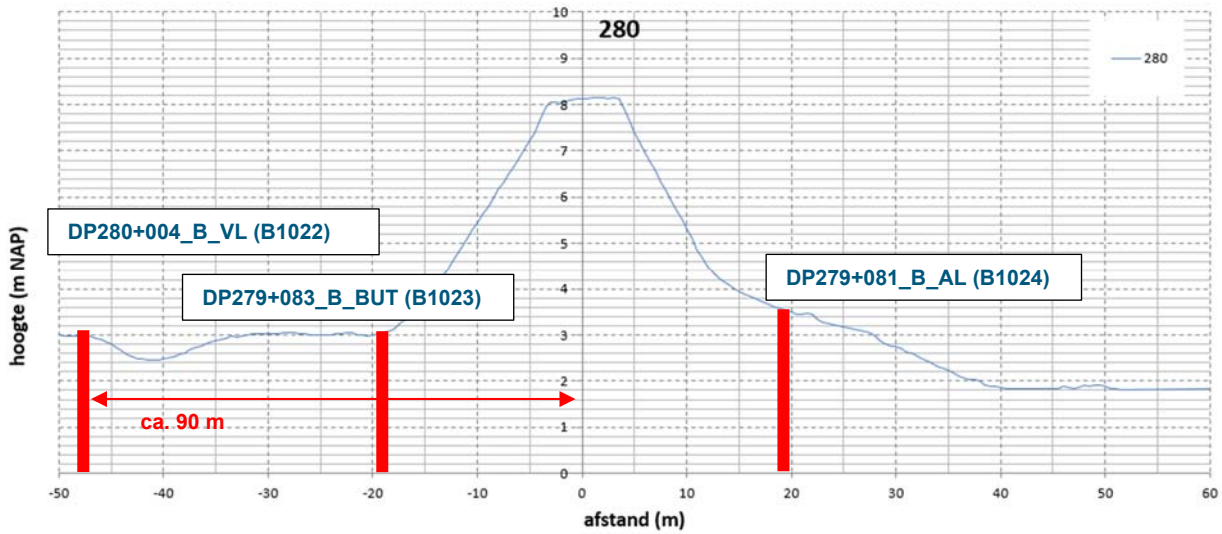
Boring	DP256+011_B_VL (B1016)	DP256+001_B_BUT (B1017)	DP255+097_B_AL (B1018)
Peilbuis nr.	1	1	1
Diepte filter (t.o.v. NAP)	(-1,2 tot -2,2)	(-1,1 tot -1,2)	(-1,2 tot -2,2)

Uit onderstaande grafiek kan worden afgeleid:

- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in voorland en buitenteen (tussenafstand ca. 30 m) bedraagt ca. 0,05 m.
- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in buitenteen en achterland (tussenafstand ca. 55 m) bedraagt ca. 0,1 m.



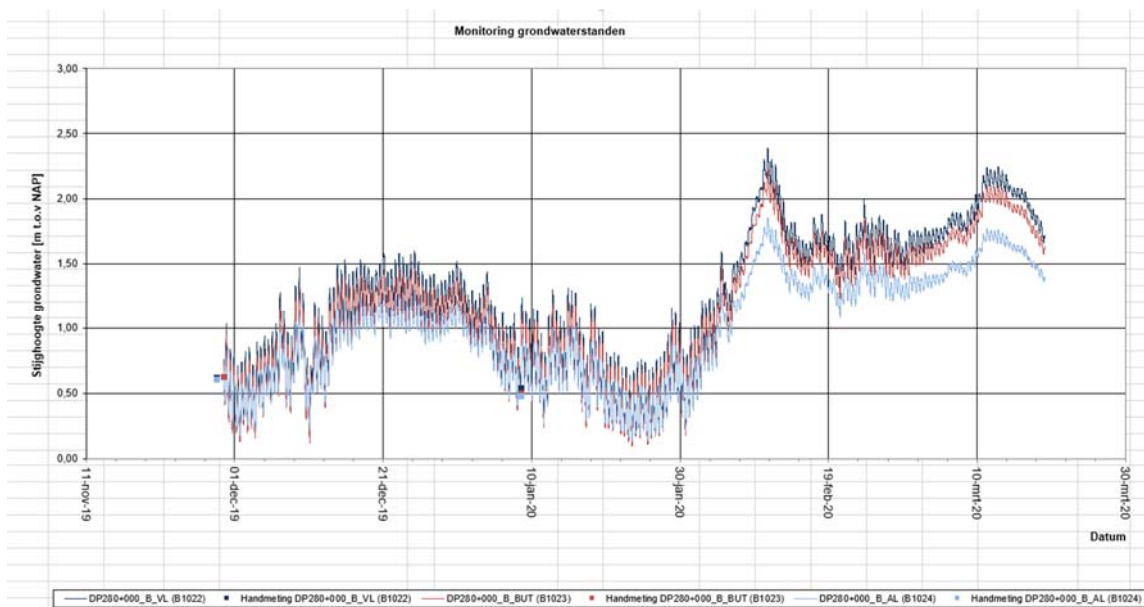
Peilbuisraai 280



Boring	DP280+004_B_VL (B1022)	DP279+083_B_BUT (B1023)	DP279+081_B_AL (B1024)
Peilbuis nr.	1	1	1
Diepte filter (t.o.v. NAP)	(-4,0 tot -5,0)	(-4,2 tot -5,2)	(-3,4 tot -4,4)

Uit onderstaande grafiek kan worden afgeleid:

- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in voorland en buitenteen (tussenafstand ca. 70 m) bedraagt ca. 0,1 m.
- Stijghoogte verschil tussen peilbuis in buitenteen en achterland (tussenafstand ca. 40 m) bedraagt ca. 0,2 m.

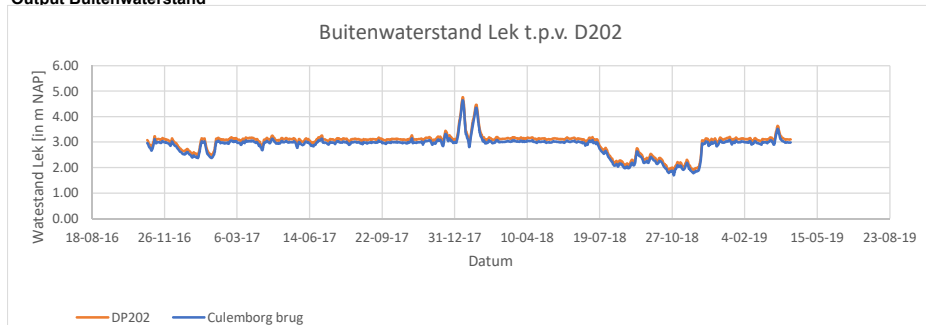


I Responsanalyse uitwerking peilbuizen

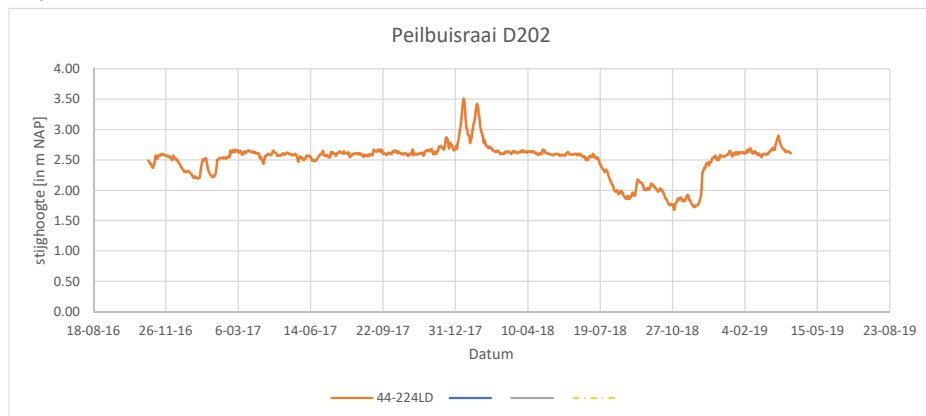
Peilbuisraai 202

Grafiek:	DP202
Meetperiode:	2-11-2016 tot 08-04-19

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

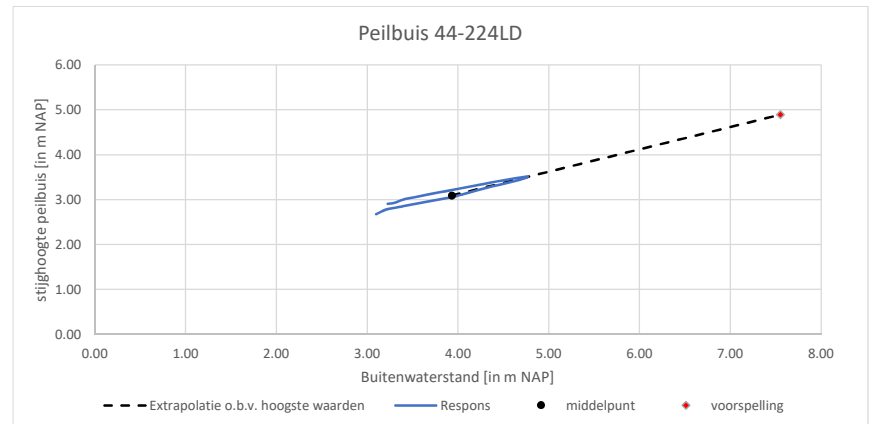
MBN (norm)	7.55 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	2-1-2018	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	18-1-2018	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.67 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.83 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	3.93 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	3.10 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

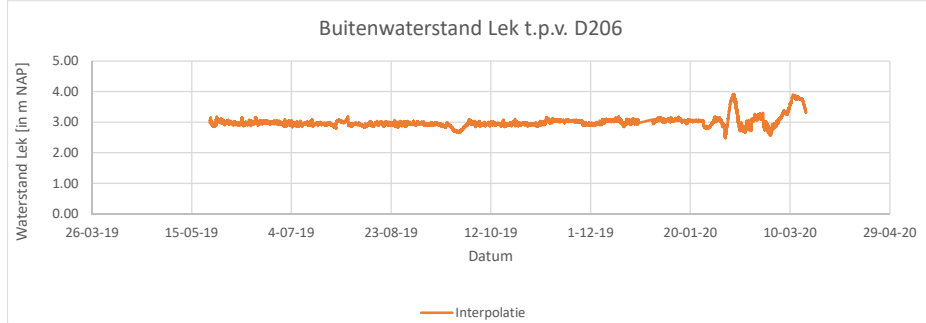
Stijghoogte_MBN	4.89 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.98 m NAP	gemiddelde buiterwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	2.50 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.52 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Repons_middelpunt	0.50 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



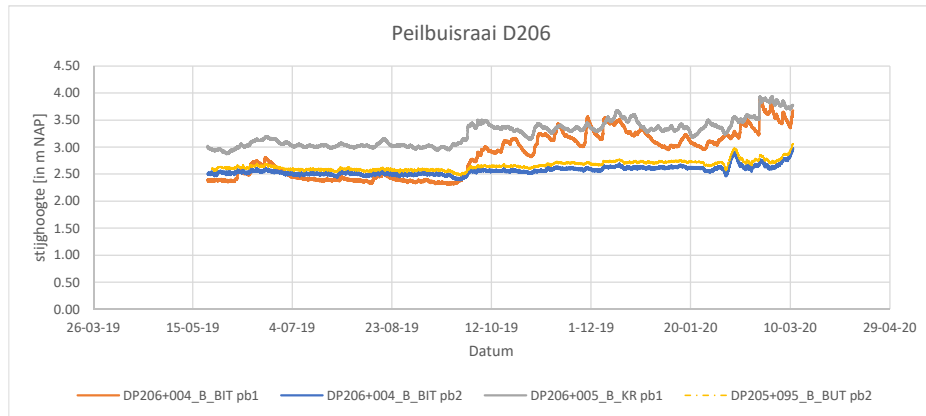
Peilbuisraai 206

Grafiek:	D206		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

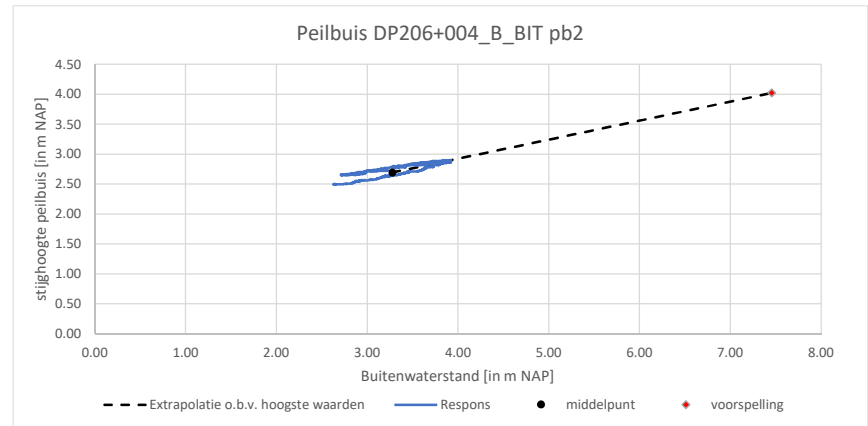
MBN (norm)	7.45 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.29 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.41 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	3.275 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.695 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

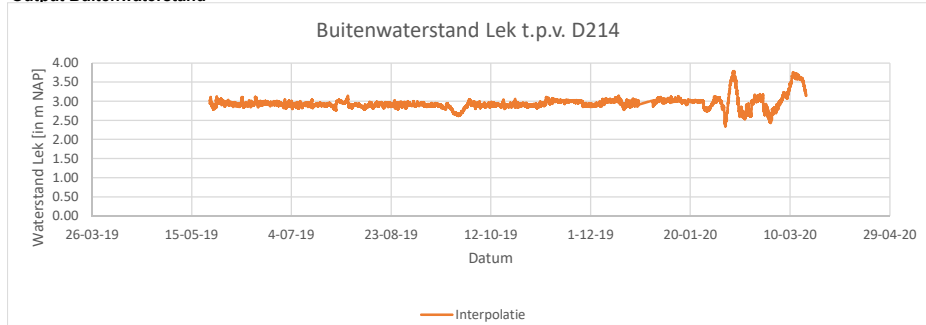
Stijghoogte_MBN	4.02 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	3.01 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	2.57 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.33 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.32 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



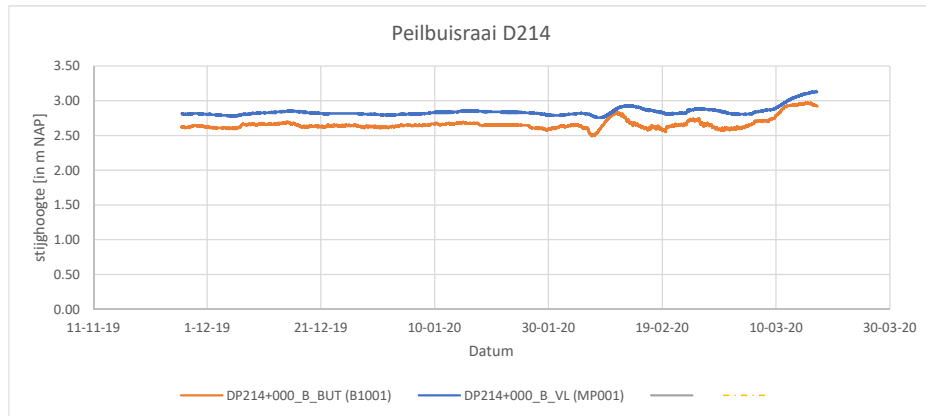
Peilbuisraai 214

Grafiek:	D214		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

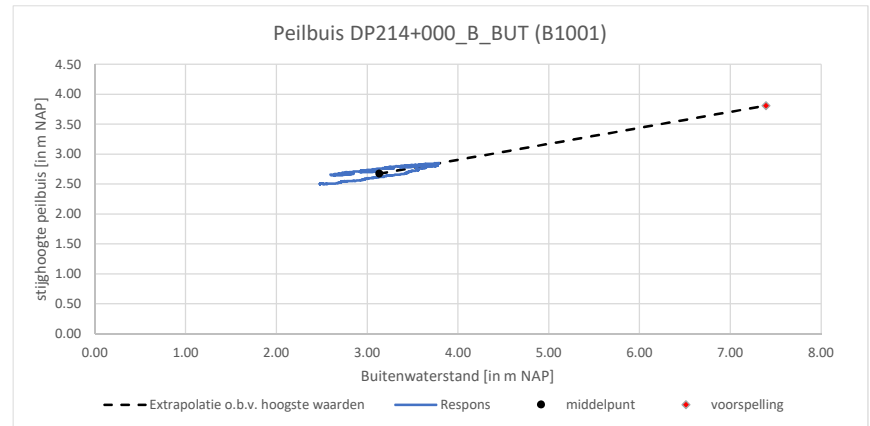
MBN (norm)	7.39 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	allezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	allezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.31 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.35 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	3.13 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.68 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

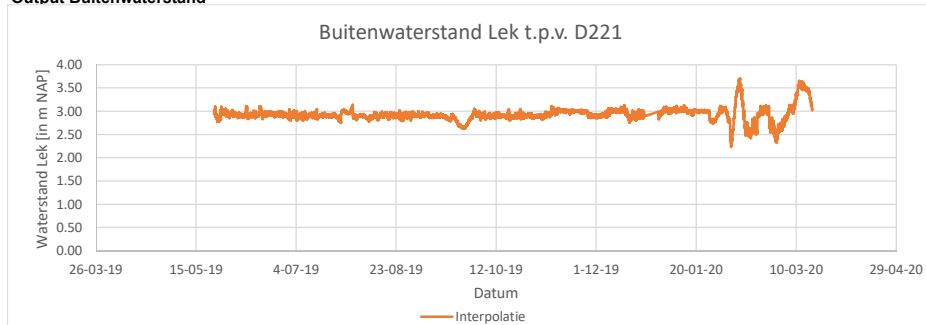
Stijghoogte_MBN	3.81 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.95 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	2.67 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.26 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.27 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



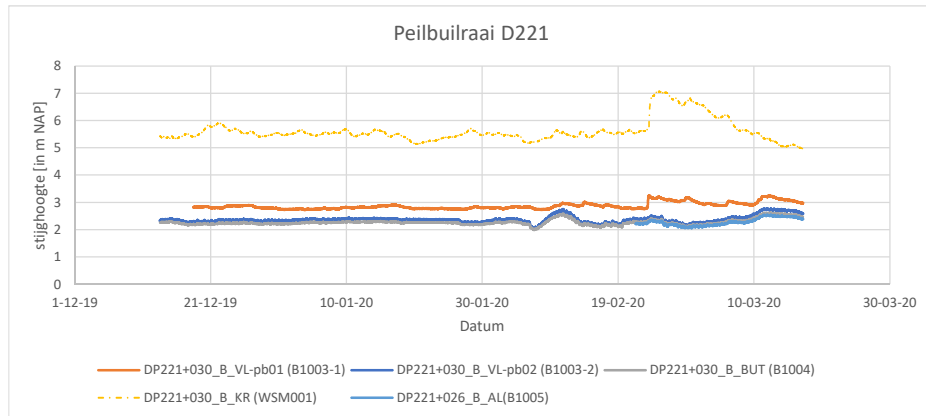
Peilbuisraai 221

Grafiek:	D221		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

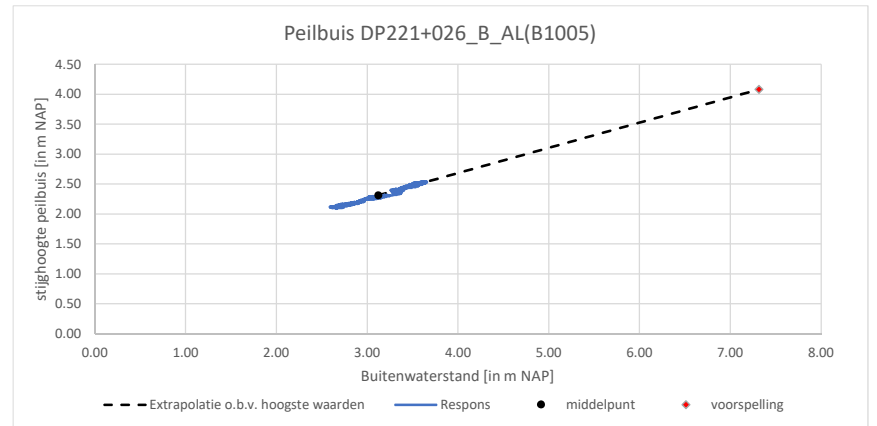
MBN (norm)	7.31 m NAP	ontwerpwatervandstand
Kolomnr. BIT peilbuis	6 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	2-3-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	17-3-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.07 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.45 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	3.12 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.32 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

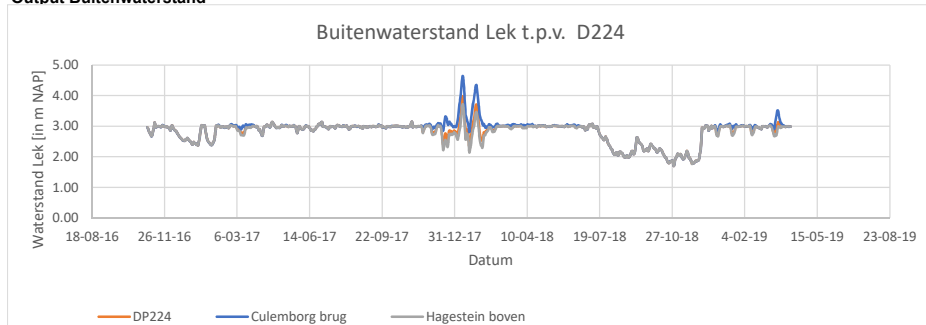
Stijghoogte_MBN	4.08 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwatervandstand
Gemiddelde BWS	2.93 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	2.29 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.41 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.42 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



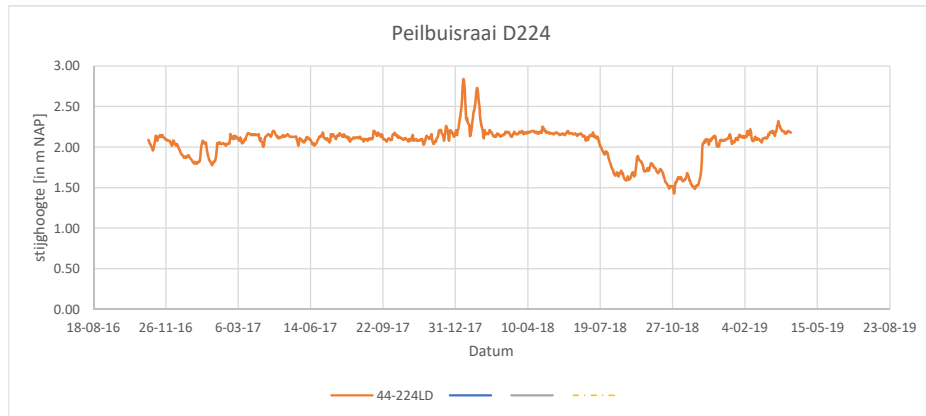
Peilbuisraai 224

Grafiek:	DP224
Meetperiode:	2-11-2016 tot 08-04-19

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

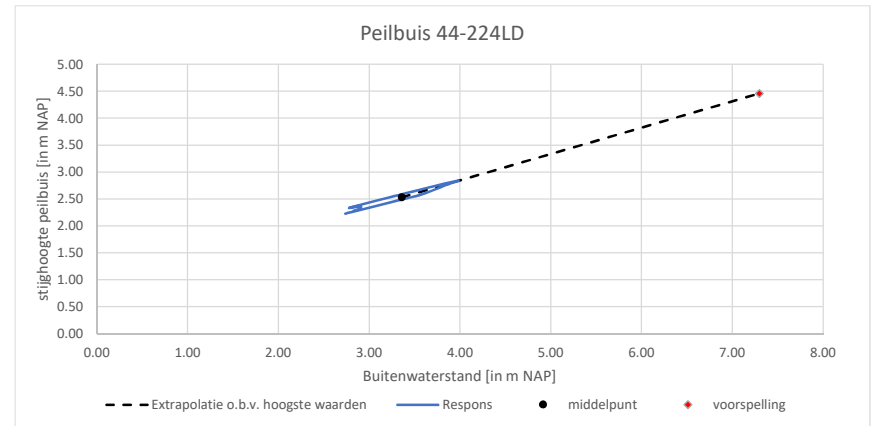
MBN (norm)	7.29 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	4-1-2018	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	18-1-2018	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.25 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.61 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	3.36 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.54 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

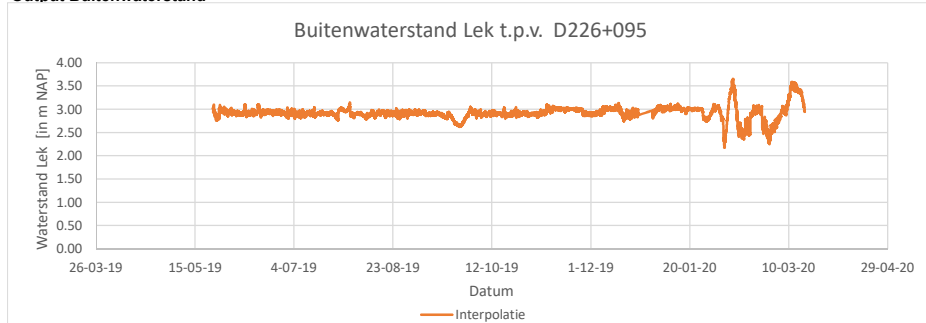
Stijghoogte_MBN	4.46 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.82 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	2.05 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.54 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.49 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



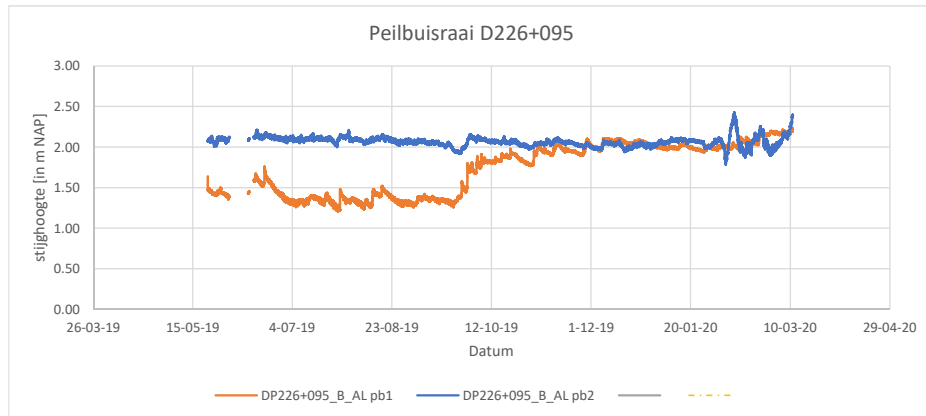
Peilbuisraai 226+095

Grafiek:	D226+095		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

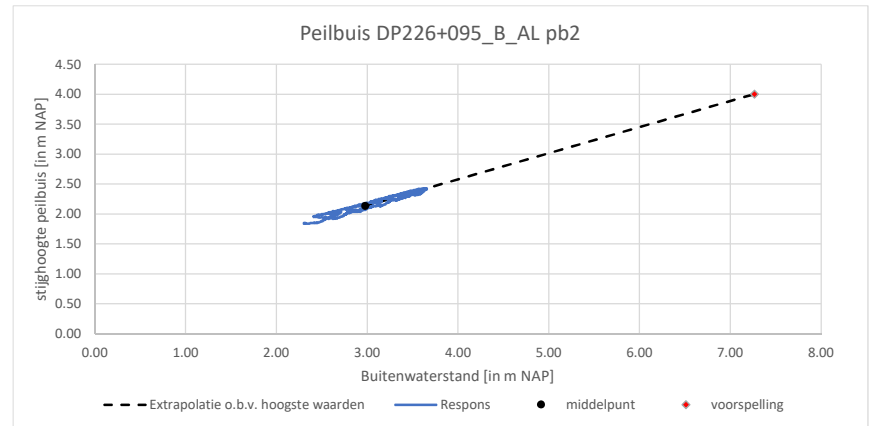
MBN (norm)	7.26 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.35 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.59 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.98 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.14 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

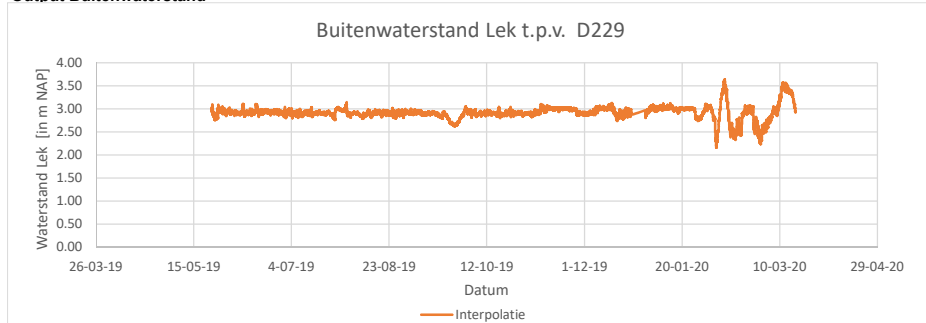
Stijghoogte_MBN	4.01 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.92 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.97 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.47 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.44 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



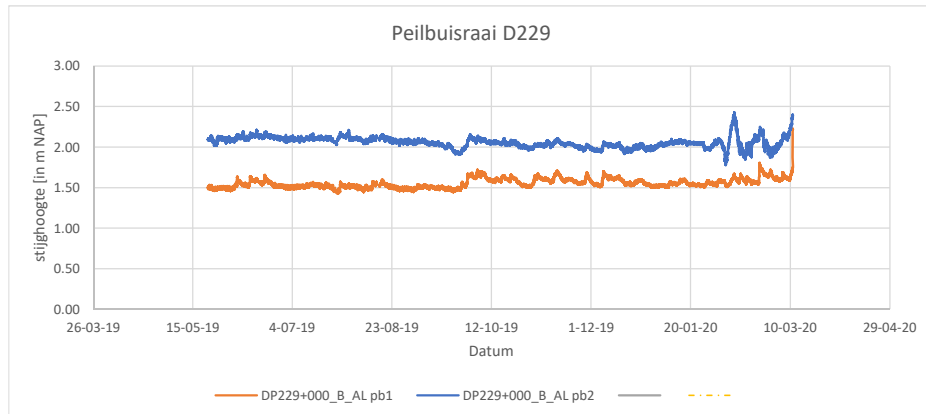
Peilbuisraai 229

Grafiek:	D229		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

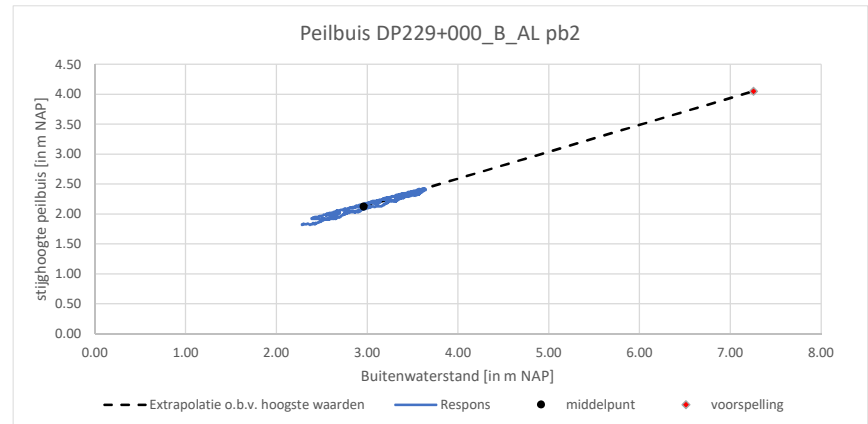
MBN (norm)	7.25 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.36 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.61 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.96 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.13 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

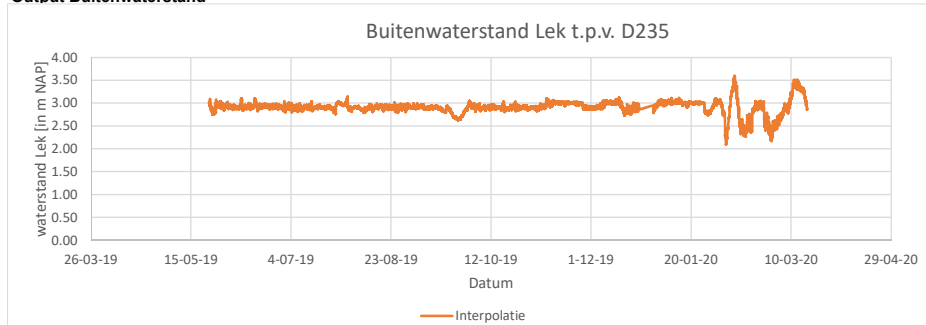
Stijghoogte_MBN	4.05 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.92 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.96 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.48 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.45 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



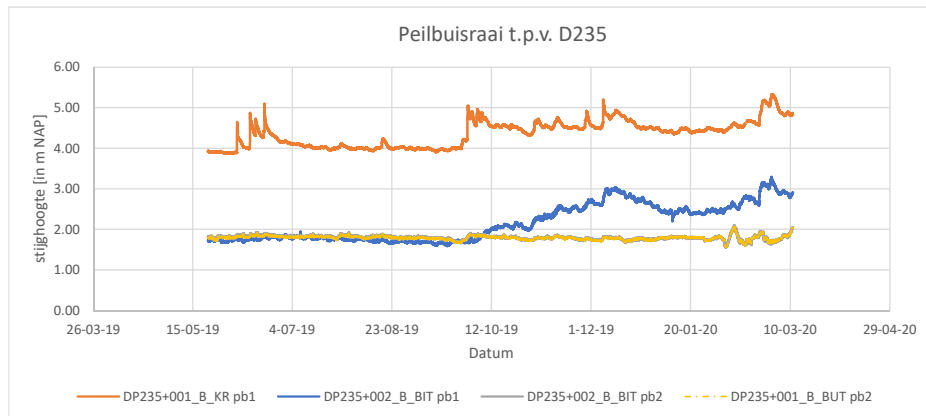
Peilbuisraai 235

Grafiek:	D235		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

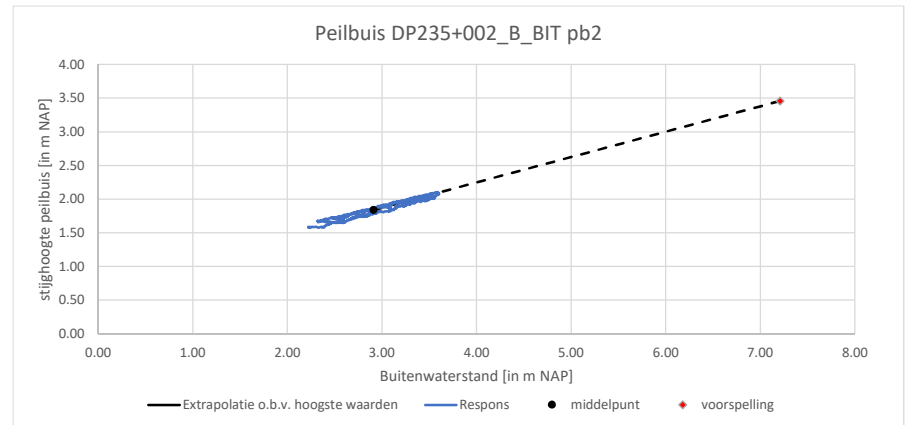
MBN (norm)	7.21 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.38 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.52 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.91 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.84 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

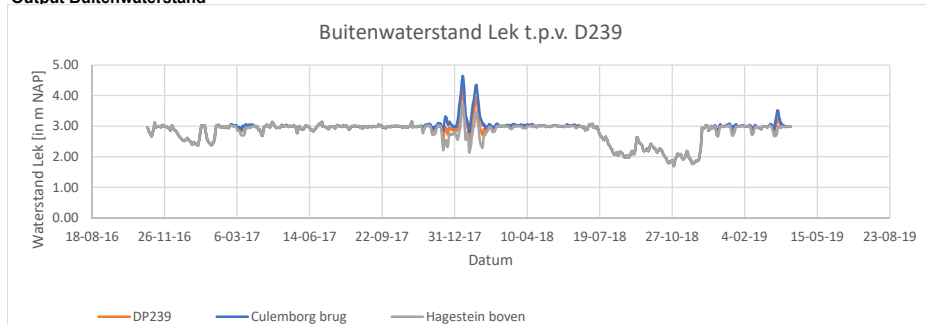
Stijghoogte_MBN	3.46 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.91 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.79 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.39 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Repons_middelpunt	0.38 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



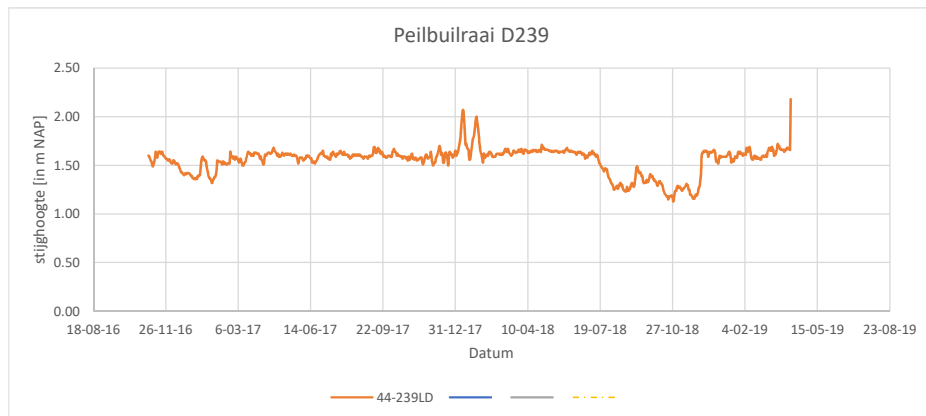
Peilbuisraai 239

Grafiek:	DP239
Meetperiode:	2-11-2016 tot 08-04-19

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

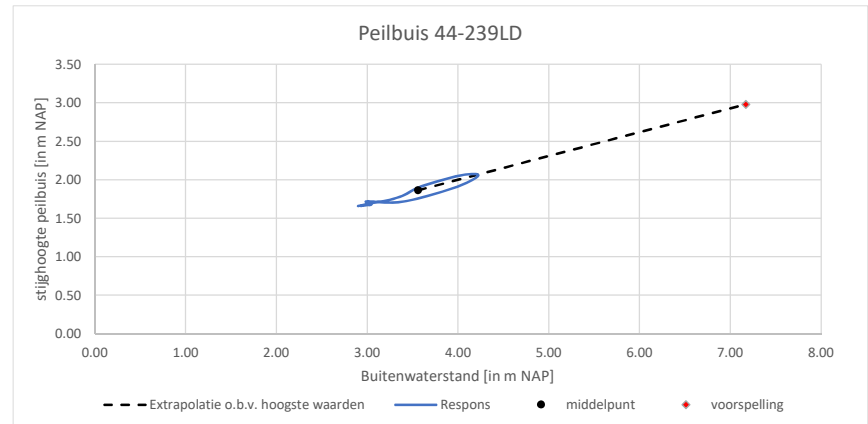
MBN (norm)	7.17 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	4-1-2018	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	18-1-2018	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.32 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.41 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	3.56 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.87 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

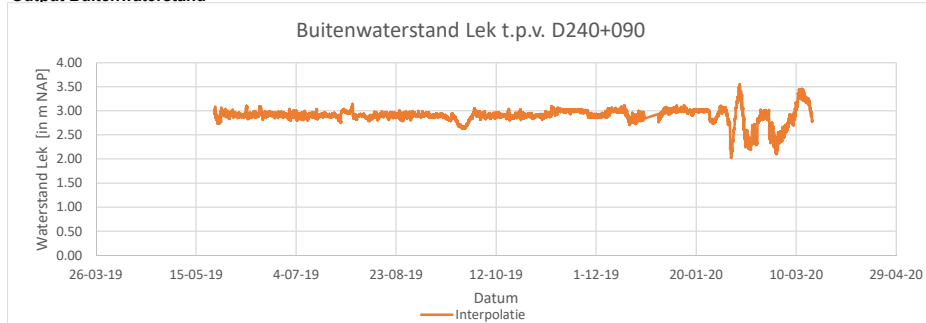
Stijghoogte_MBN	2.98 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.83 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.55 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.33 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.31 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



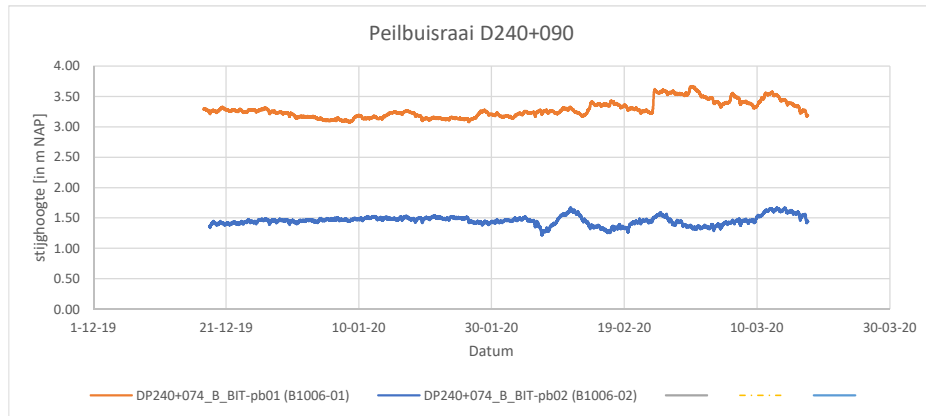
Peilbuisraai 240+090

Grafiek:	D240+090
Meetperiode:	24-5-2019 tot 17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

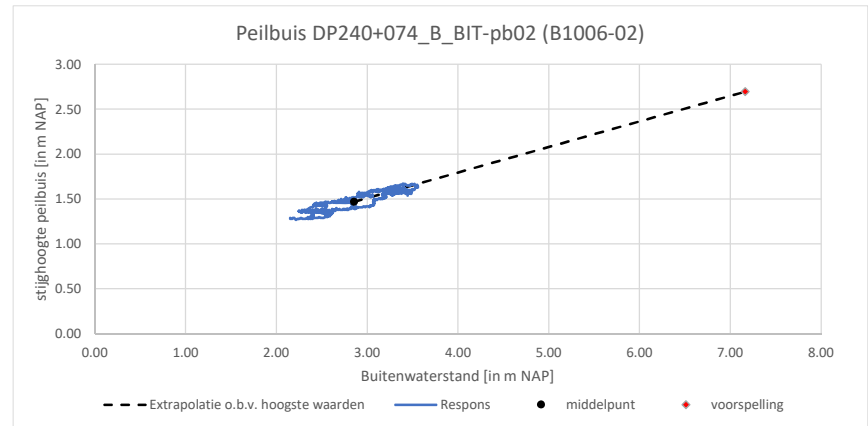
MBN (norm)	7.16 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	allezen output BWS
Eindhoogwatergolf	15-2-2020	allezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.41 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.40 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.85 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.47 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

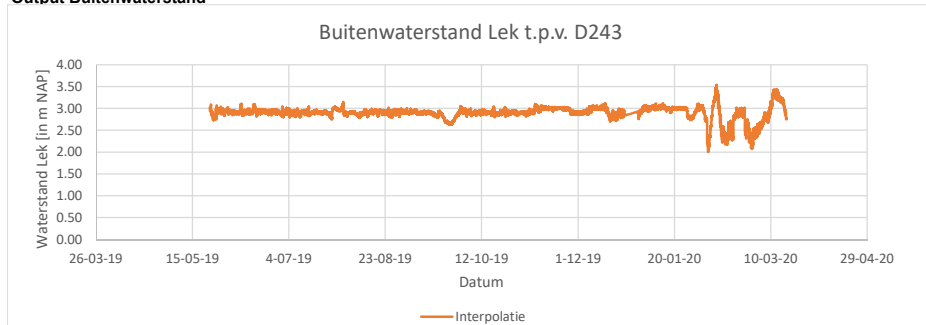
Stijghoogte_MBN	2.70 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.90 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.46 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.29 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.28 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



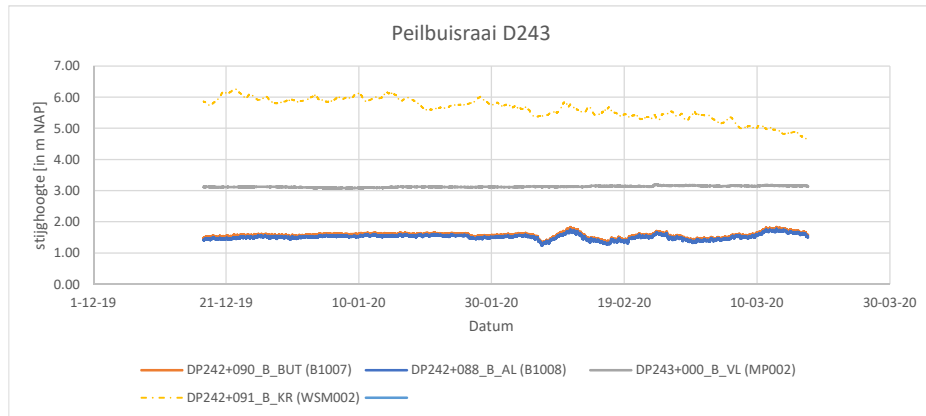
Peilbuisraai 243

Grafiek:	D243		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

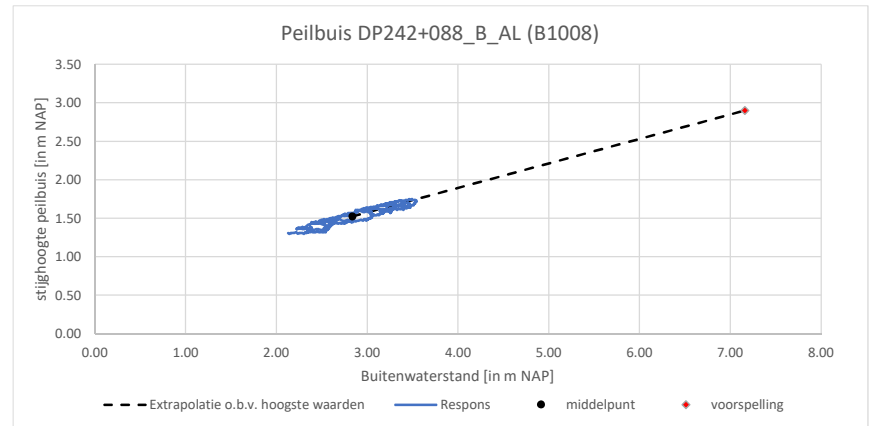
MBN (norm)	7.16 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.41 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.45 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.84 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.53 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

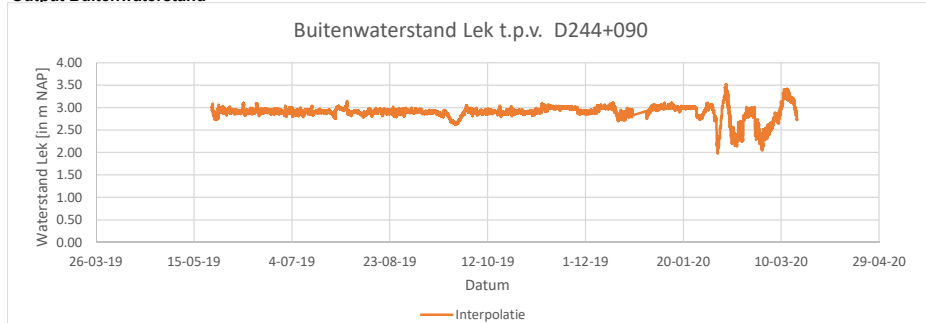
Stijghoogte_MBN	2.90 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.90 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.52 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.32 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.32 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



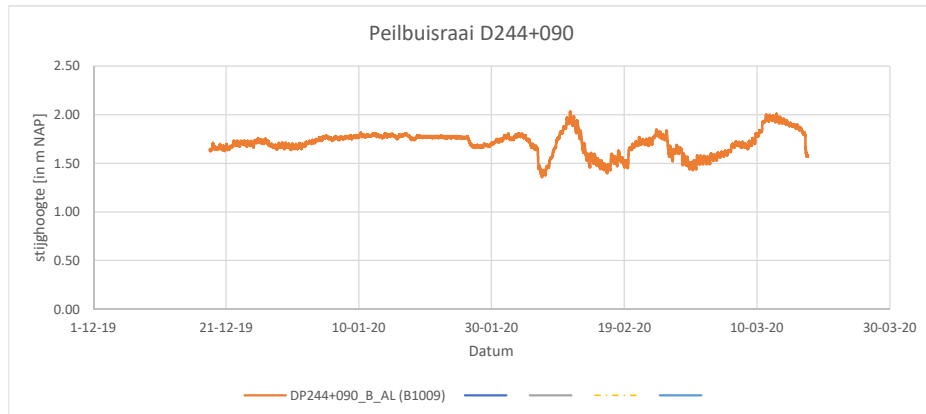
Peilbuisraai 244+090

Grafiek:	D244+090		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

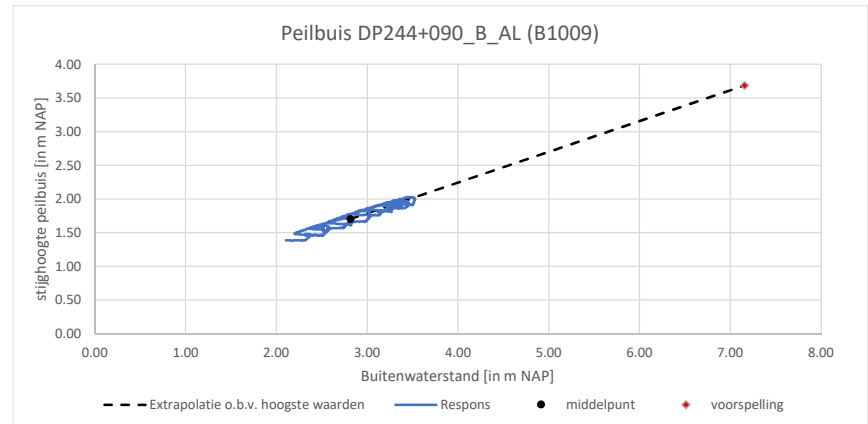
MBN (norm)	7.16 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	allezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	allezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.42 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.65 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.82 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.71 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

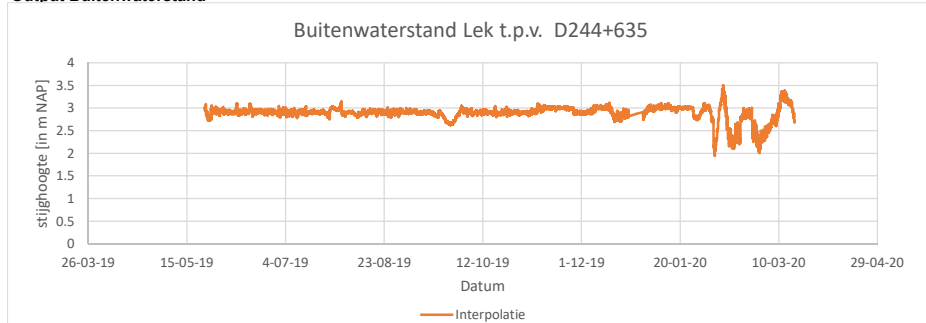
Stijghoogte_MBN	3.69 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.90 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.71 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.46 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.46 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



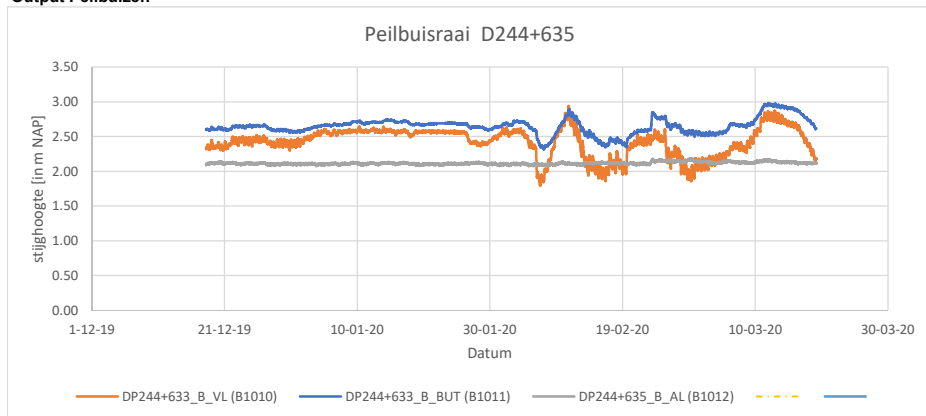
Peilbuisraai D244+635

Grafiek:	D244+635		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

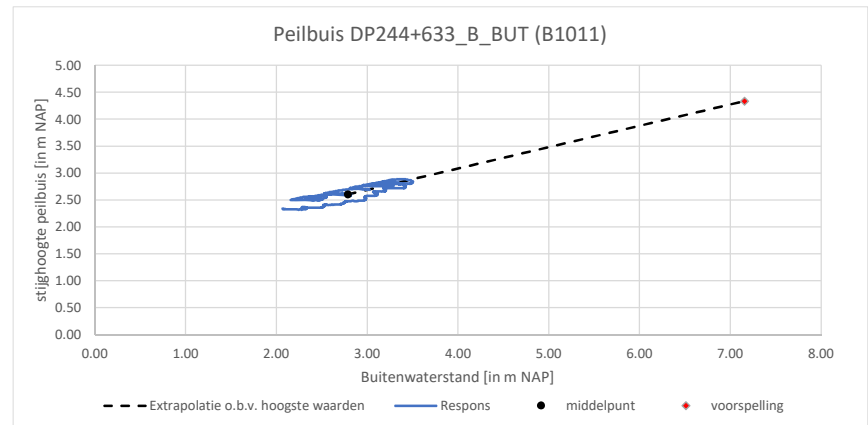
MBN (norm)	7.16 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.44 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.57 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.79 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	2.61 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

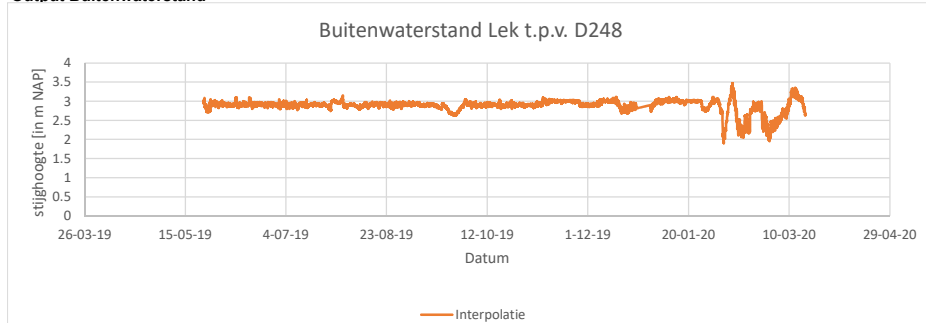
Stijghoogte_MBN	4.34 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.89 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	2.66 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.39 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.40 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



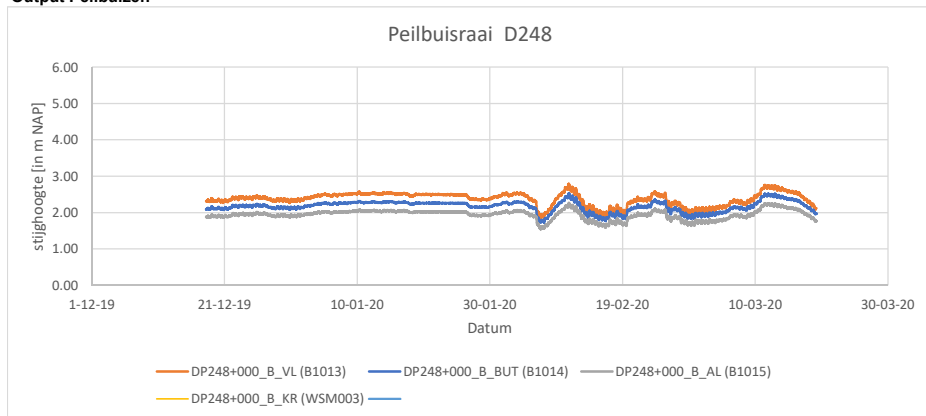
Peilbuisraai D248

Grafiek:	D248		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

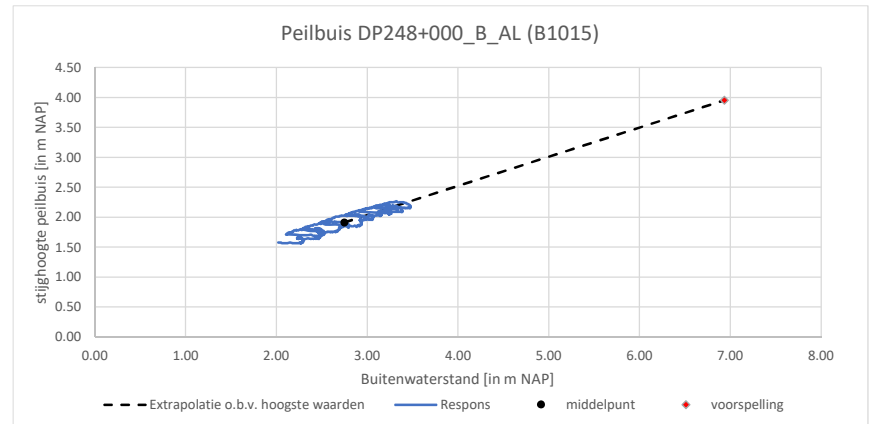
MBN (norm)	6.93 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.46 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.71 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.75 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.92 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

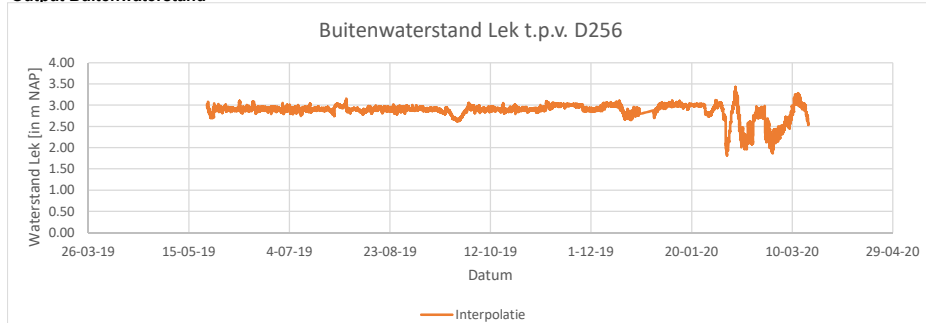
Stijghoogte_MBN	3.96 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.88 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.95 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.49 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.49 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



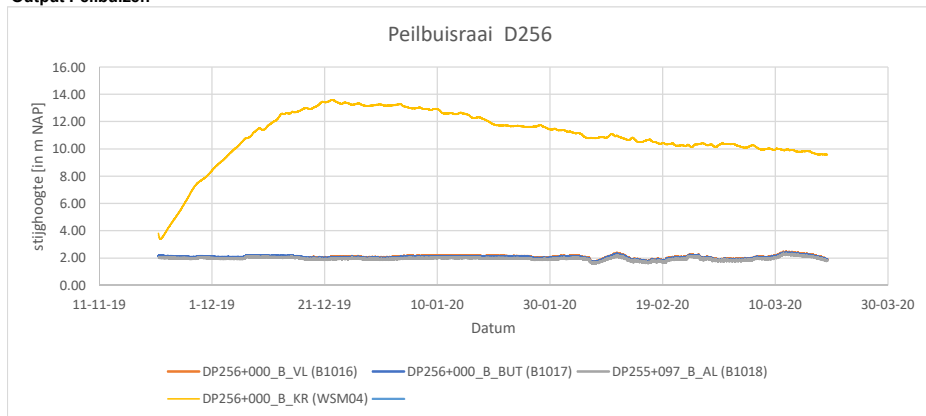
Peilbuisraai D256

Grafiek:	D256		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



DATA INPUT



Invullen

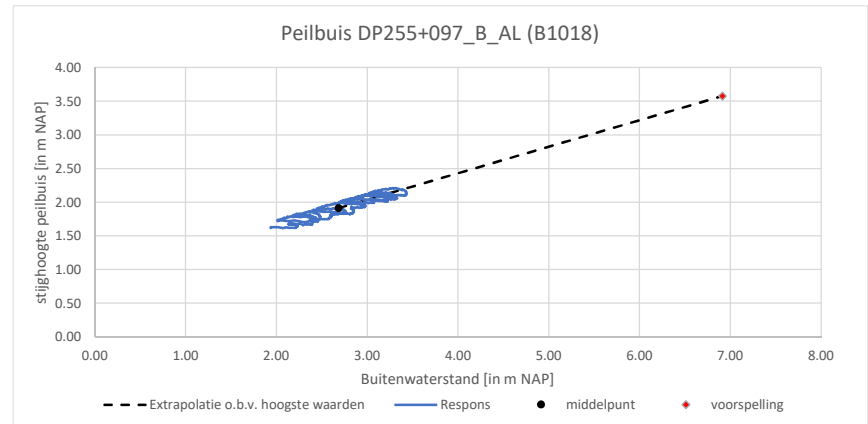
MBN (norm)	6.91 m NAP	ontwerpwatervand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.50 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.59 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.68 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.92 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

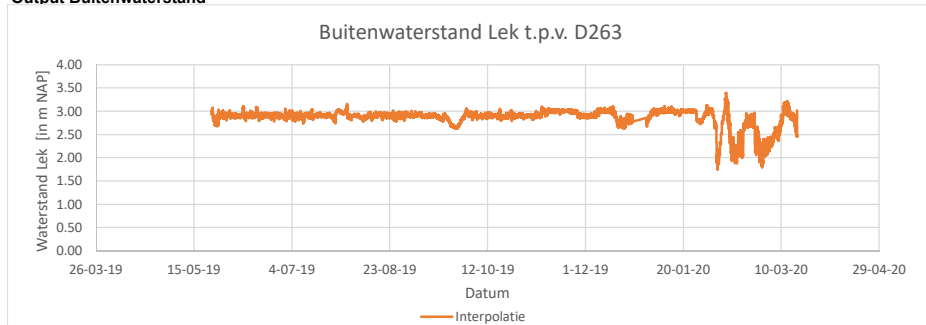
Stijghoogte_MHW	3.58 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwatervand
Gemiddelde BWS	2.87 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.96 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.40 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.39 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



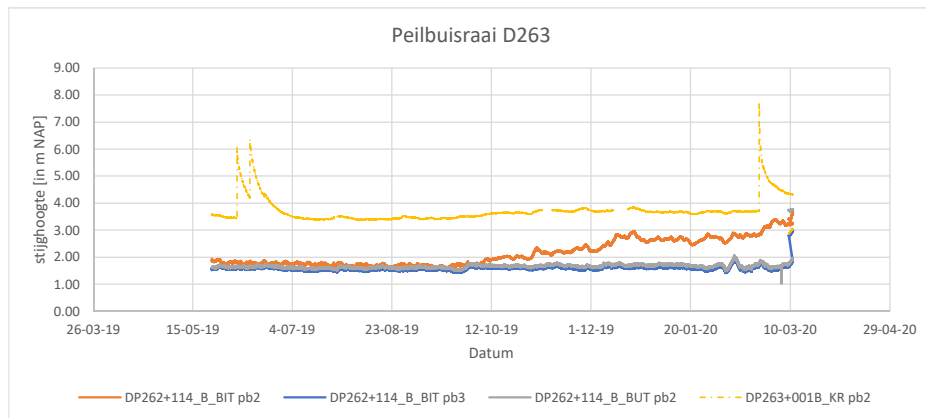
Peilbuisraai 263

Grafiek:	D263		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



OPMERKING: De stuw open is gezet

Invullen

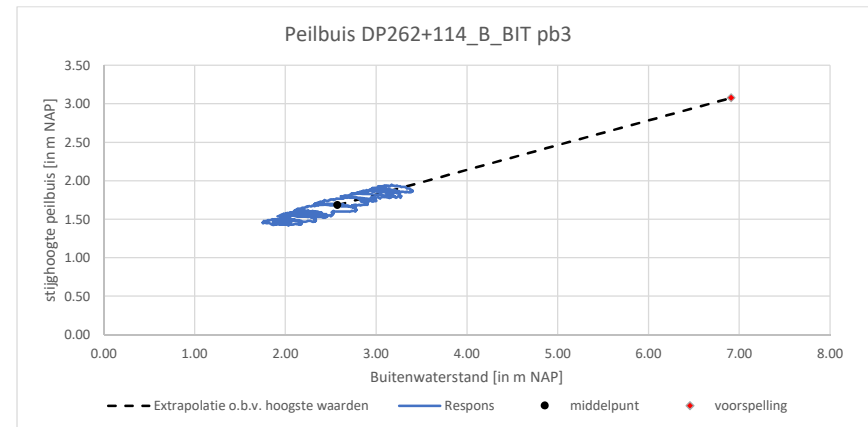
MBN (norm)	6.91 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	6-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	15-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.65 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.53 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.57 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.69 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

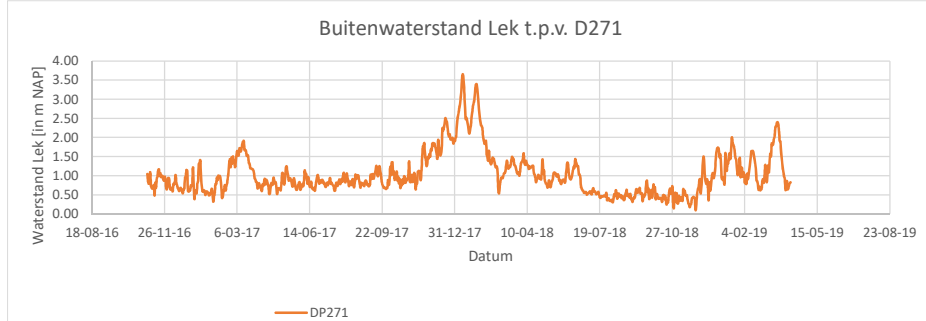
Stijghoogte_MBN	3.08 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	2.86 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.58 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.37 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.32 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



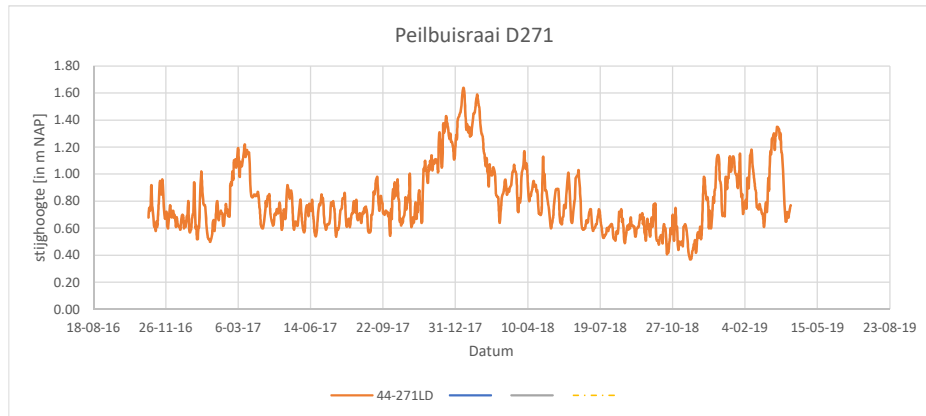
Peilbuisraai 271

Grafiek:	DP271
Meetperiode:	2-11-2016 tot 08-04-19

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

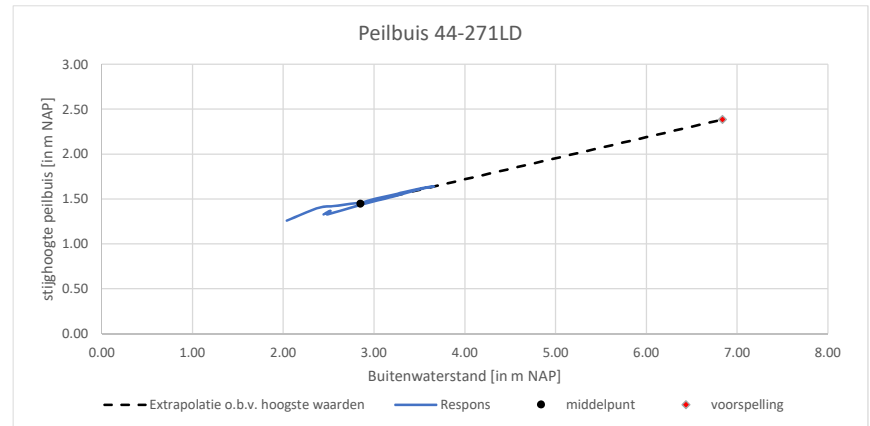
MBN (norm)	6.84 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	2-1-2018	allezen output BWS
Eindhoogwatergolf	17-1-2018	allezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.62 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.38 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.85 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.45 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

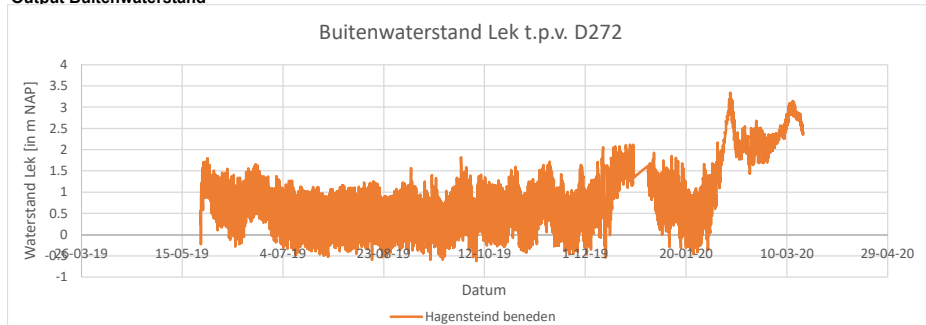
Stijghoogte_MBN	2.39 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	1.03 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	0.81 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.27 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.23 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



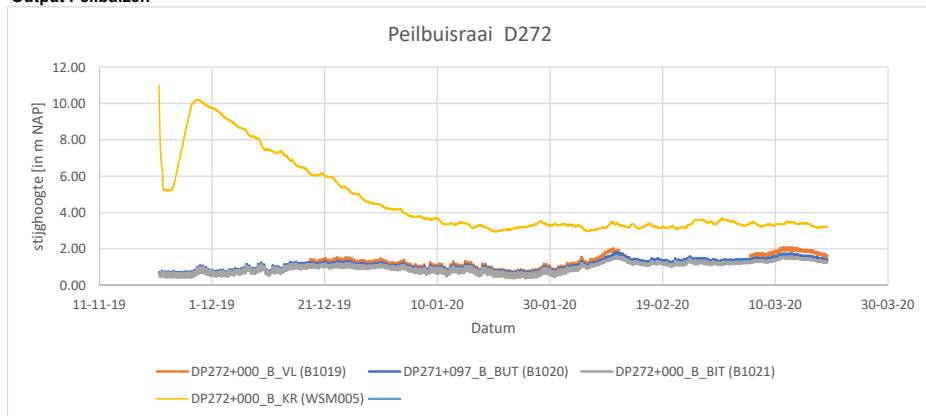
Peilbuisraai D272

Grafiek:	D272		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

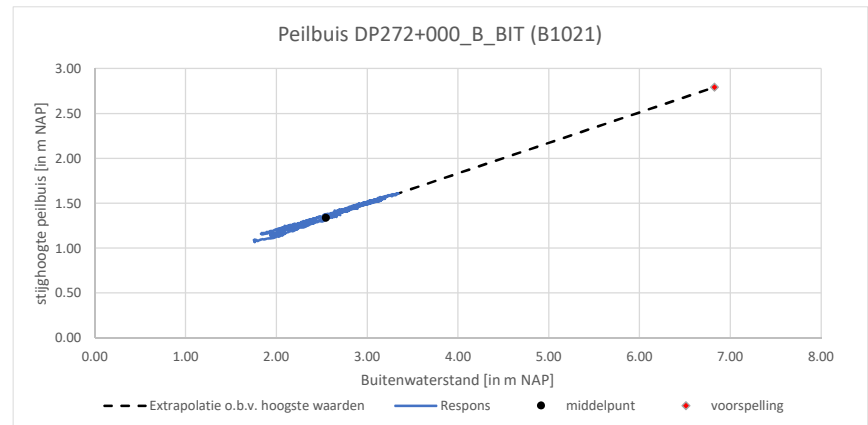
MBN (norm)	6.82 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	allezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	allezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.59 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.54 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.55 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.34 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

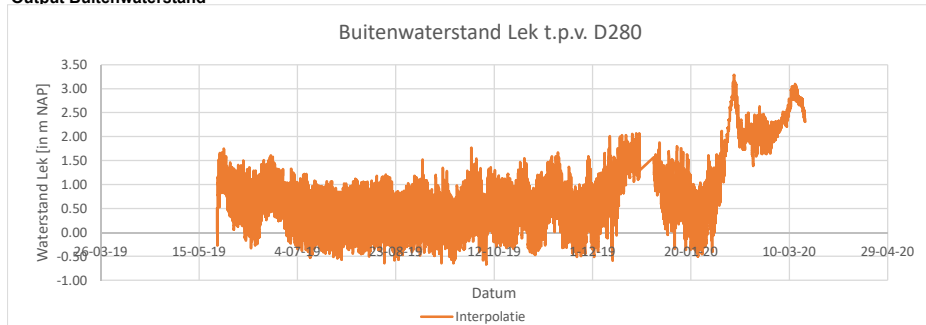
Stijghoogte_MBN	2.79 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	0.79 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	0.98 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.30 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.34 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



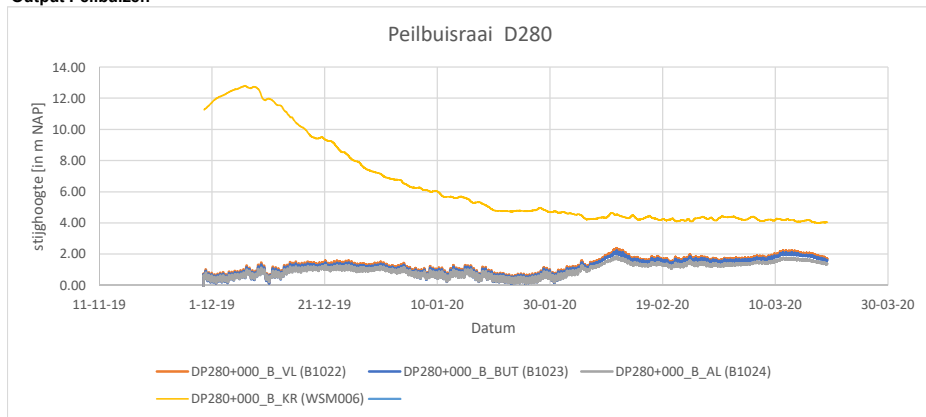
Peilbuisraai D280

Grafiek:	D280		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

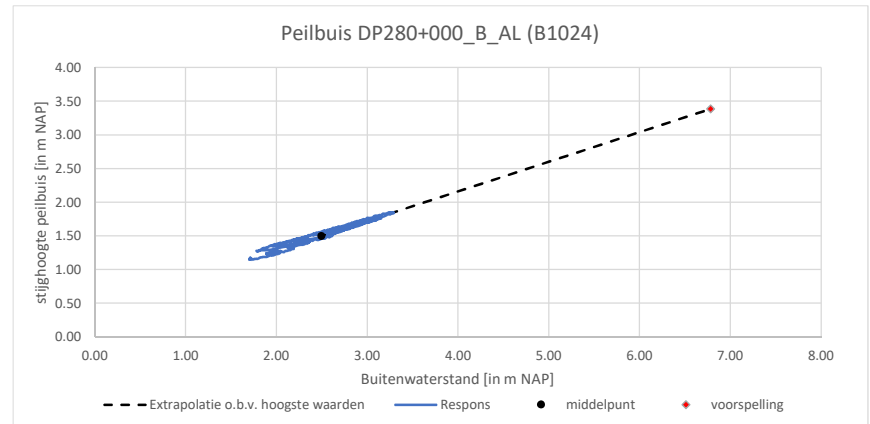
MBN (norm)	6.78 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.59 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.70 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.50 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.50 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

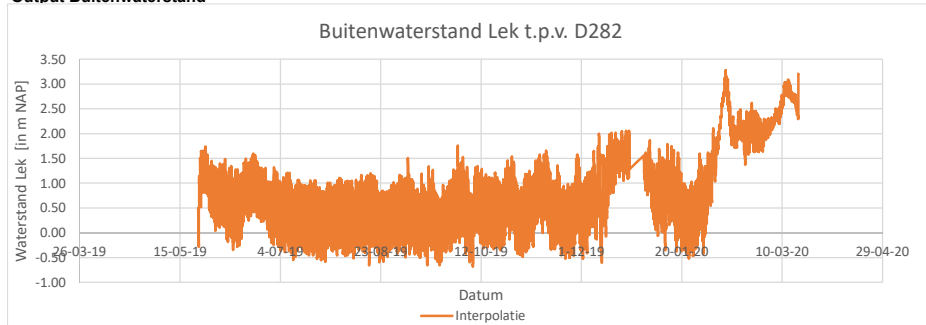
Stijghoogte_MBN	3.39 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	0.74 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.03 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.39 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.44 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



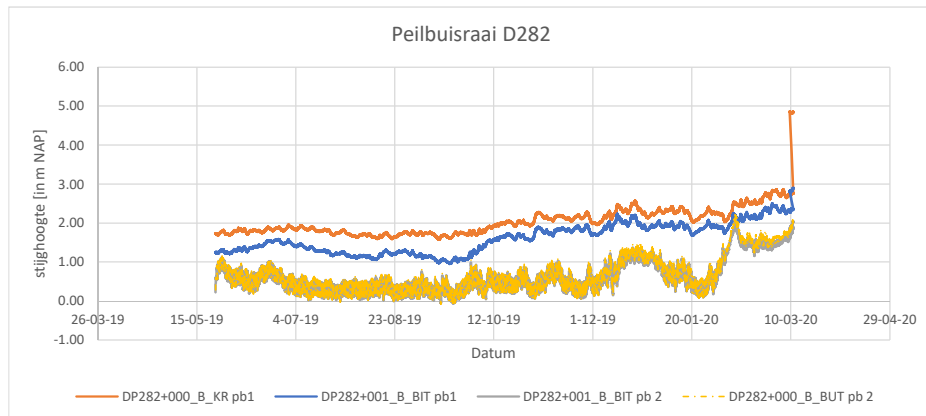
Peilbuisraai 282

Grafiek:	D282		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

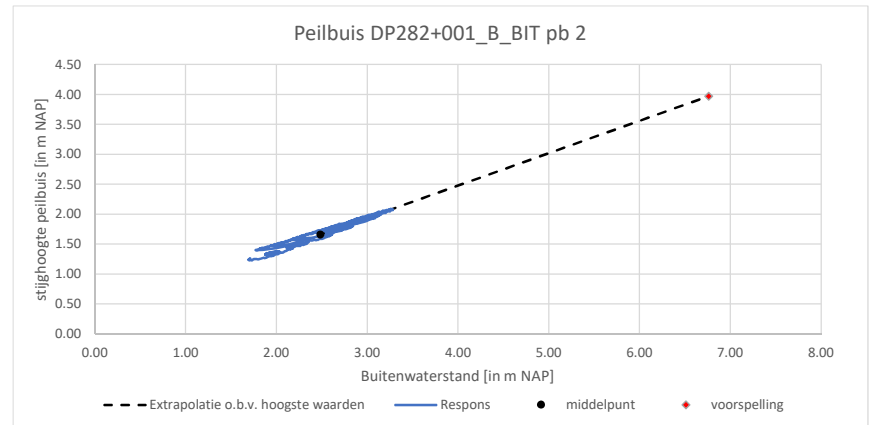
MBN (norm)	6.76 m NAP	ontwerpwatervand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.59 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.86 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.49 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.66 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

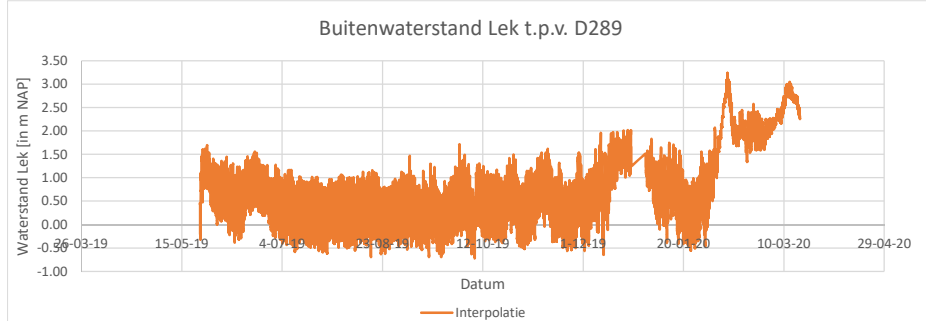
Stijghoogte_MBN	3.97 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwatervand
Gemiddelde BWS	0.73 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	0.62 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.56 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.54 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



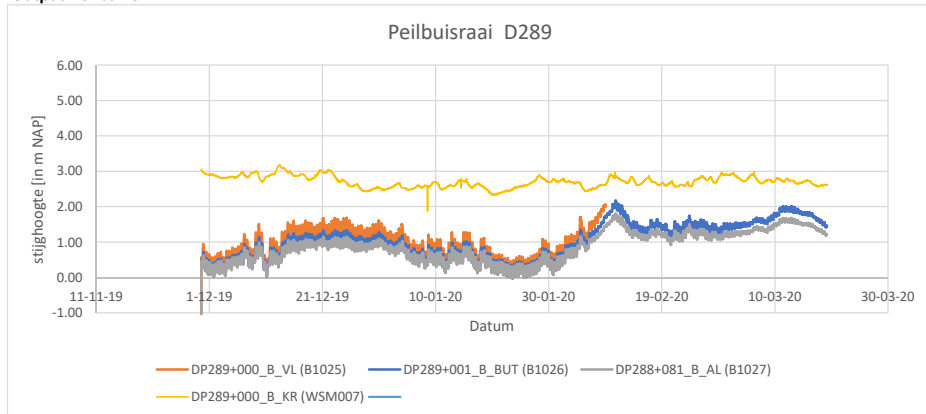
Peilbuisraai D289

Grafiek:	D289		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

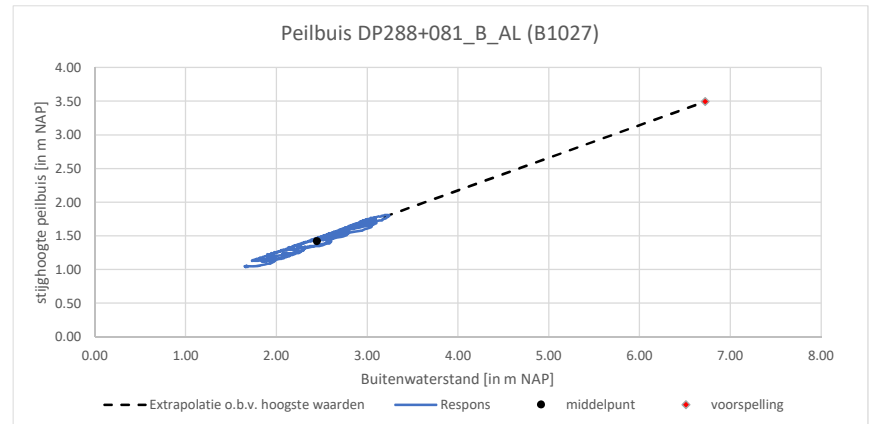
MBN (norm)	6.72 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	4 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	allezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	allezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.59 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	0.77 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.45 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.43 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

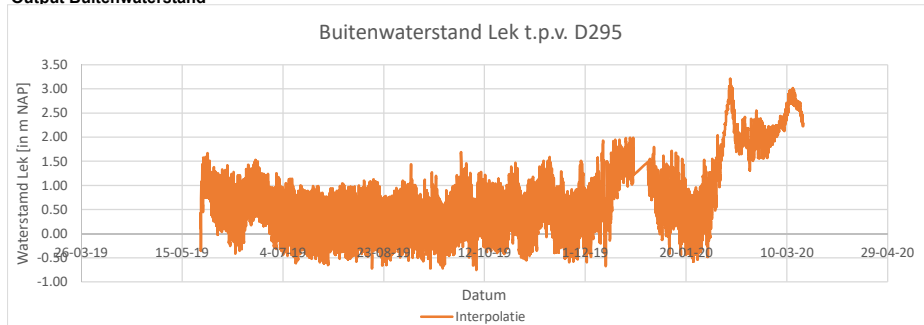
Stijghoogte_MBN	3.50 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	0.69 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	0.91 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.43 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.48 -	responsfactor o.b.v. middelpunt



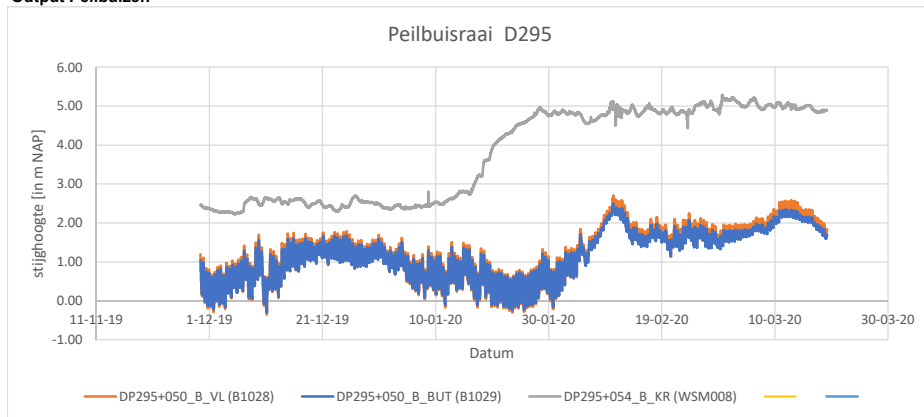
Peilbuisraai D295

Grafiek:	D295		
Meetperiode:	24-5-2019	tot	17-03-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

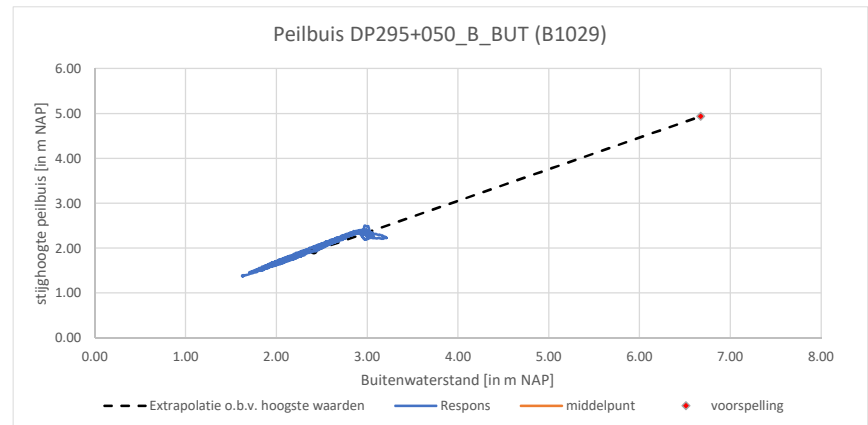
MBN (norm)	6.67 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	3 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	7-2-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	14-2-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	1.59 m NAP	amplitude BWS
Qstijghoogte	1.12 m NAP	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	2.42 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1.94 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

resultaat

Stijghoogte_MBN	4.94 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	0.66 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	1.16 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0.63 -	responsfactor (Stijghoogte_MBN-Stijghoogte_ge
Respons_middelpunt	0.70 -	responsfactor o.b.v. middelpunt

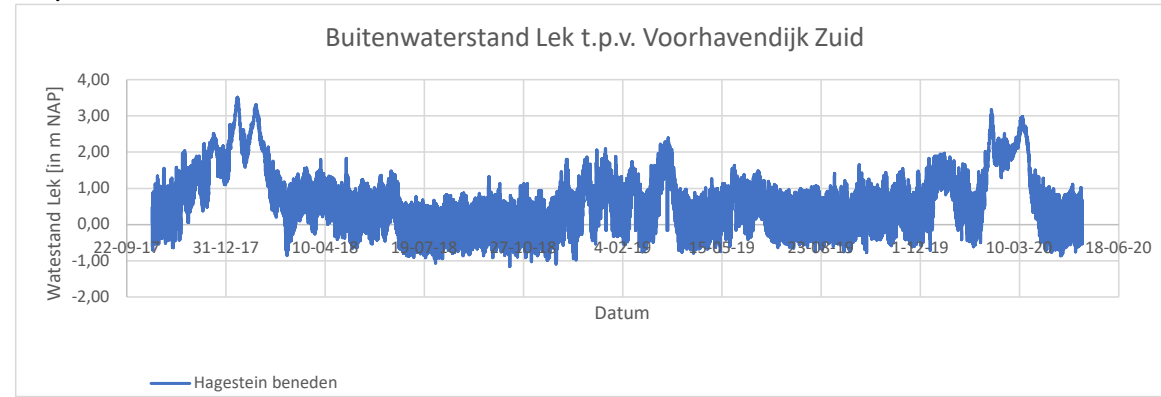


pb1-A-diep

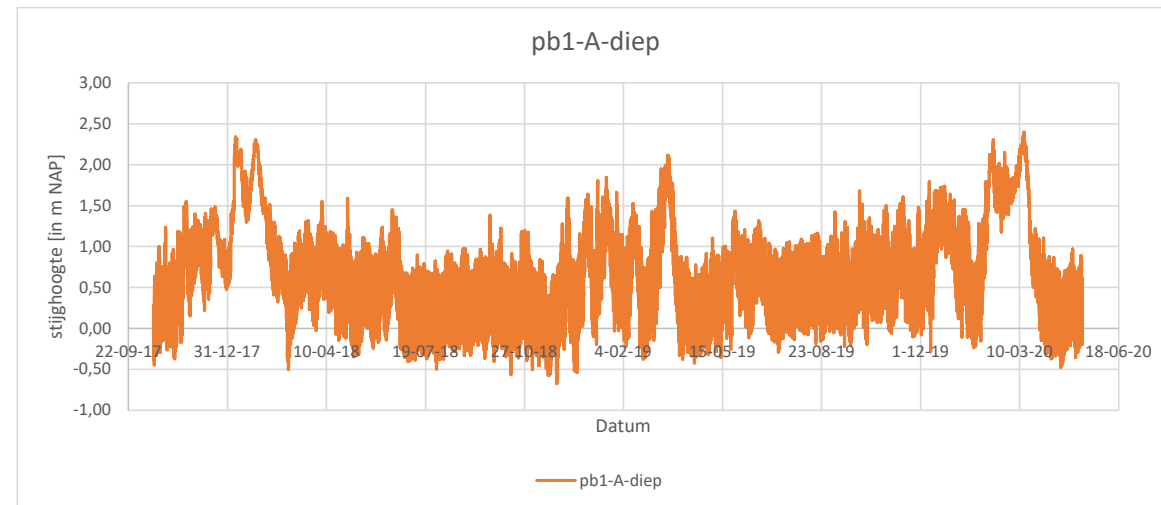
Respons hoogwater feb 2020

Grafiek:	pb1-A-diep	Voorhavendijk-Zuid
Meetperiode:	17-10-2017	tot 12-05-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

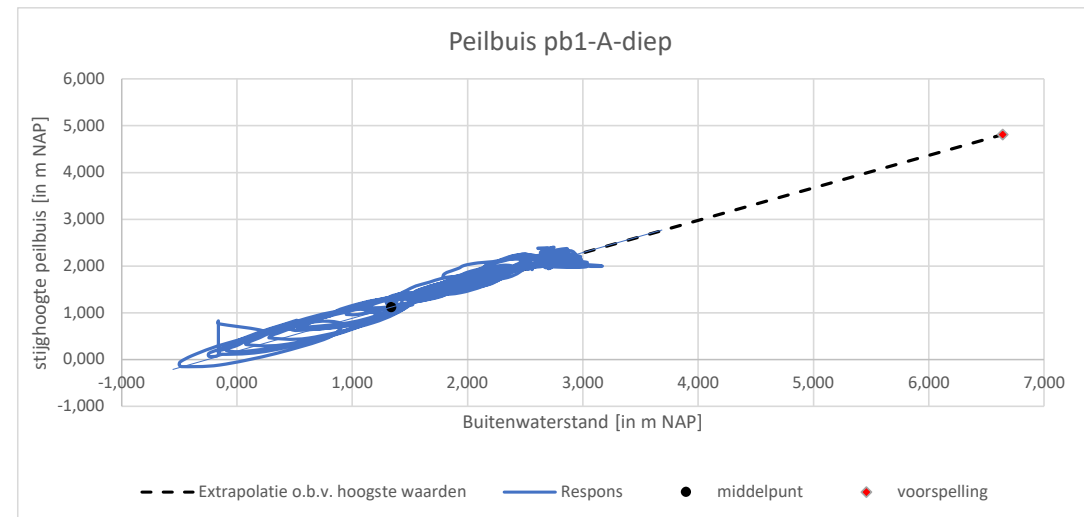
WBN (norm)	6,64 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	30-1-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	15-3-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	3,670 m	amplitude BWS
Qstijghoogte	2,550 m	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	1,335 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	1,124 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

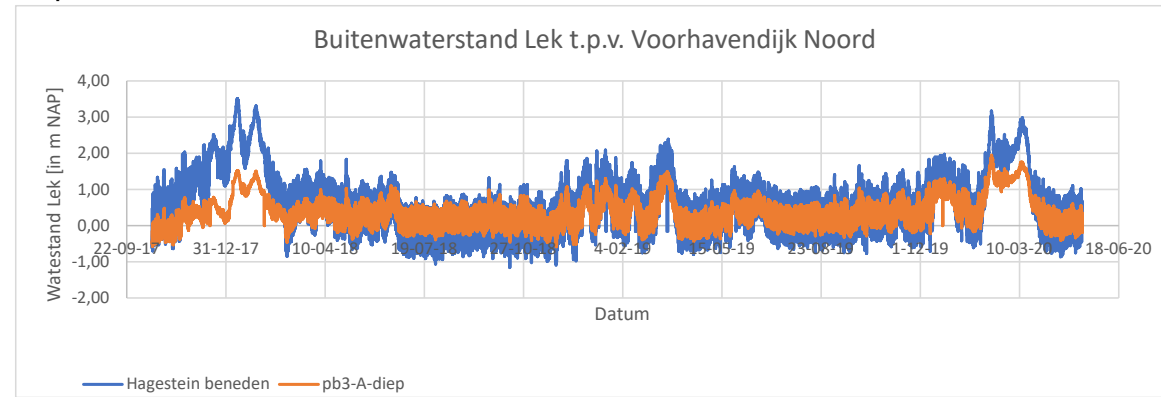
resultaat

Stijghoogte_WBN	4,81 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	0,54 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	0,62 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0,69 -	responsfactor (Stijghoogte_WBN-Stijghoogte_gem)/(WBN-BWS_gem)
Repons_middelpunt	0,69 -	responsfactor o.b.v. middelpunt

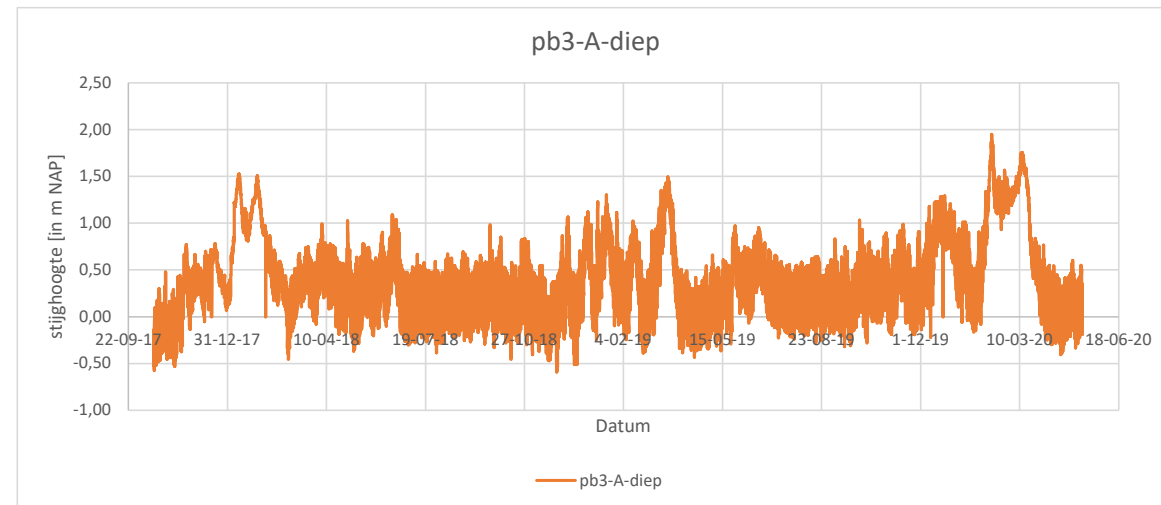


Grafiek:	pb3-A-diep	Voorhavendijk-Noord
Meetperiode:	17-10-2017	tot 12-05-20

Output Buitenwaterstand



Output Peilbuizen



Invullen

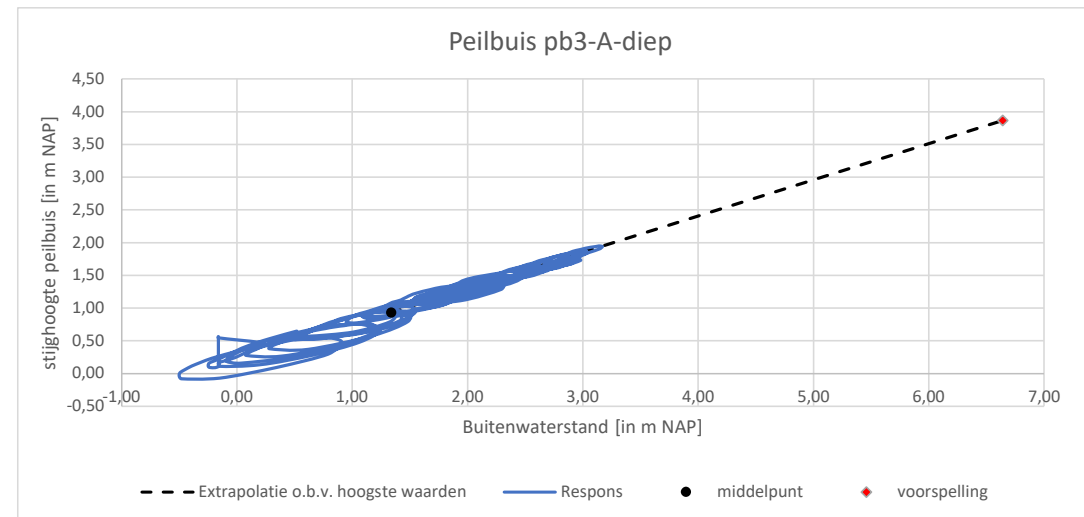
WBN (norm)	6,64 m NAP	ontwerpwaterstand
Kolomnr. BIT peilbuis	2 -	kies kolom voor analyse -->
Start hoogwatergolf	30-1-2020	aflezen output BWS
Eindhoogwatergolf	15-3-2020	aflezen output peilbuis

Berekening

Qbws	3,67 m	amplitude BWS
Qstijghoogte	2,03 m	amplitude stijghoogte
middelpunt_X	1,34 m NAP	x-coördinaat middelpunt ellips
middelpunt_Y	0,93 m NAP	y-coördinaat middelpunt ellips

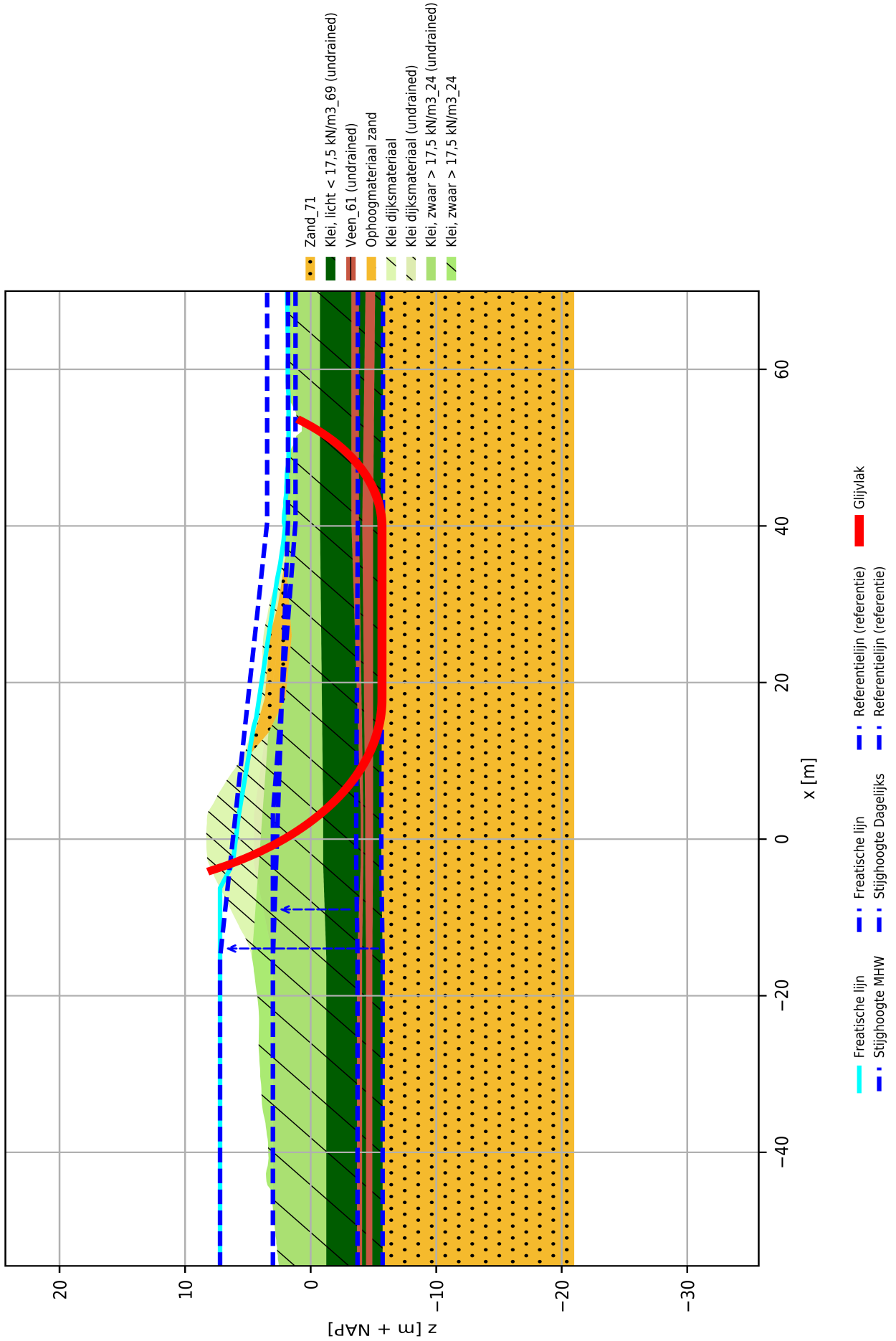
resultaat

Stijghoogte_WBN	3,87 m NAP	verwachte stijghoogte bij ontwerpwaterstand
Gemiddelde BWS	0,54 m NAP	gemiddelde buitenwaterstand over de hele reeks
Gemiddelde stijghoogte	0,37 m NAP	gemiddelde stijghoogte over de hele reeks
Respons_gem	0,57 -	responsfactor (Stijghoogte_WBN-Stijghoogte_gem)/(WBN-BWS_gem)
Repons_middelpunt	0,55 -	responsfactor o.b.v. middelpunt

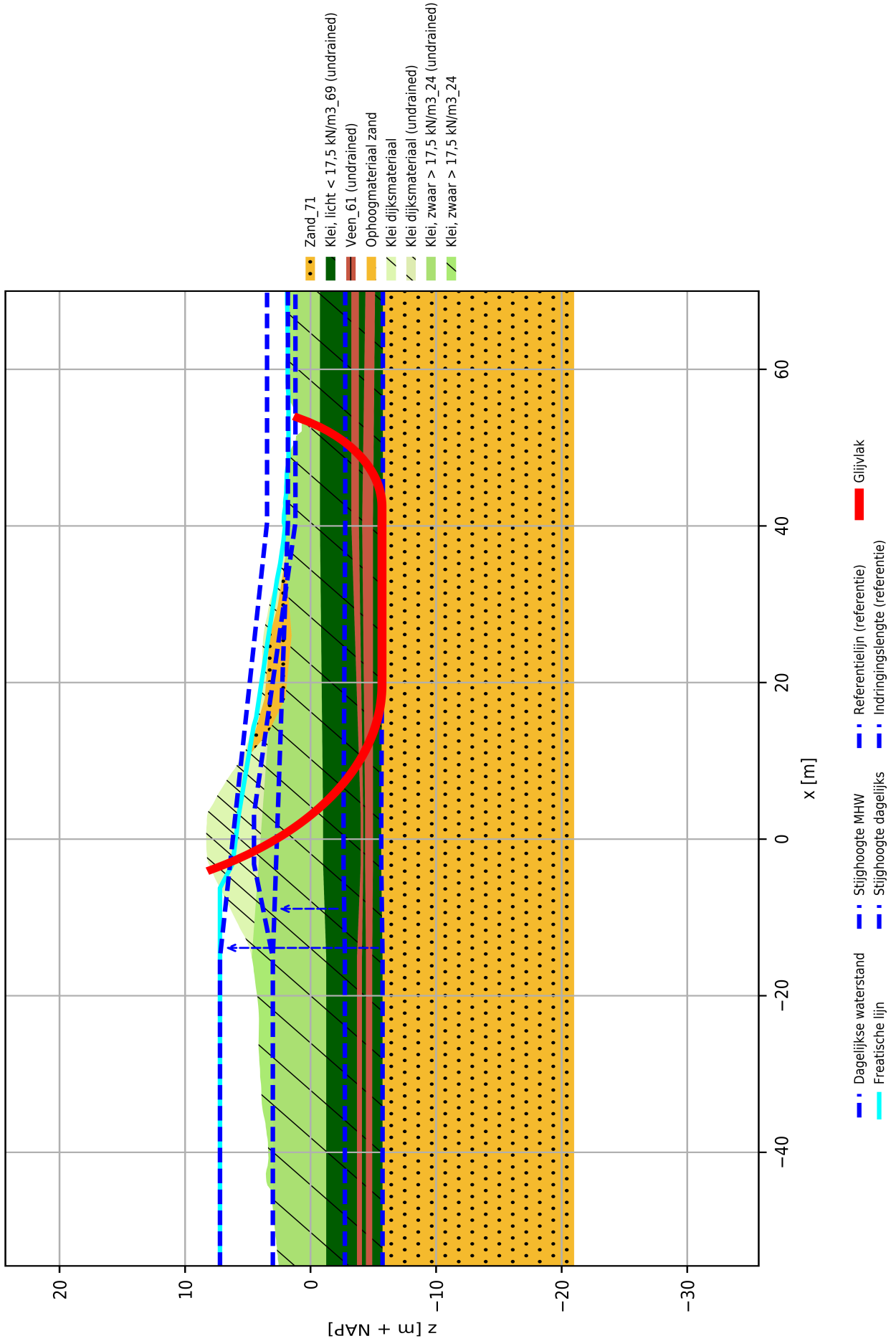


J Stabiliteitsberekeningen schematiseringsfactor

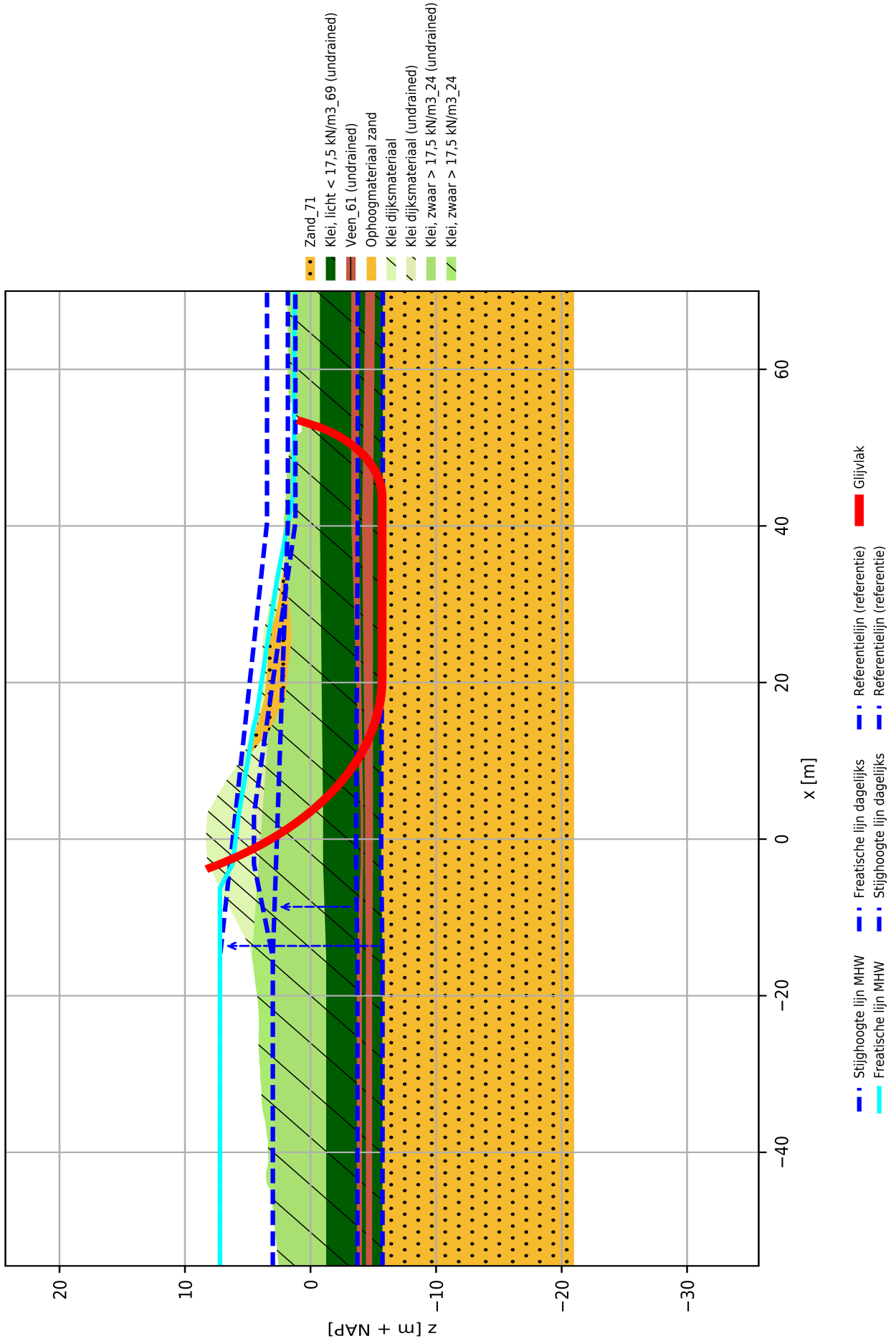
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.47



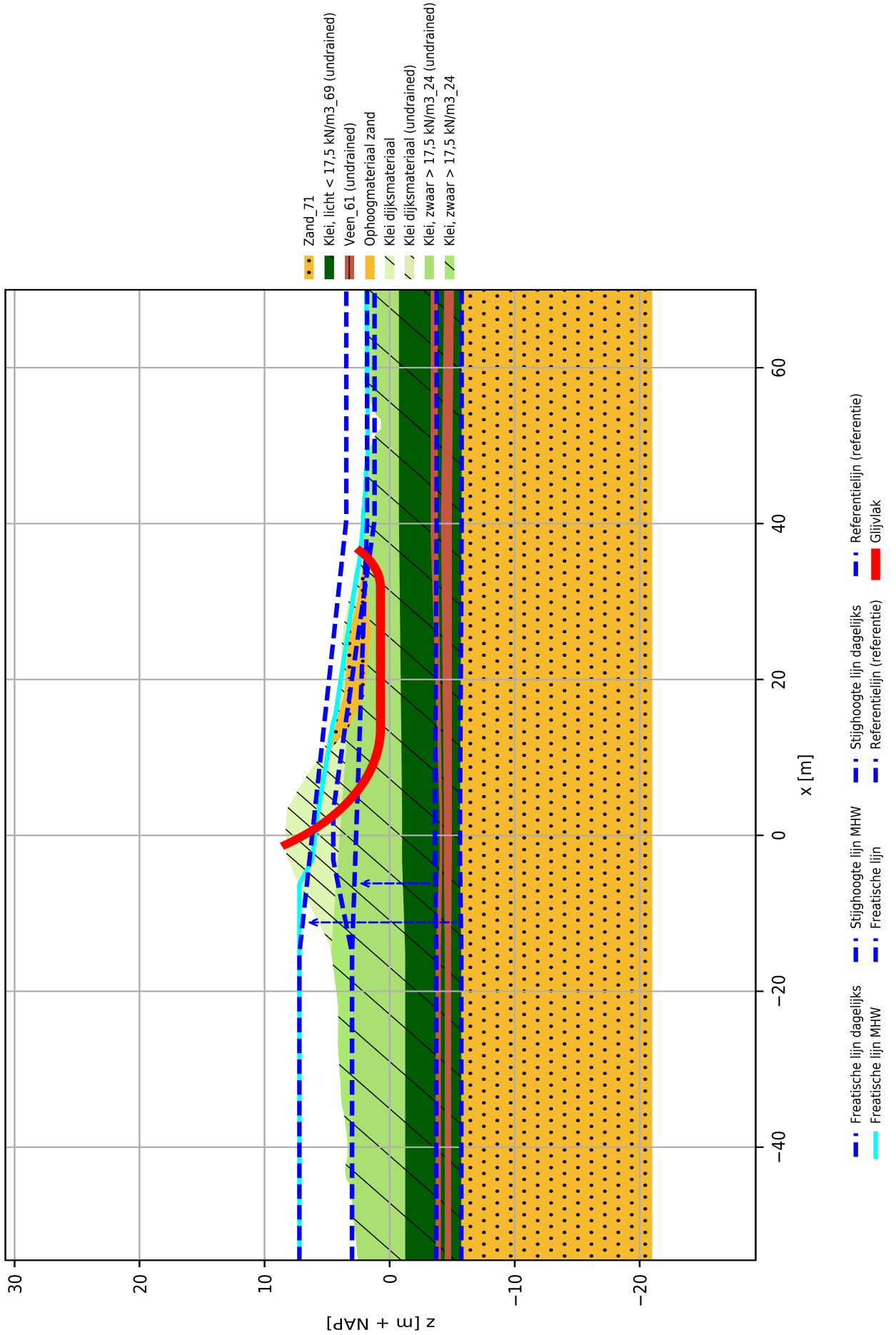
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.45



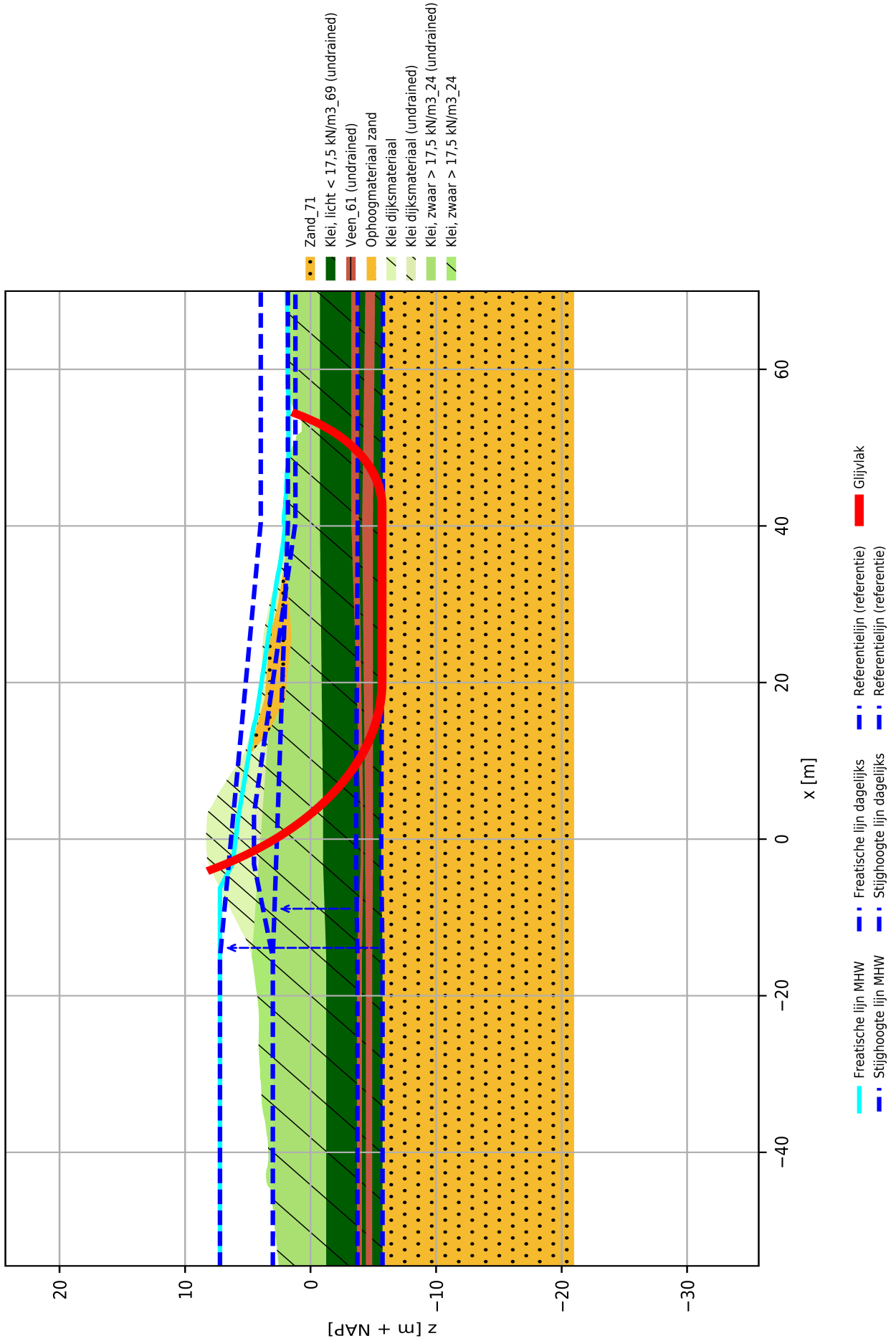
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.35



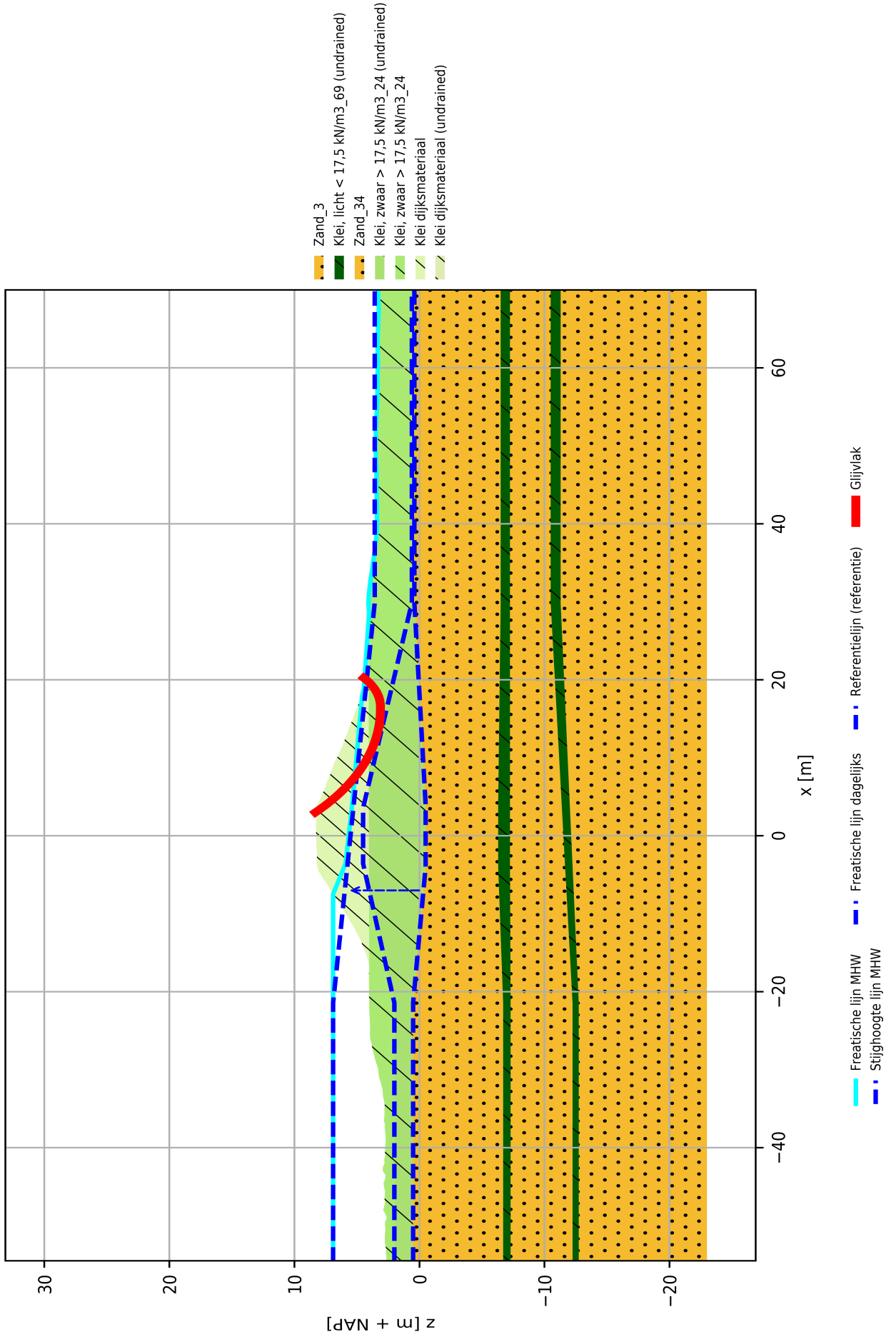
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.4



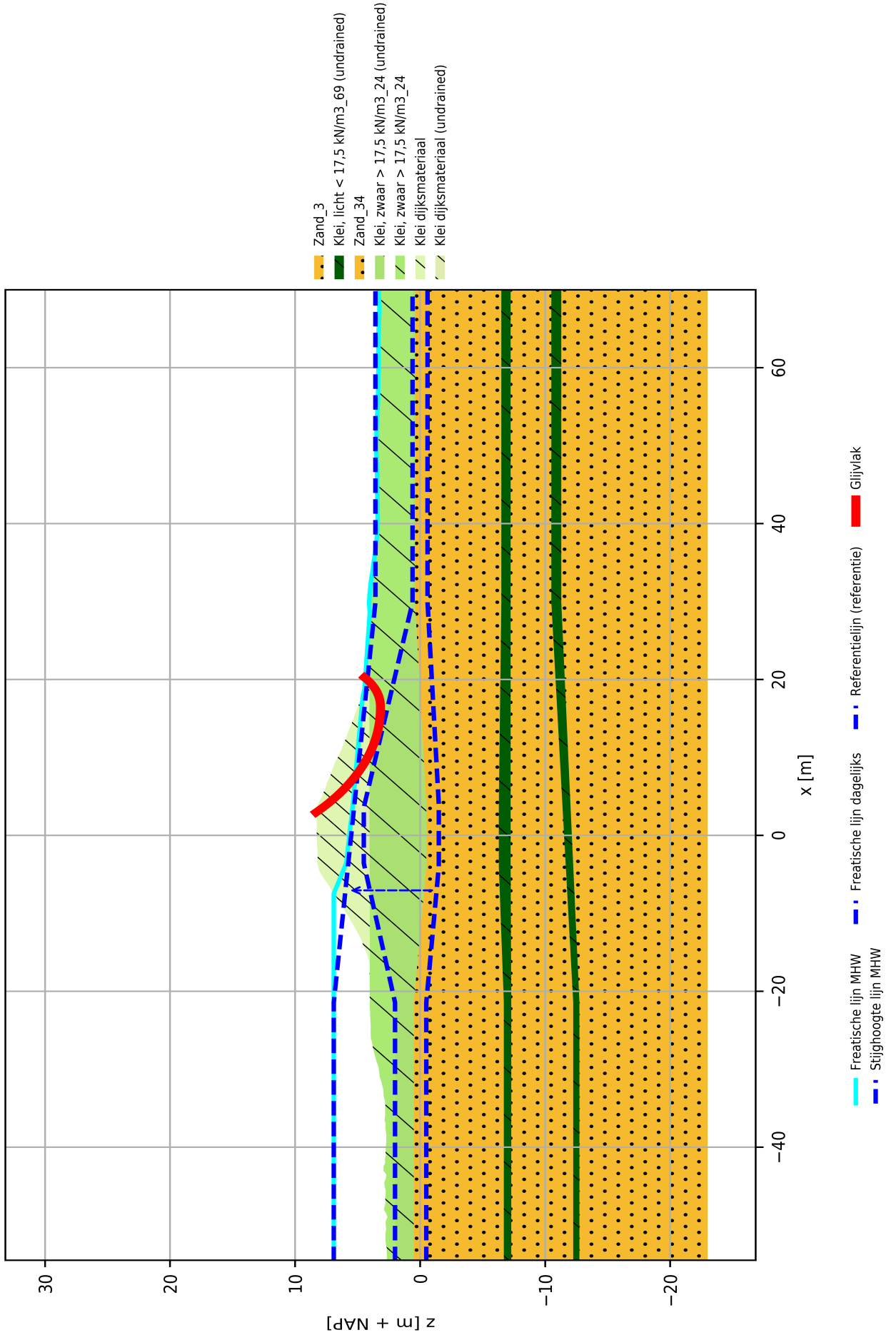
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.44



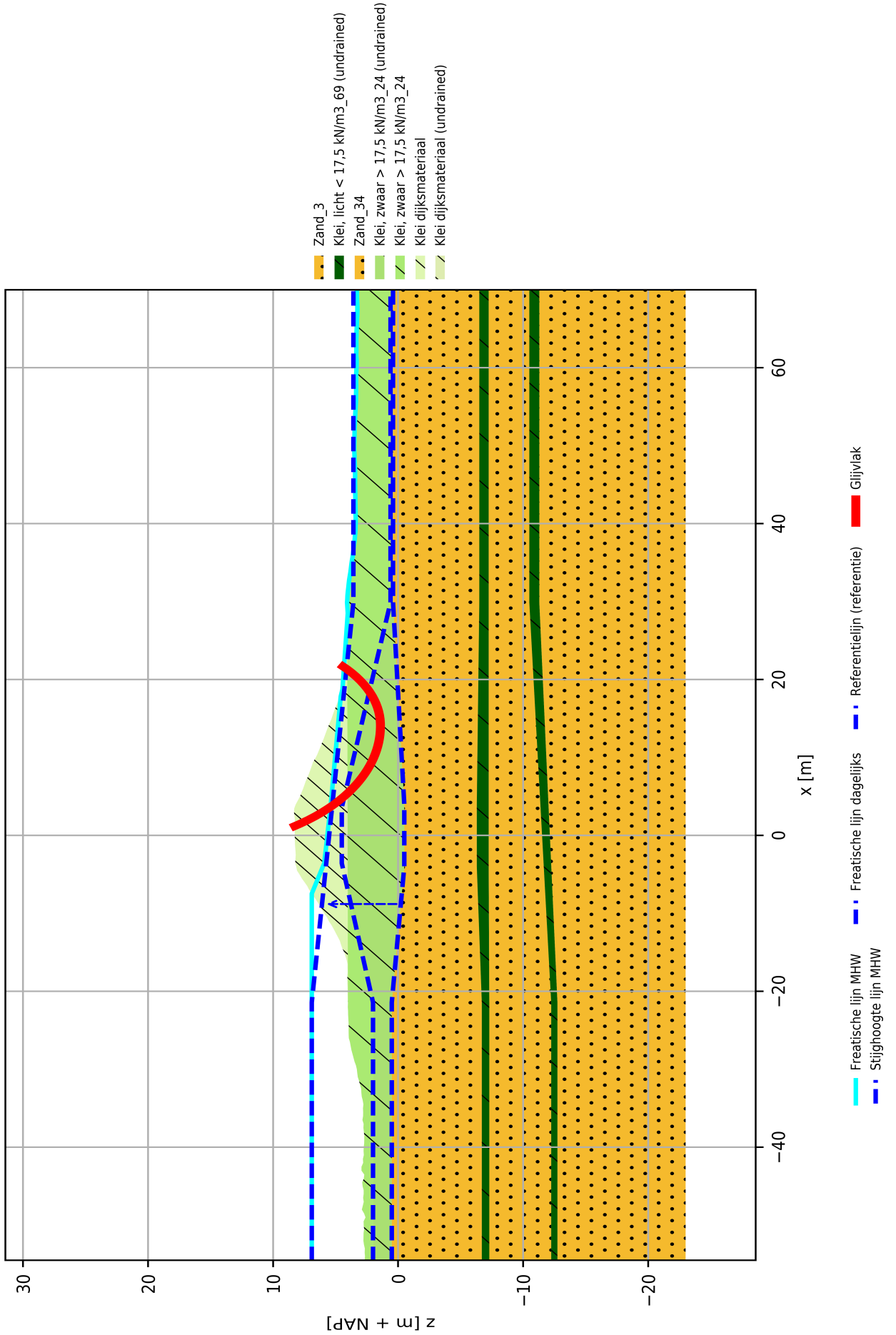
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.8



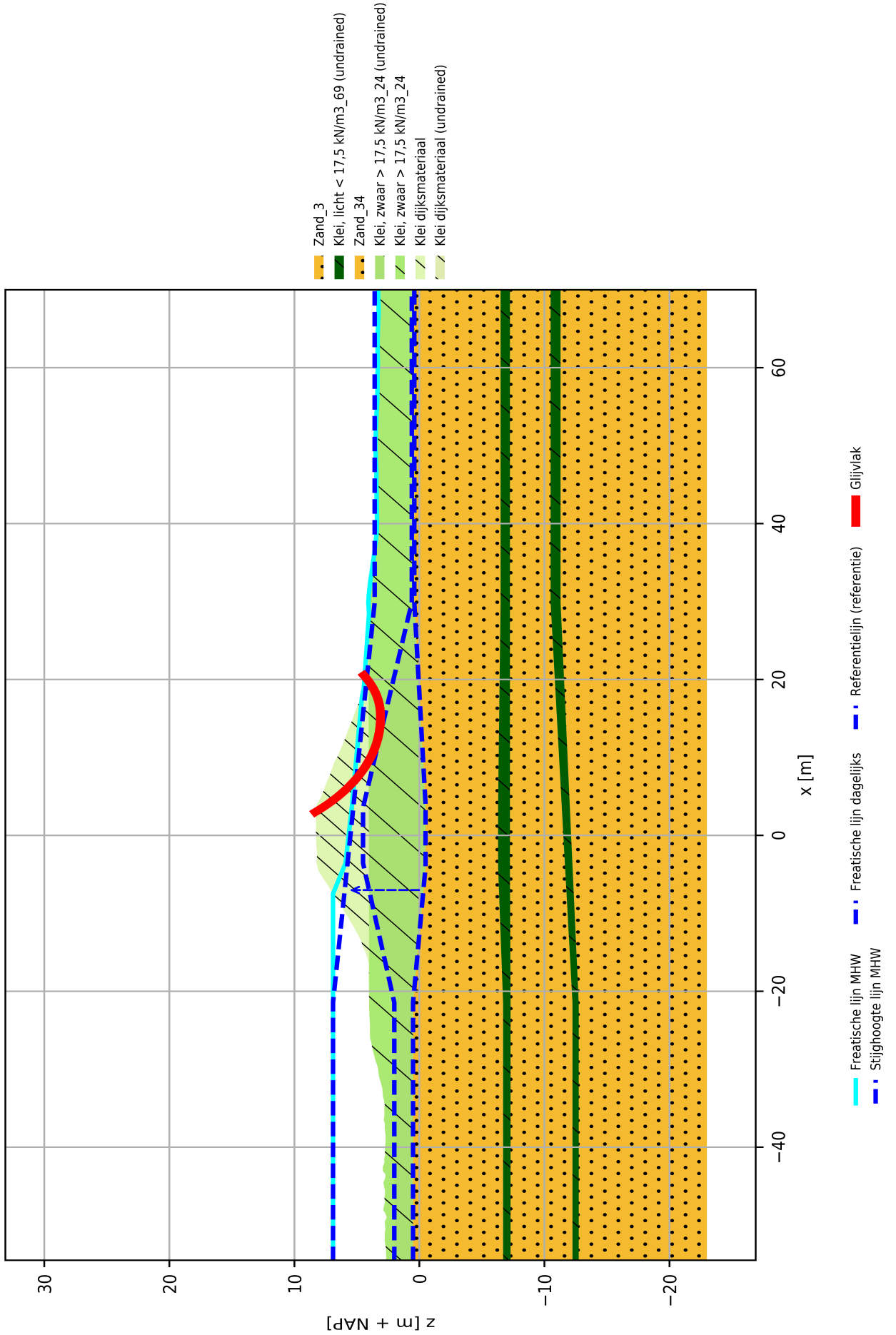
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.79



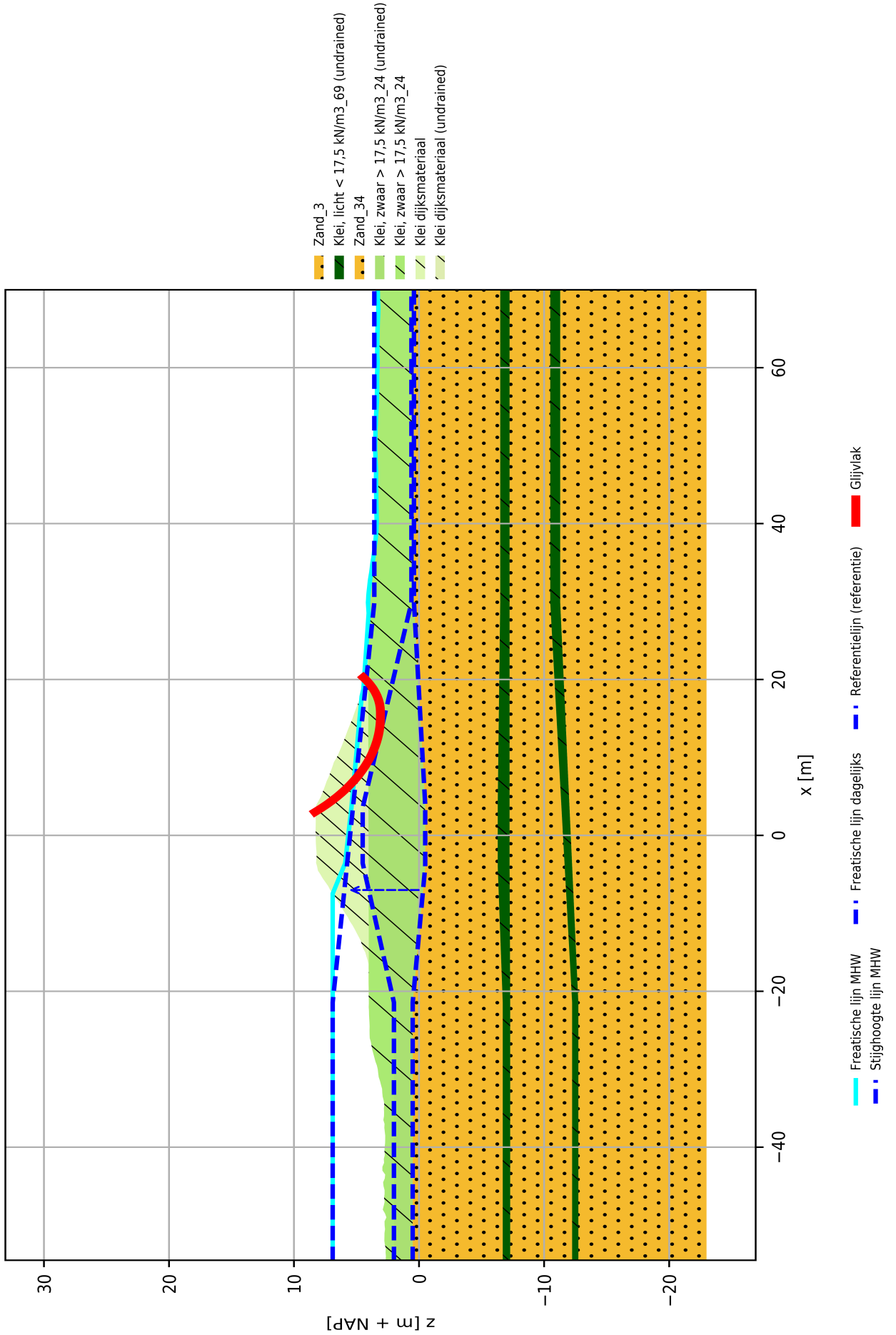
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.58



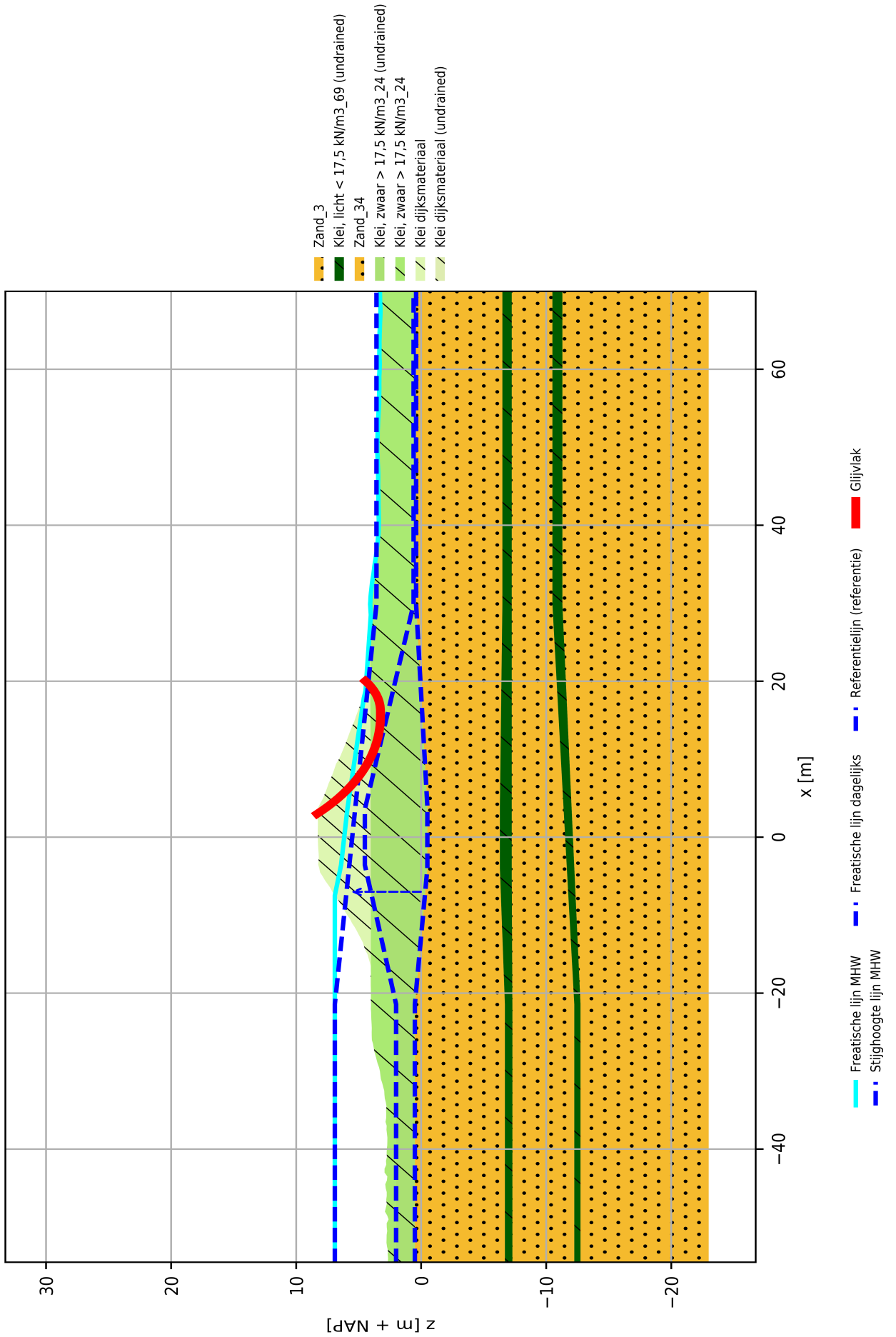
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.79



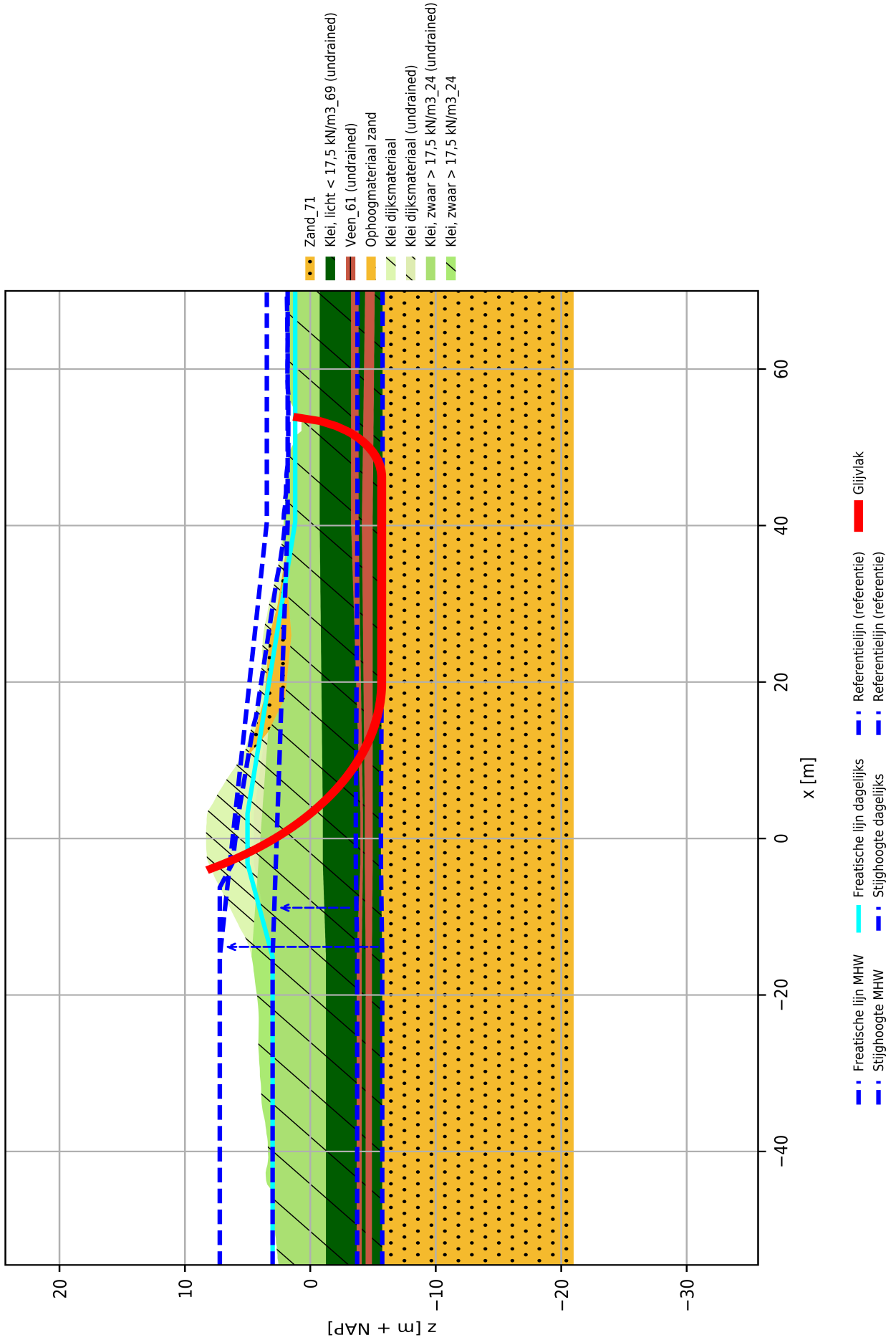
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.81



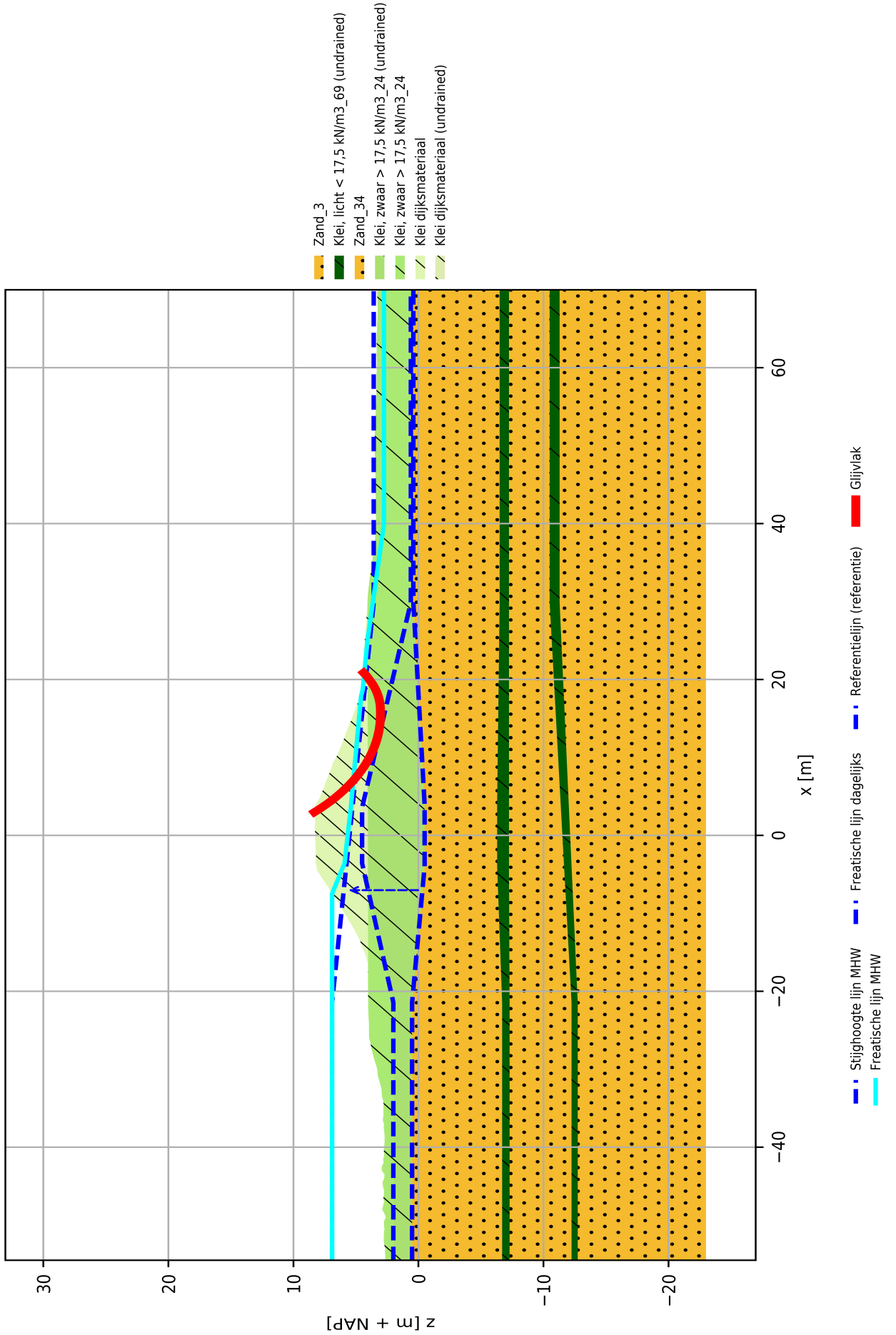
DWP 255.0 , Fase 2: MHW, factor of safety: 1.73



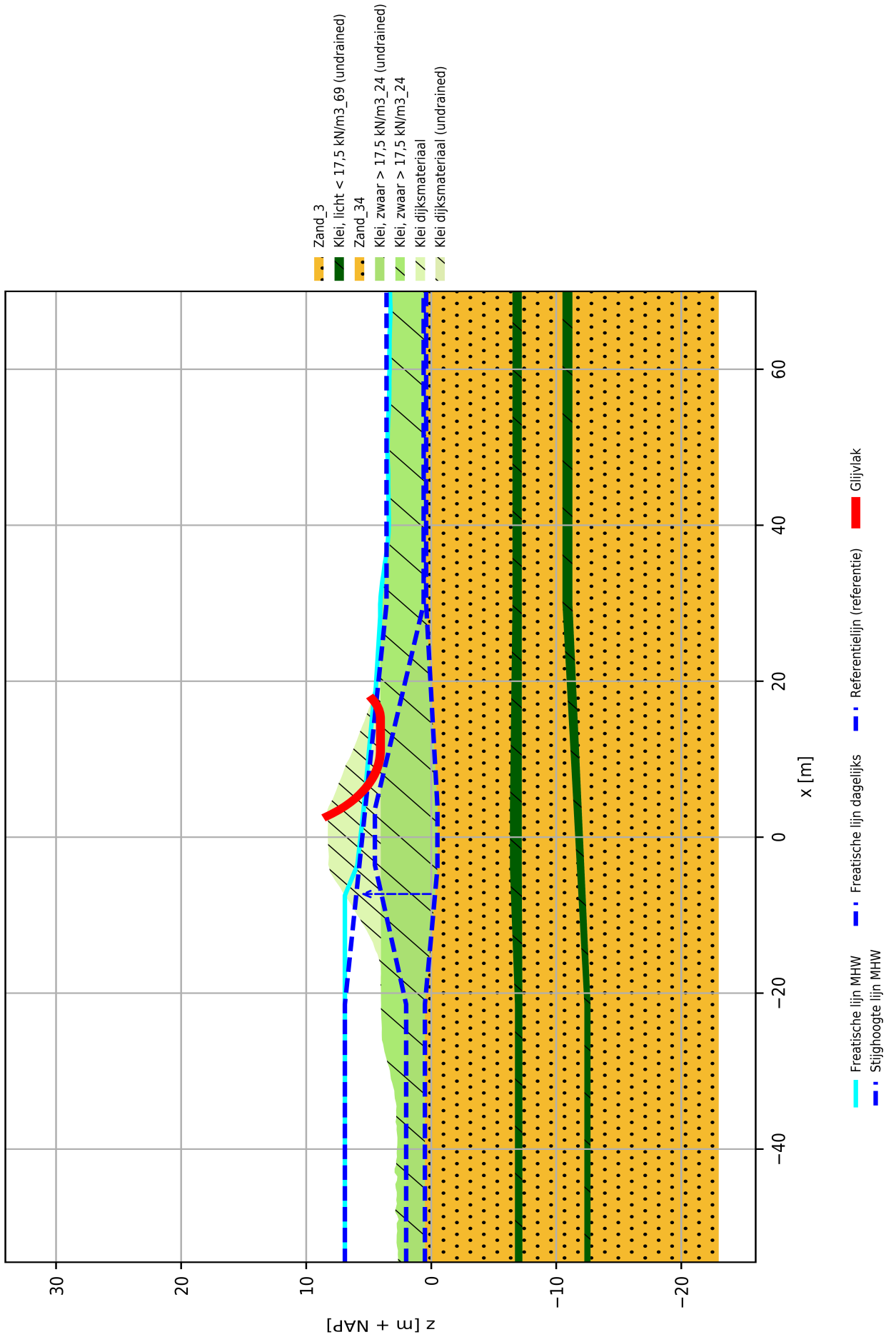
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.4



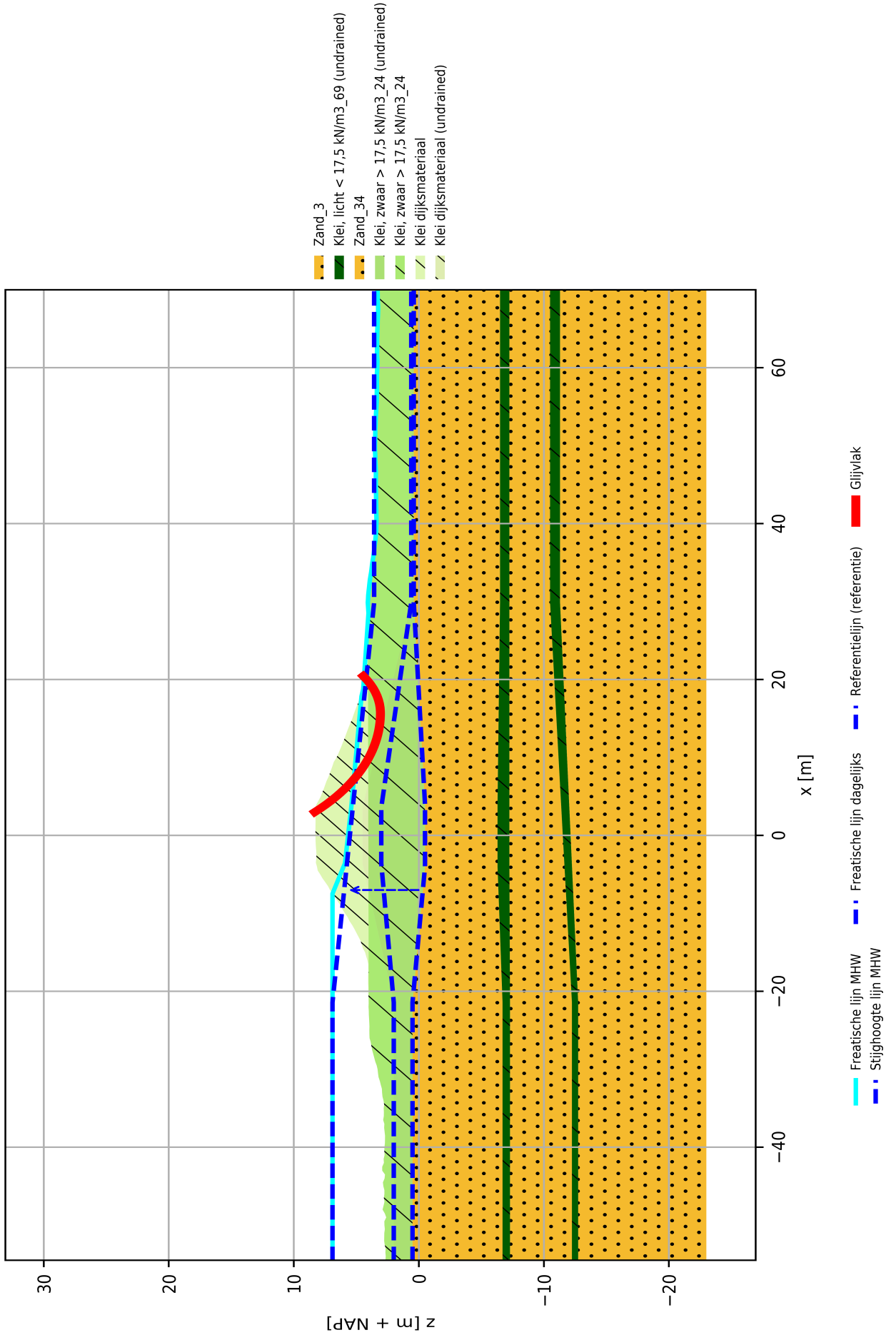
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.8



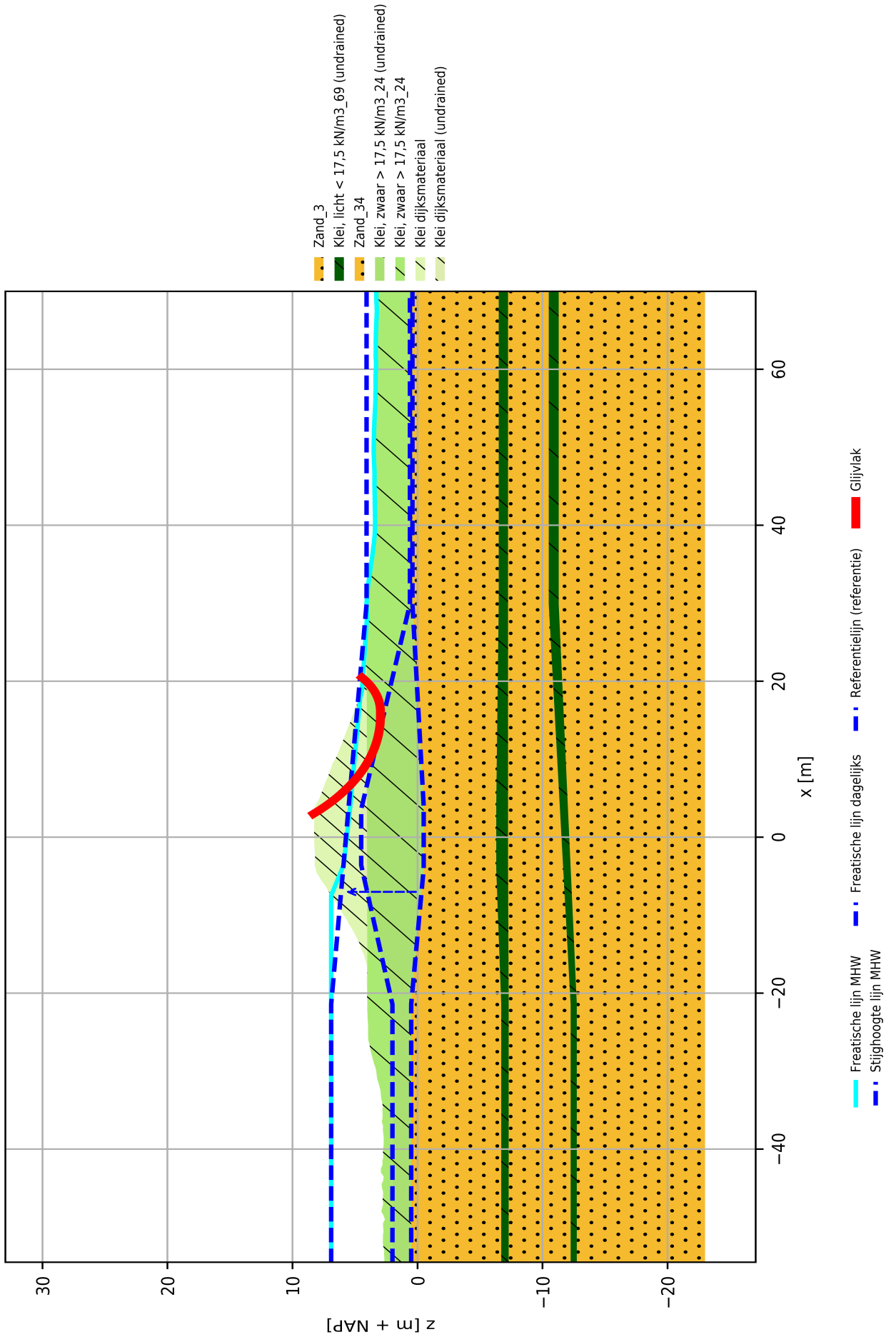
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.83



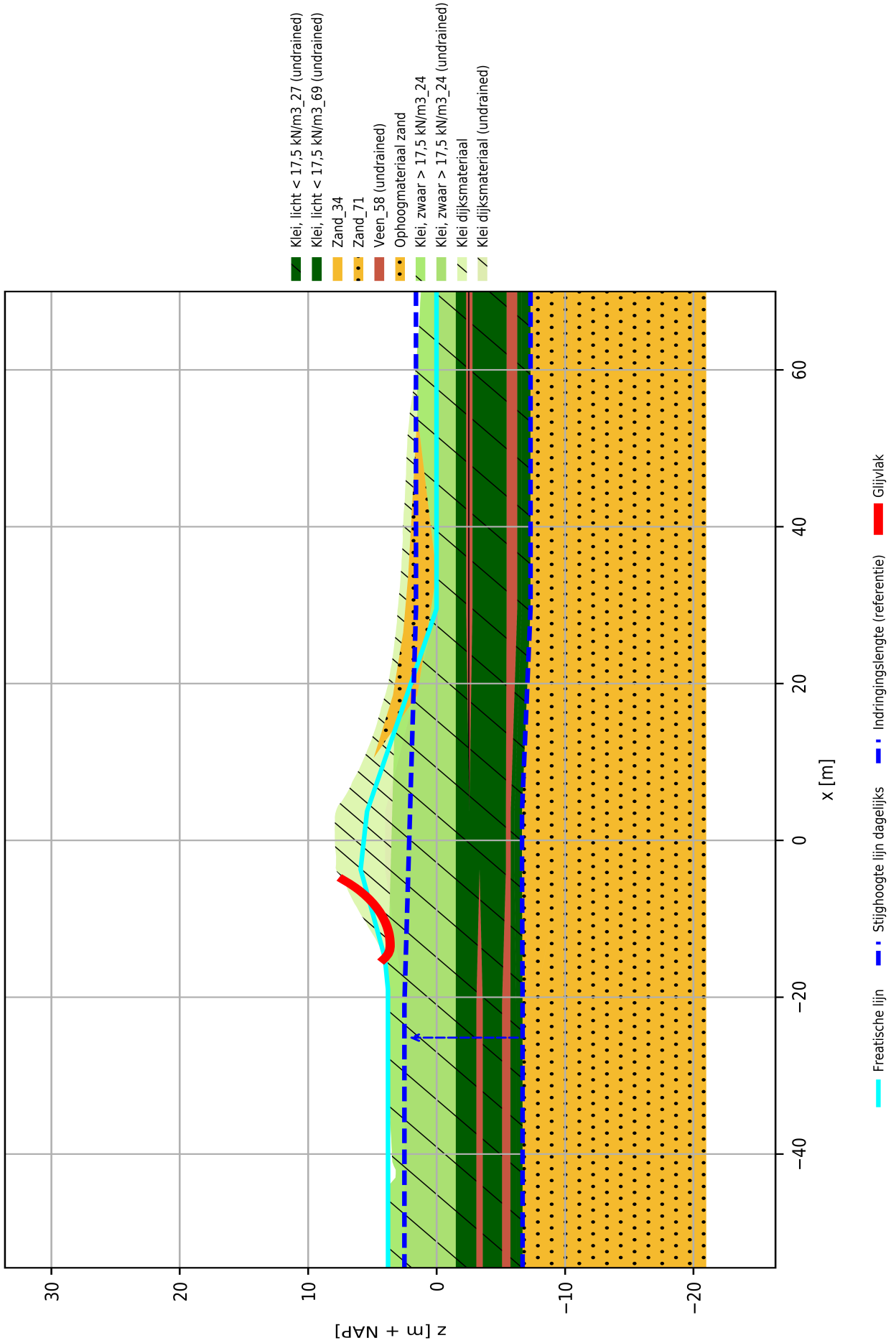
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.8



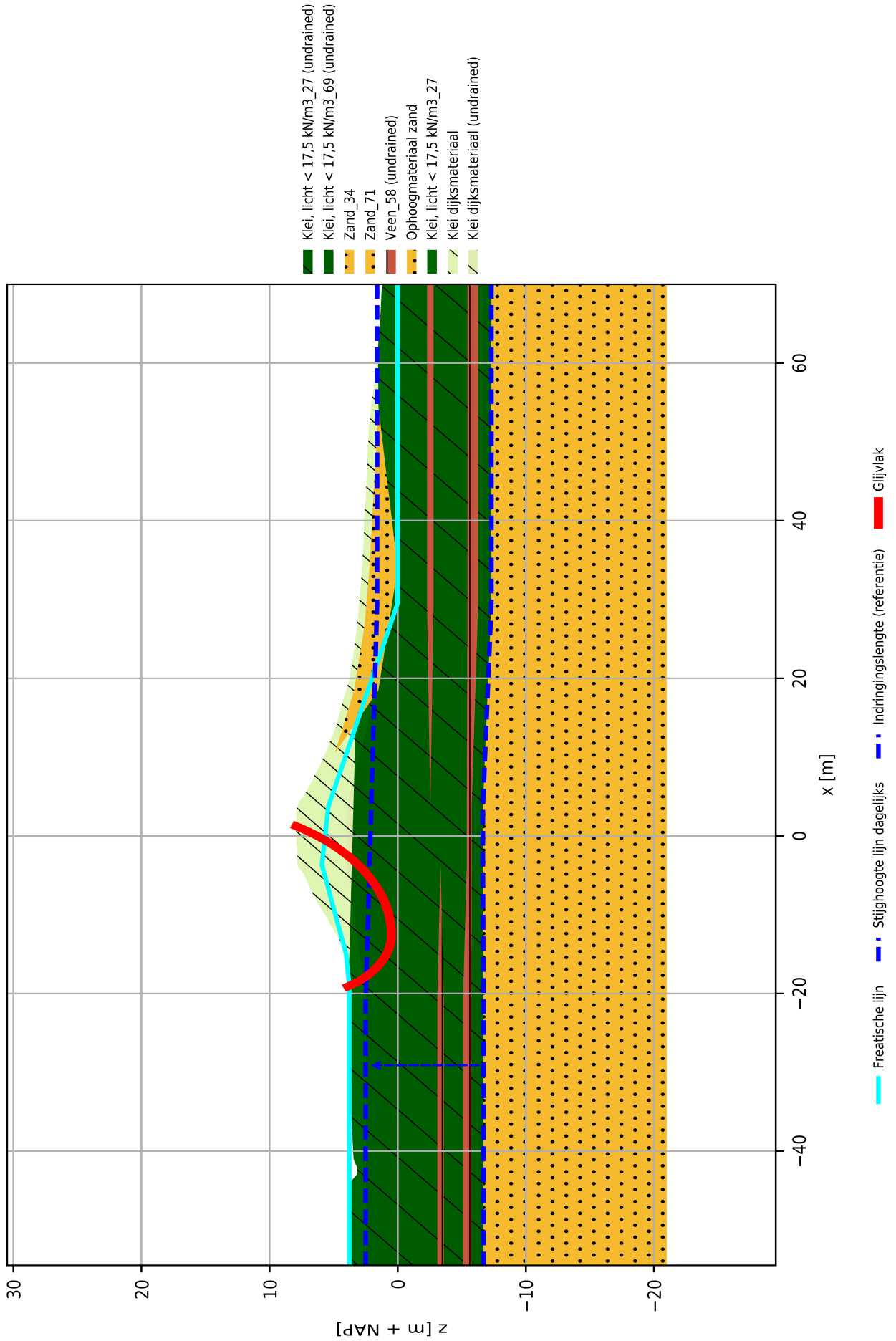
DWP 255.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.75



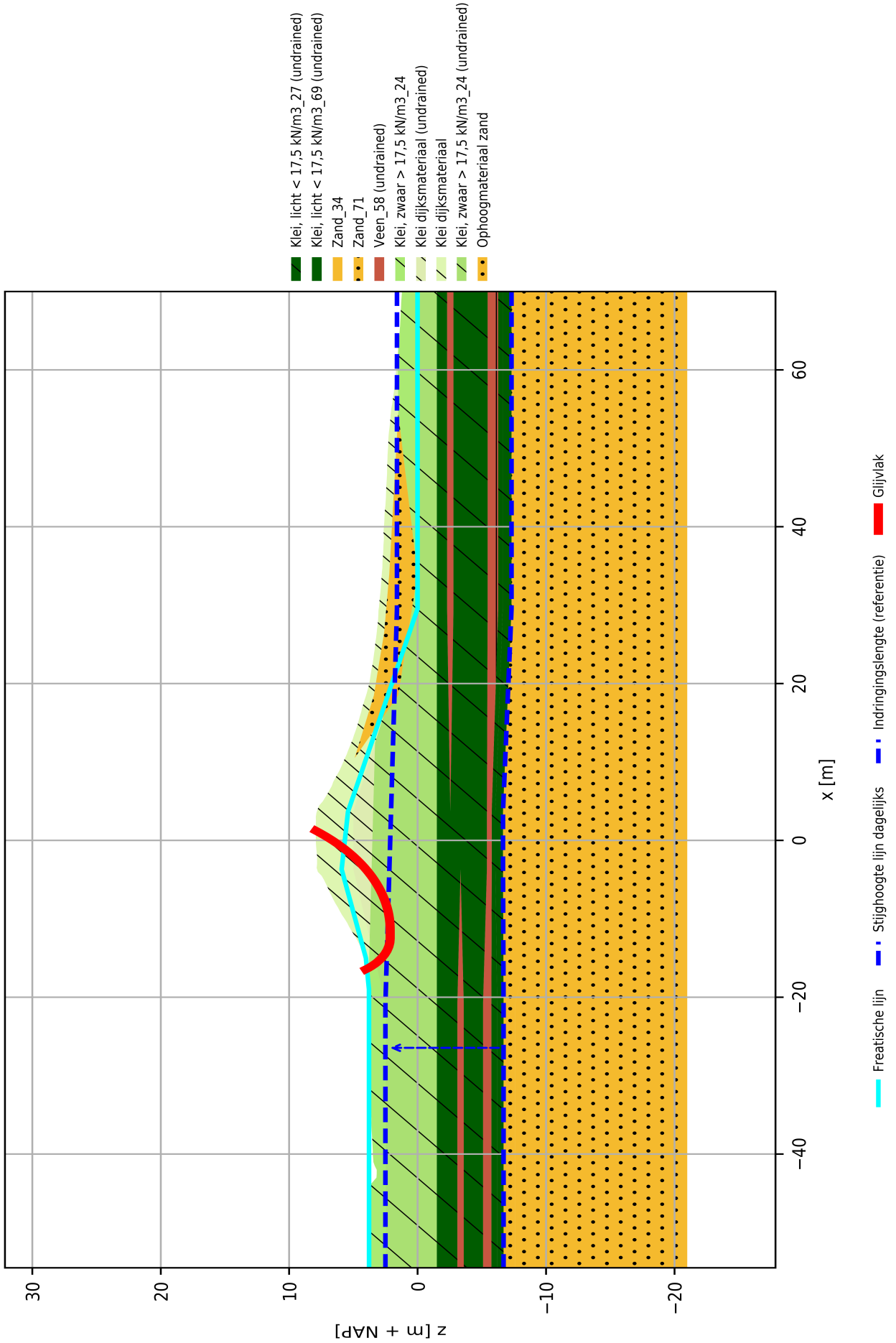
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.38



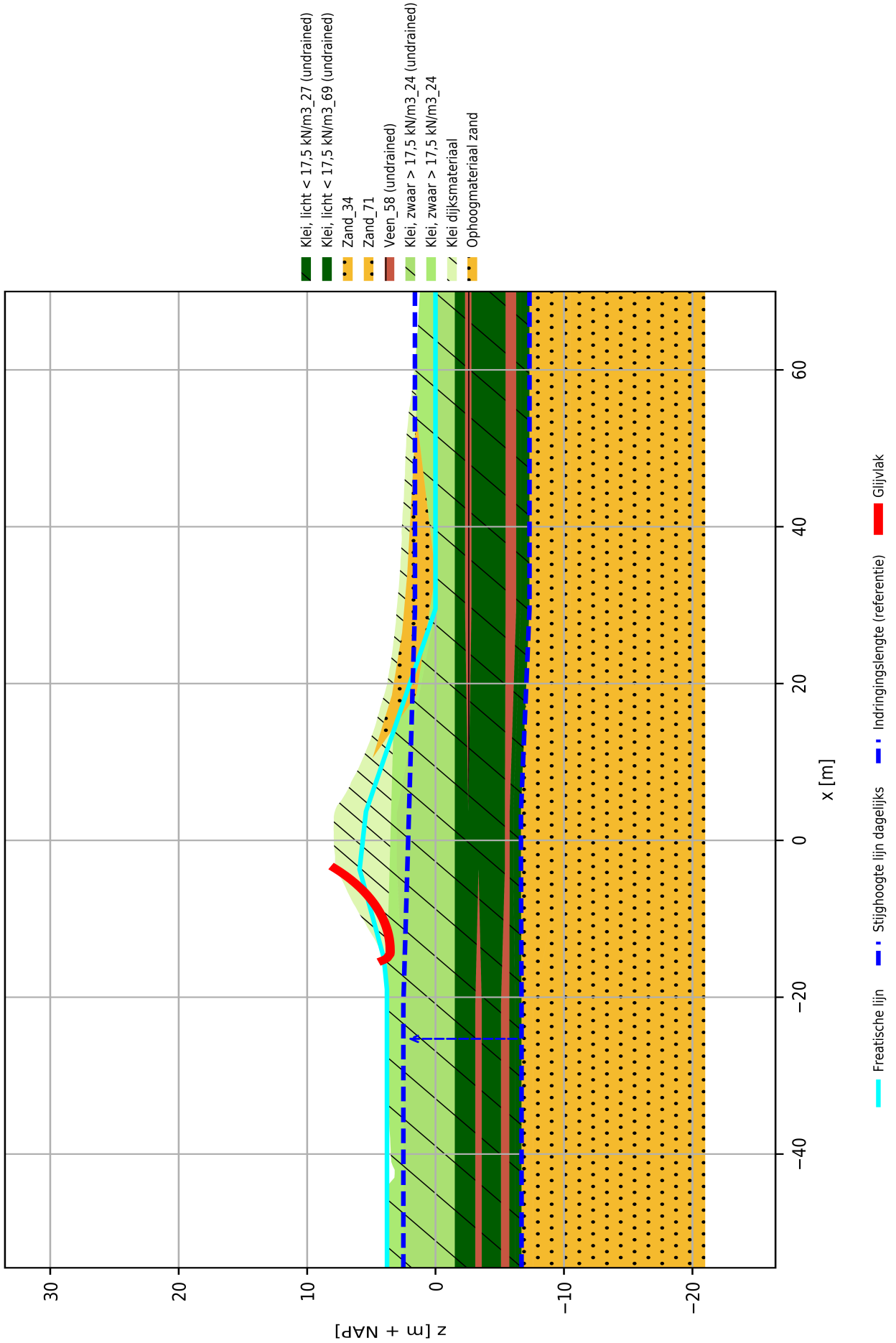
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.21



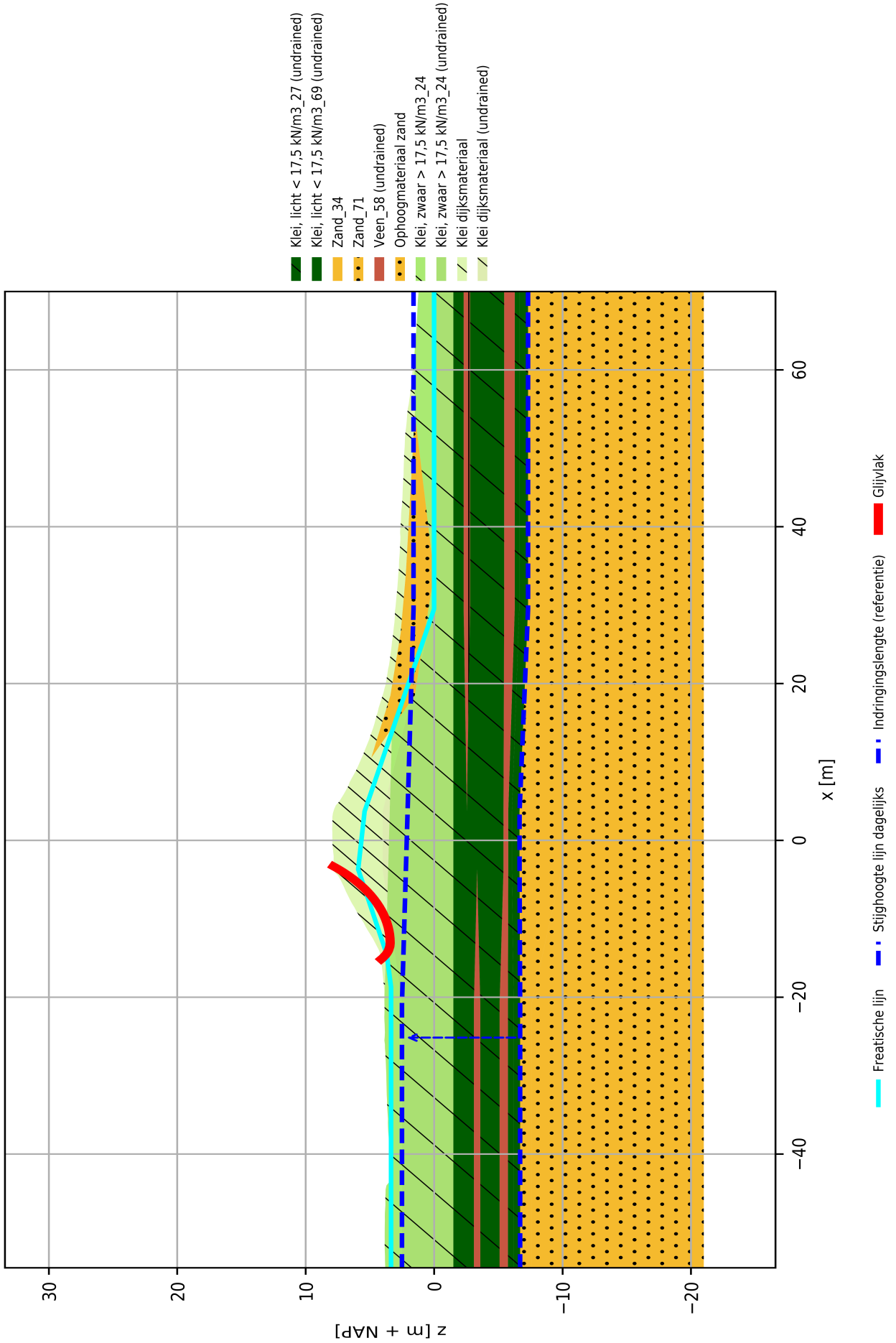
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.4



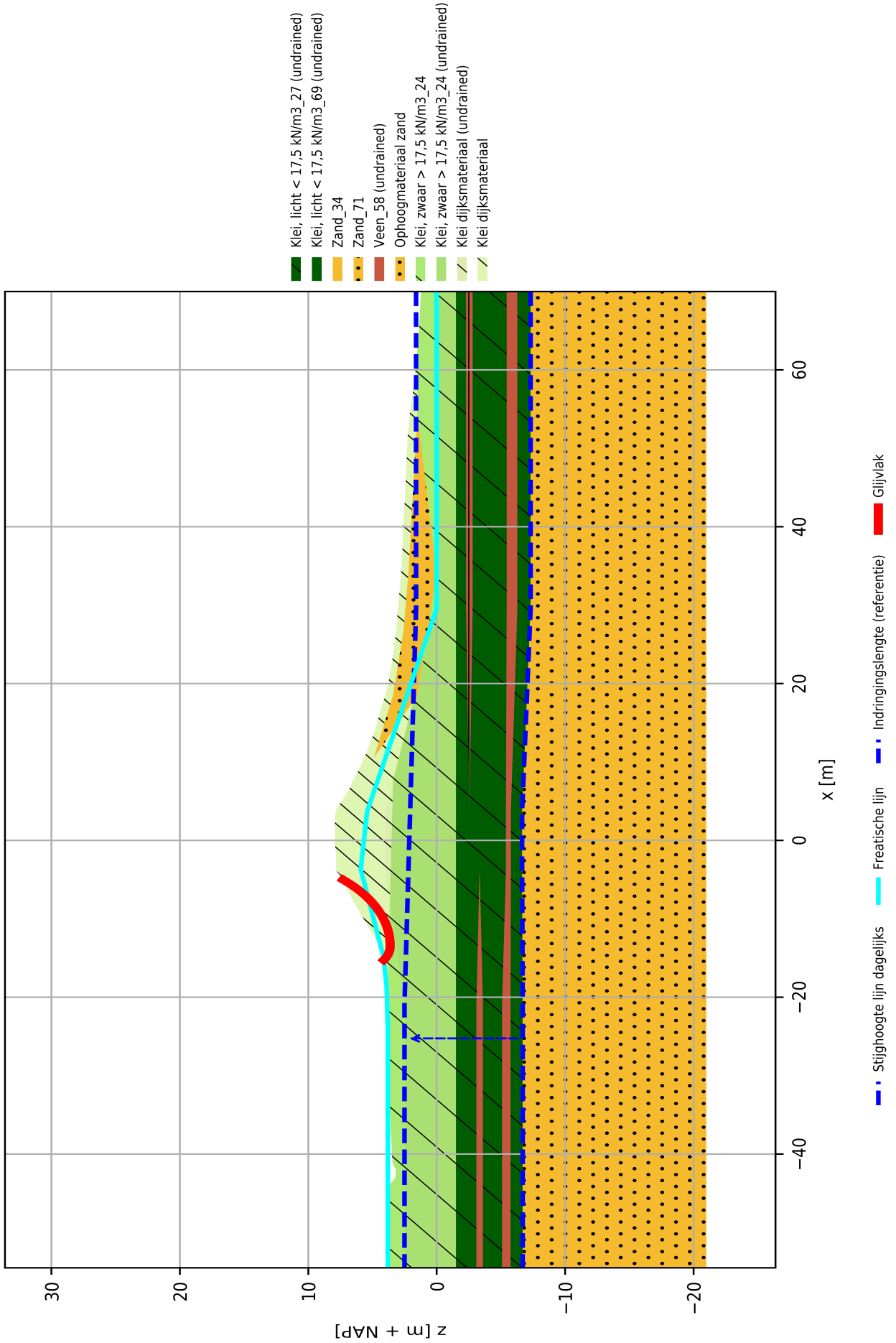
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.39



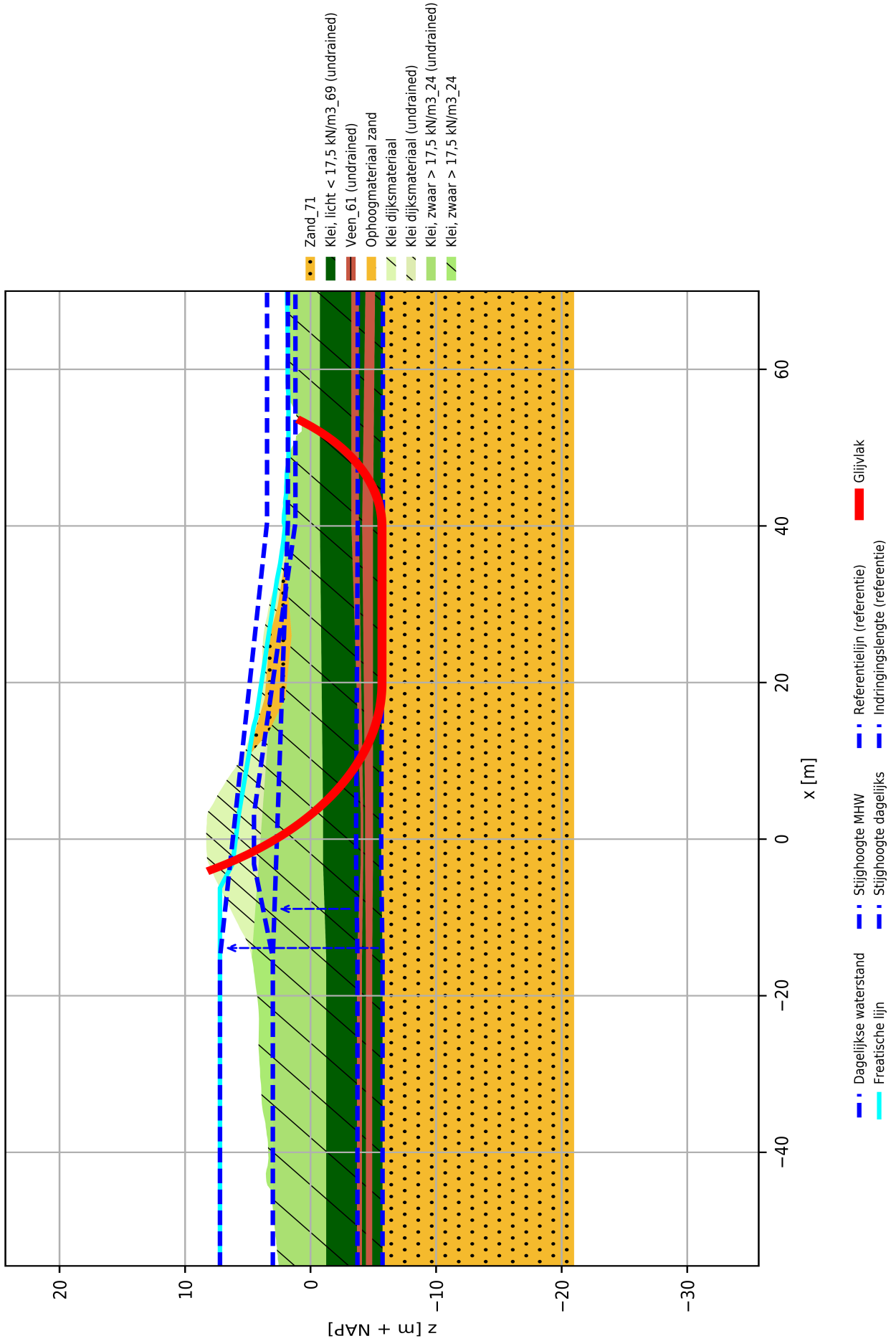
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.5



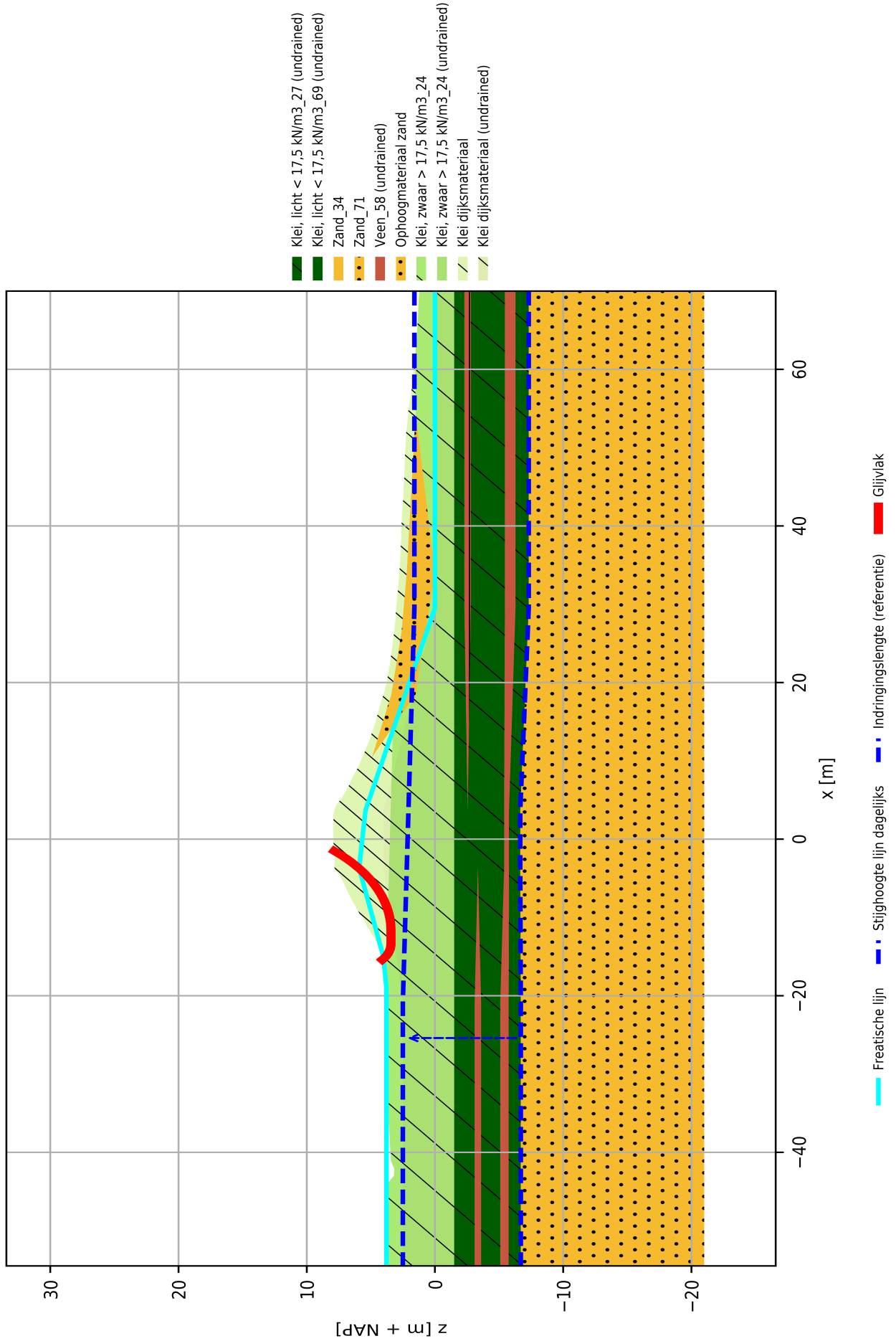
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.35



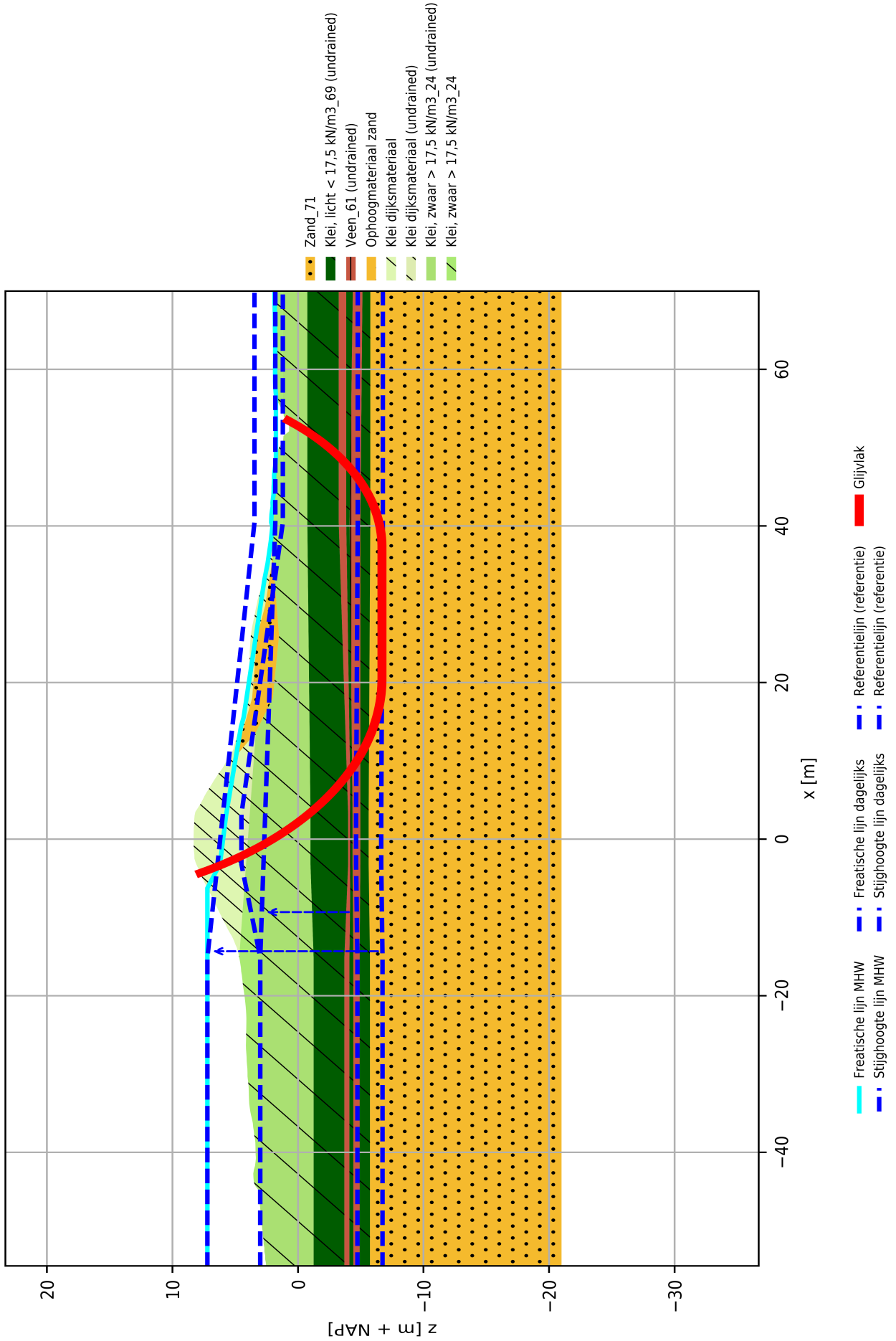
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.45



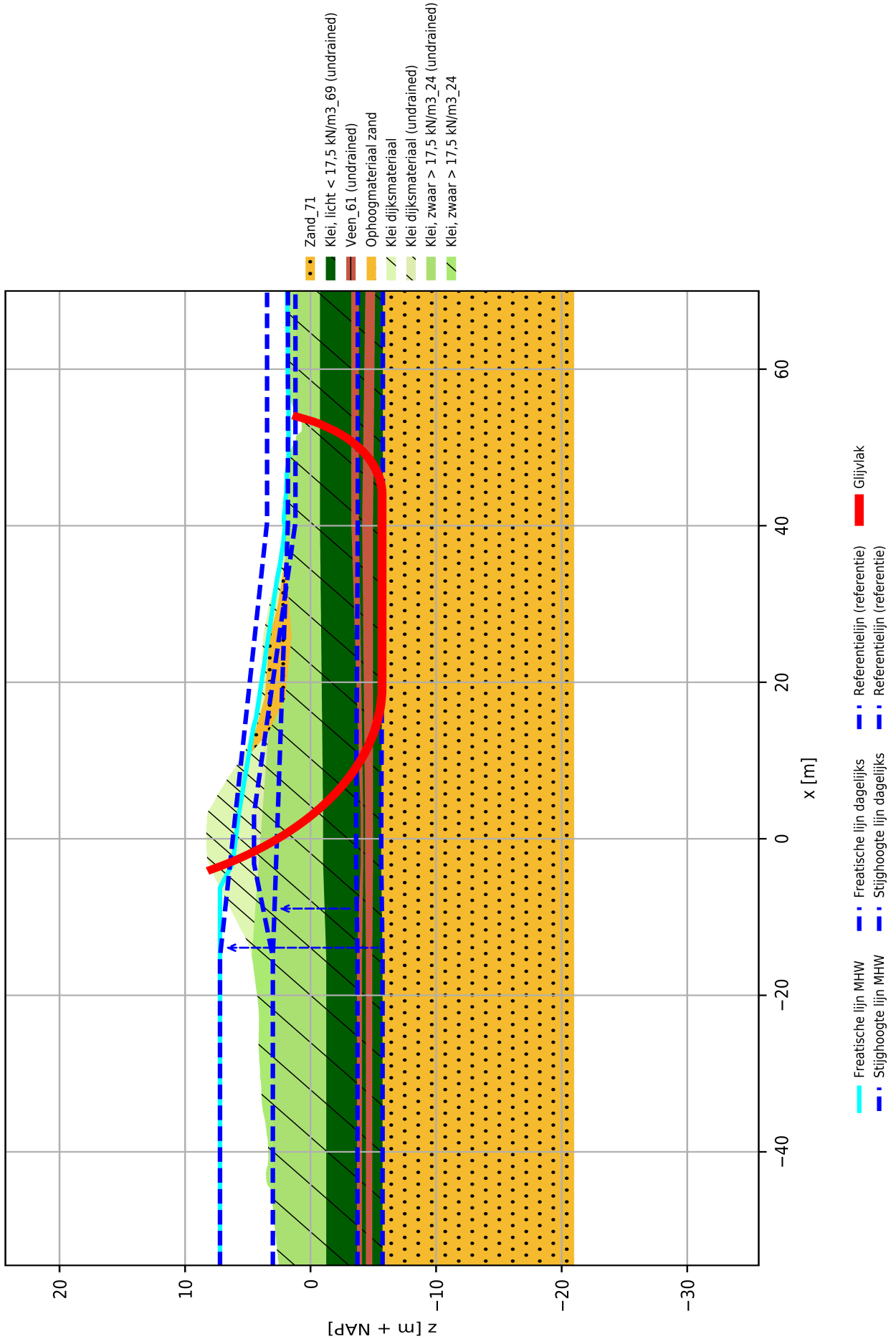
DWP 265.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.33



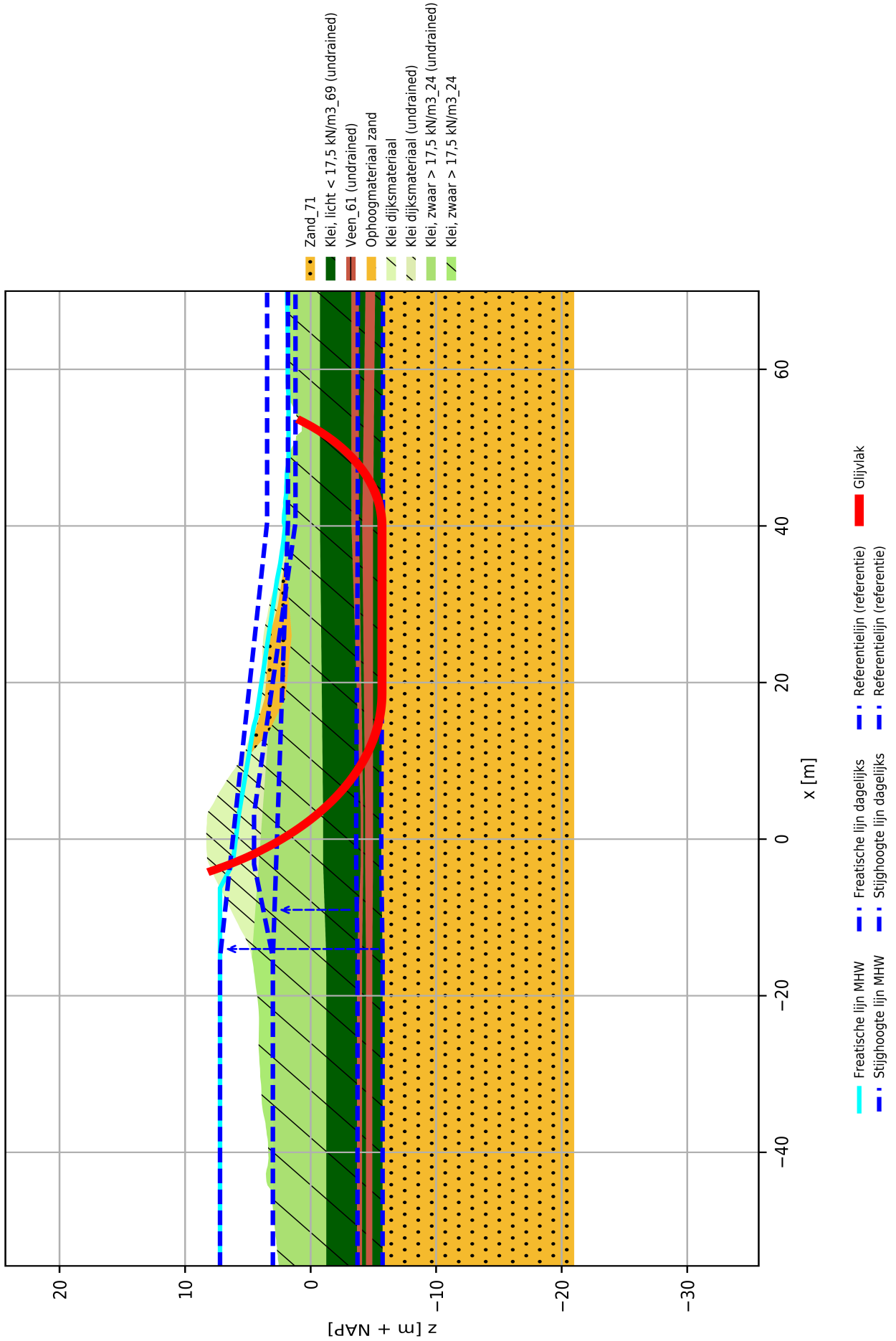
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.43



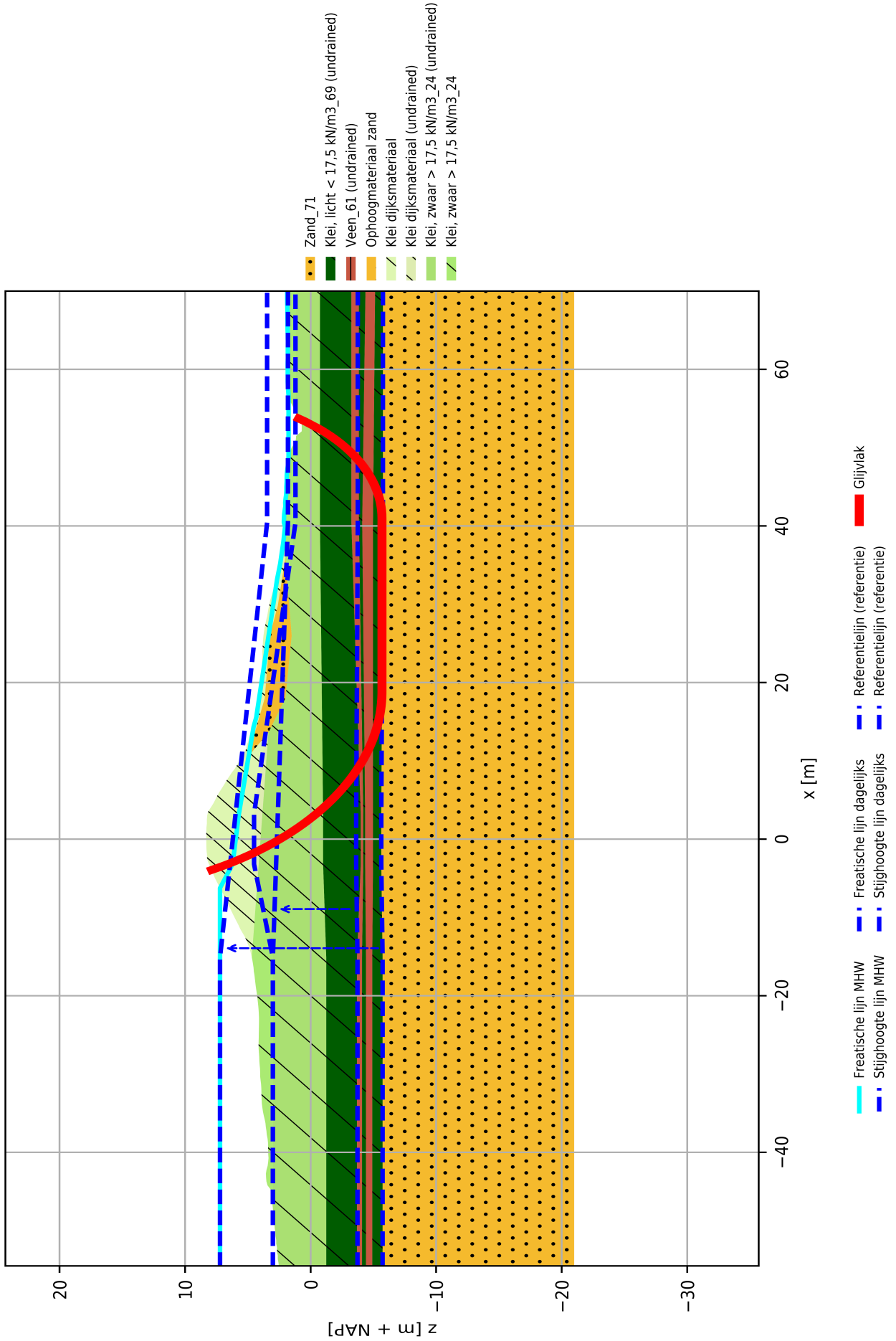
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.34



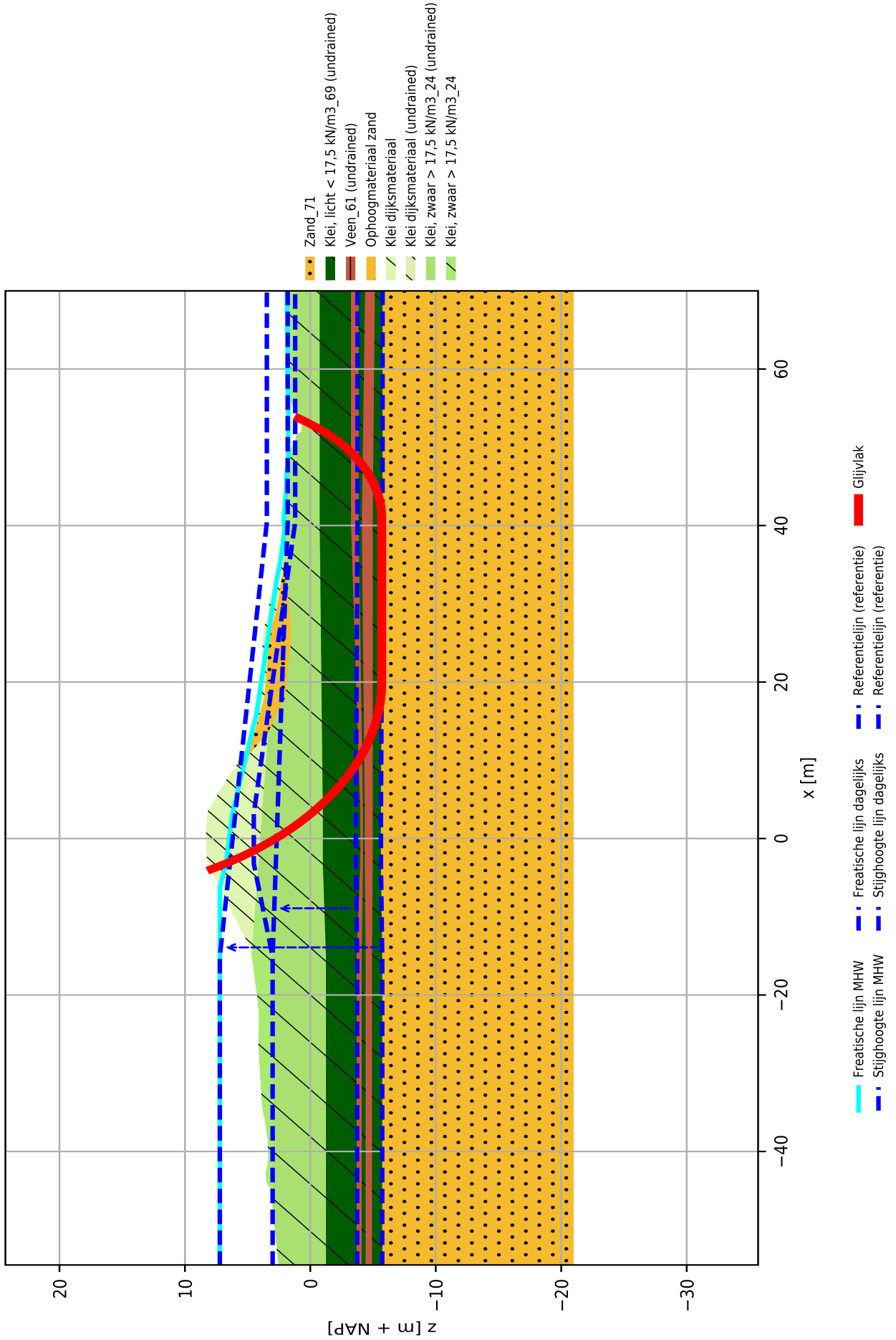
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.46



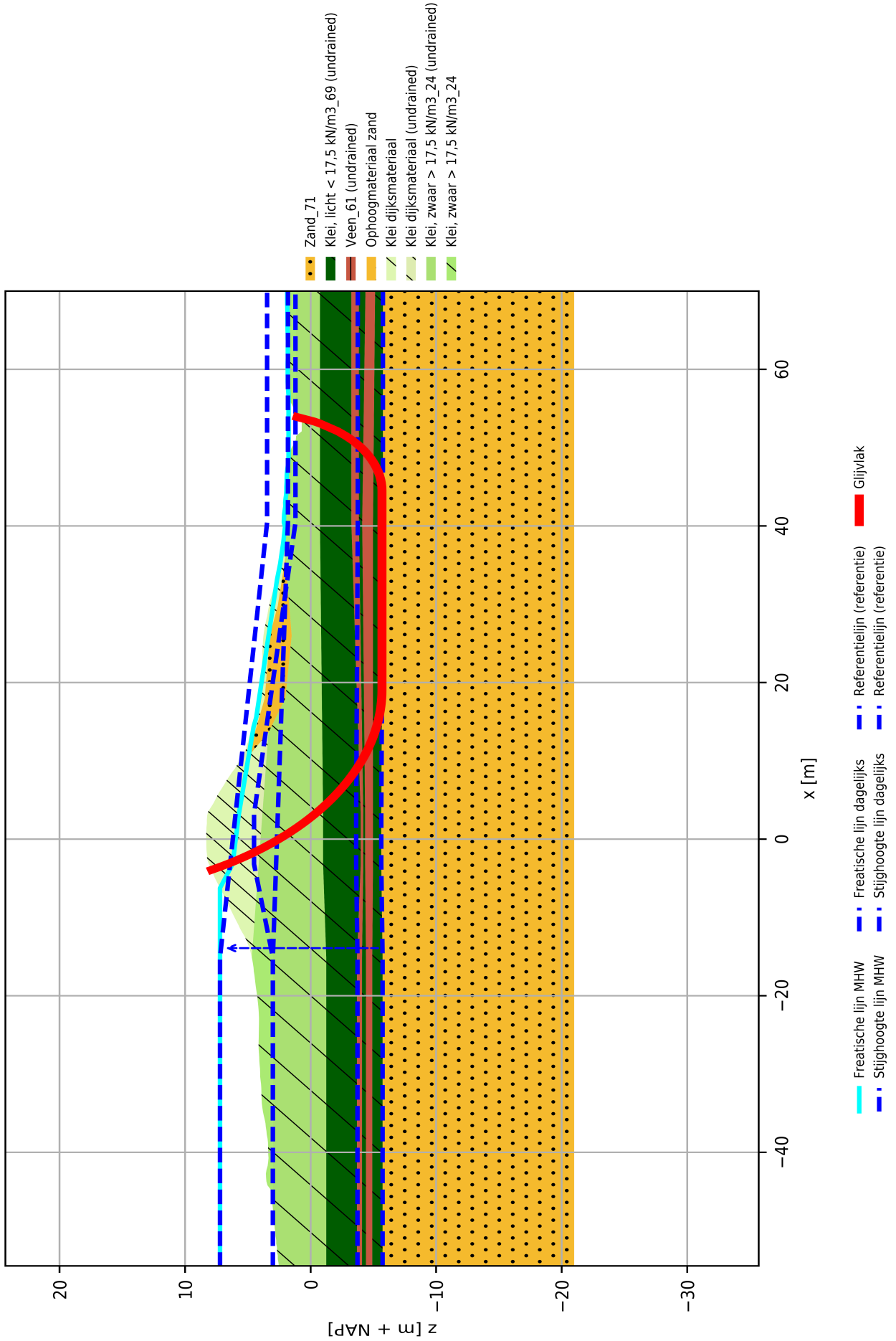
DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.44



DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.45



DWP 235.0, Fase 2: MHW, factor of safety: 1.42



Bijlage K: Berekening opbarstveiligheid deklaag

CUB

DWP303 Voorhavendijk-noord

Dijkvak 1

Deklaagdikte 8,4 m

Opdrijven

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
-0,1	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	0,90	18,40	16,56
-1,0	Veen_61	0,70	11,00	7,70
-1,7	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,50	15,50	7,75
-2,2	Veen_61	0,50	11,00	5,50
-2,7	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,60	15,50	9,30
-3,3	Veen_61	1,80	11,00	19,80
-5,1	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	2,00	15,50	31,00
-7,1	Veen_61	1,40	11,00	15,40
-8,5				
		8,40	13,45	113,01
Bovenzijde watervoerendpakket = -8,5			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,87			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 124			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 0,91			[-]	
Grenspotential = 3,02			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP300 Voorhavendijk-zuid

Dijkvak 1

Deklaagdikte 4,9 m

Opdrijven

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
1,0	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	1,90	18,40	34,96
-0,9	Veen_61	1,70	11,00	18,70
-2,6	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	1,30	15,50	20,15
-3,9				
		4,90	15,06	73,81
Bovenzijde watervoerendpakket = -3,9			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,81			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 87			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 0,85			[-]	
Grenspotential = 3,62			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB DWP 295 Dijkvak 2a Deklaagdikte 8,2 m Opdrijven				
Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
0,6	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	0,60	18,40	11,04
0,0	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	0,50	18,40	9,20
-0,5	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,30	15,50	4,65
-0,8	Veen_58	2,05	11,00	22,55
-2,9	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	3,90	15,50	60,45
-6,8	Veen_58	0,50	11,00	5,50
-7,3	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,37	15,50	5,74
-7,62				
		8,22	14,49	119,13
Bovenzijde watervoerendpakket = -7,6			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,94			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 126			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 0,95			[-]	
Grenspotential = 4,52			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 287

Dijkvak 2c

Deklaagdikte 1,5 m

Opbarsten

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
1,4 -0,1	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	1,50	18,40	27,60
		1,50	18,40	27,60
Bovenzijde watervoerendpakket = -0,1			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,50			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 36			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 0,77			[-]	
Grenspotential = 2,71			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 283

Dijkvak 3a

Deklaagdikte 9,2 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
2,1	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	3,44	18,40	63,30
-1,3	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	4,66	15,50	72,23
-6,0	Veen_58	1,10	11,00	12,10
-7,1				
		9,20	16,05	147,63
Bovenzijde watervoerendpakket = -7,1			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,97			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 111			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,33			[-]	
Grenspotential = 7,95			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 280

Dijkvak 3b+3c

Deklaagdikte 3,4 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
1,7 -1,7	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	3,40	18,40	62,56
		3,40	18,40	62,56
Bovenzijde watervoerendpakket = -1,7			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,39			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 51			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,23			[-]	
Grenspotential = 4,68			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 275

Dijkvak 3d

Deklaagdikte 1,0 m

Opbarsten

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
0,7 -0,4	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	1,05	18,40	19,32
		1,05	18,40	19,32
Bovenzijde watervoerendpakket = -0,4			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 2,84			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 32			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 0,61			[-]	
Grenspotential = 1,62			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 267

Dijkvak 3e

Deklaagdikte 7,8 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
0,8	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	2,30	18,40	42,32
-1,5	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	4,00	15,50	62,00
-5,5	Veen_58	1,20	11,00	13,20
-6,7	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,30	15,50	4,65
-7,0				
		7,80	15,66	122,17
Bovenzijde watervoerendpakket = -7,0			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 2,39			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 94			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,30			[-]	
Grenspotential = 5,45			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 265

Dijkvak 4a+4b

Deklaagdikte 8,4 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
1,1	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	2,60	18,40	47,84
-1,5	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,80	15,50	12,40
-2,3	Veen_58	0,50	11,00	5,50
-2,8	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	2,70	15,50	41,85
-5,5	Veen_58	0,80	11,00	8,80
-6,3	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	1,00	15,50	15,50
-7,3				
		8,40	15,70	131,89
Bovenzijde watervoerendpakket = -7,3			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,08			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 104			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,27			[-]	
Grenspotential = 6,14			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 255

Dijkvak 4c+5a

Deklaagdikte 3 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
3,4 0,4	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	3,00	18,40	55,20
		3,00	18,40	55,20
Bovenzijde watervoerendpakket = 0,4			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,57			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 32			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,74			[-]	
Grenspotential = 6,03			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 248

Dijkvak 5b

Deklaagdikte 2,7 m

Tussenzandlaag watervoerend verondersteld

Opbarsten

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
2,5 -0,2	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	2,70	18,40	49,68
		2,70	18,40	49,68
Bovenzijde watervoerendpakket = -0,2			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,96			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 42			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,19			[-]	
Grenspotential = 4,86			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 235

Dijkvak 7b

Deklaagdikte 7,6 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
1,8	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	2,60	18,40	47,84
-0,8	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	2,50	15,50	38,75
-3,3	Veen_58	0,60	11,00	6,60
-3,9	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,30	15,50	4,65
-4,2	Veen_58	0,80	11,00	8,80
-5,0	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,80	15,50	12,40
-5,8				
		7,60	15,66	119,04
Bovenzijde watervoerendpakket = -5,8			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 3,46			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 93			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,29			[-]	
Grenspotentiaal = 6,33			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 231

Dijkvak 7a+7c

Deklaagdikte 8,3 m

Tussenzandlaag is niet watervoerend o.b.v. peilbuis DP229+000_B_AL pb1

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
1,9	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	1,90	18,40	34,96
0,0	Zand_3	4,50	20,00	90,00
-4,5	Veen_58	0,80	11,00	8,80
-5,3	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	1,10	15,50	17,05
-6,4				
		8,30	18,17	150,81
Bovenzijde watervoerendpakket = -6,4			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,05			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 105			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,44			[-]	
Grenspotential = 8,97			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 227

Dijkvak 8

Deklaagdikte 8,7 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
2,1	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	4,10	18,40	75,44
-2,0	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	2,80	15,50	43,40
-4,8	Veen_58	0,70	11,00	7,70
-5,5	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	1,10	15,50	17,05
-6,6				
		8,70	16,50	143,59
Bovenzijde watervoerendpakket = -6,6			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,01			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 106			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,35			[-]	
Grenspotential = 8,04			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 224

Dijkvak 9a

Deklaagdikte 8,0 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
2,7	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	3,00	18,40	55,20
-0,3	Zand_3	0,30	20,00	6,00
-0,6	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	1,40	15,50	21,70
-2,0	Veen_58	2,10	11,00	23,10
-4,1	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	1,20	15,50	18,60
-5,3				
		8,00	15,58	124,60
Bovenzijde watervoerendpakket = -5,3			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,46			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 98			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,28			[-]	
Grenspotential = 7,40			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 209

Dijkvak 9c

Deklaagdikte 7,6 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
2,6	Water	0,60	10,00	6,00
2,0	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	1,00	18,40	18,40
1,0	Zand_3	0,70	20,00	14,00
0,3	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	5,30	15,50	82,15
-5,0				
		7,60	15,86	120,55
Bovenzijde watervoerendpakket = -5,0			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,03			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 90			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,33			[-]	
Grenspotential = 7,29			[m] (t.o.v. NAP)	

CUB

DWP 205

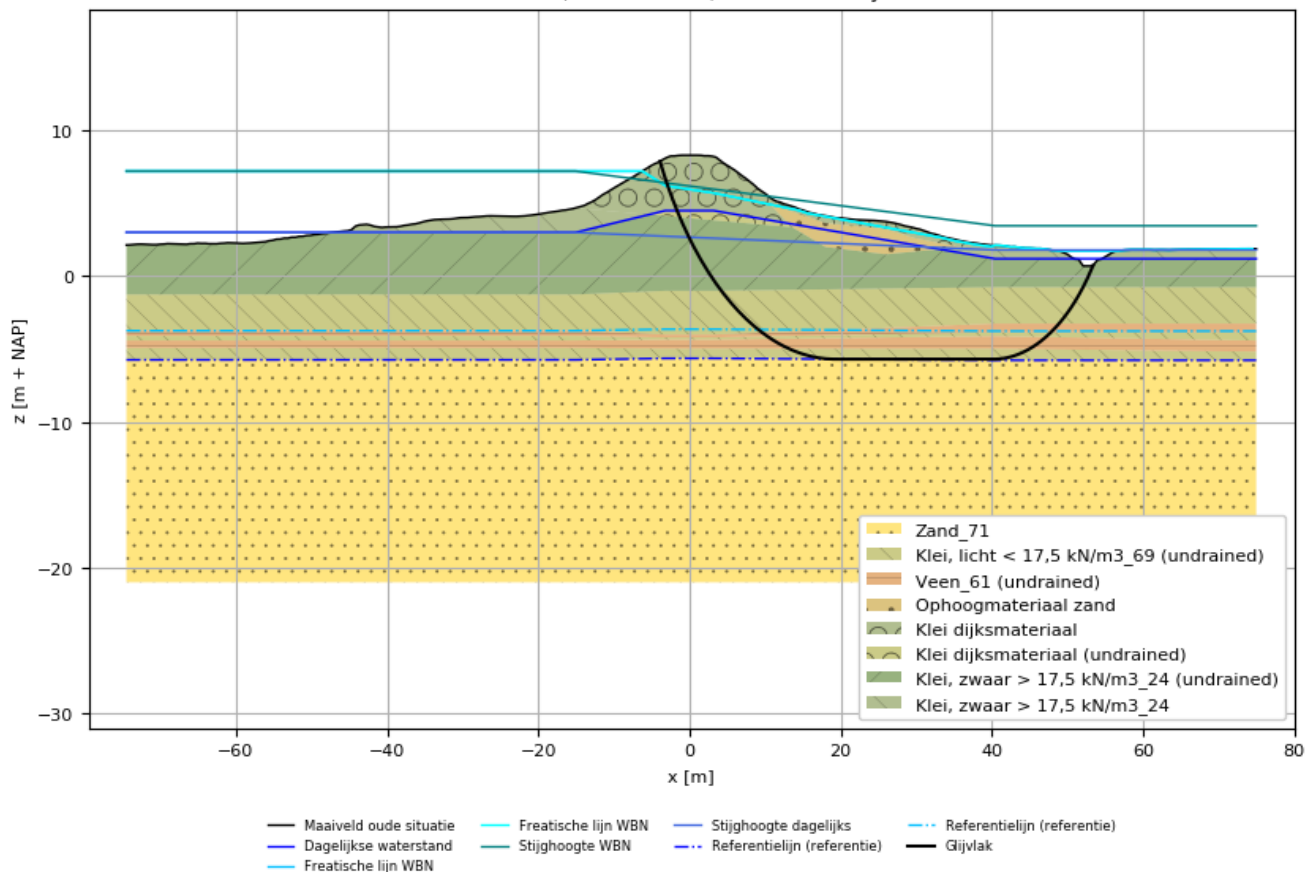
Dijkvak 9b+9d

Deklaagdikte 7,0 m

Bovenkant laag (t.o.v. NAP [m])	Grondsoort	Laagdikte [m]	Volumiek gewicht [kN/m ³]	Grond gewicht [kN/m ²]
2,6	Klei, zwaar > 17,5 kN/m ³ _24	2,60	18,40	47,84
0,0	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	0,80	15,50	12,40
-0,8	Veen_58	0,20	11,00	2,20
-1,0	Klei, licht < 17,5 kN/m ³ _69	2,90	15,50	44,95
-3,9	Veen_58	0,50	11,00	5,50
-4,4				
		7,00	16,13	112,89
Bovenzijde watervoerendpakket = -4,4			[m] (t.o.v. NAP)	
Stijghoogte watervoerend pakket = 4,85			[m] (t.o.v. NAP)	
Waterdruk tegen onderzijde deklaag = 93			[kN/m ²]	
Opbarstveiligheid n = 1,22			[-]	
Grenspotential = 7,11			[m] (t.o.v. NAP)	

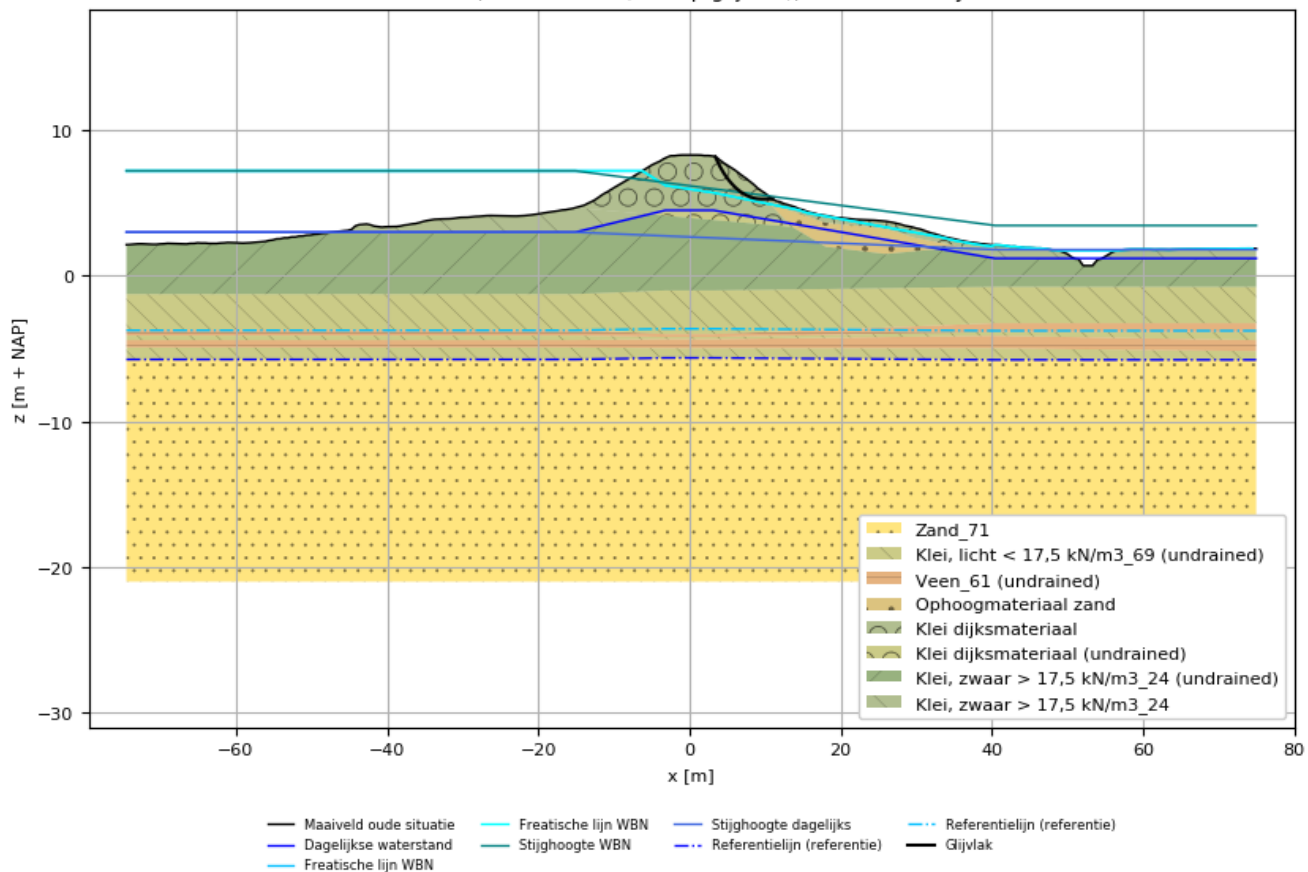
Bijlage L: Stabiliteitsberekeningen

Bestandsnaam: STBI_235+000.stix
 DWP 235.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.45

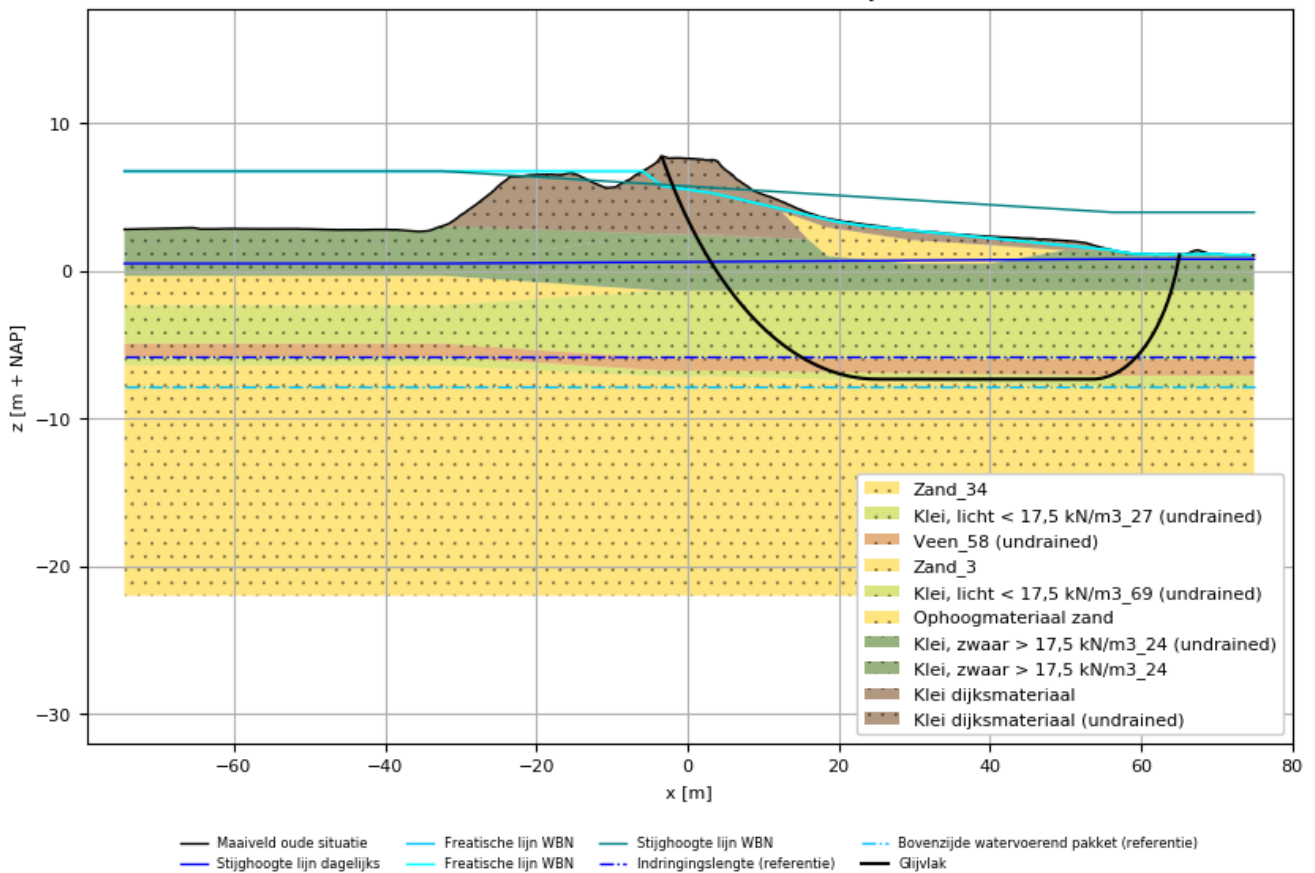


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_235+000.stix
 DWP 235.0, Fase 3: WBN (ondiep glijvlak), factor of safety: 1.47

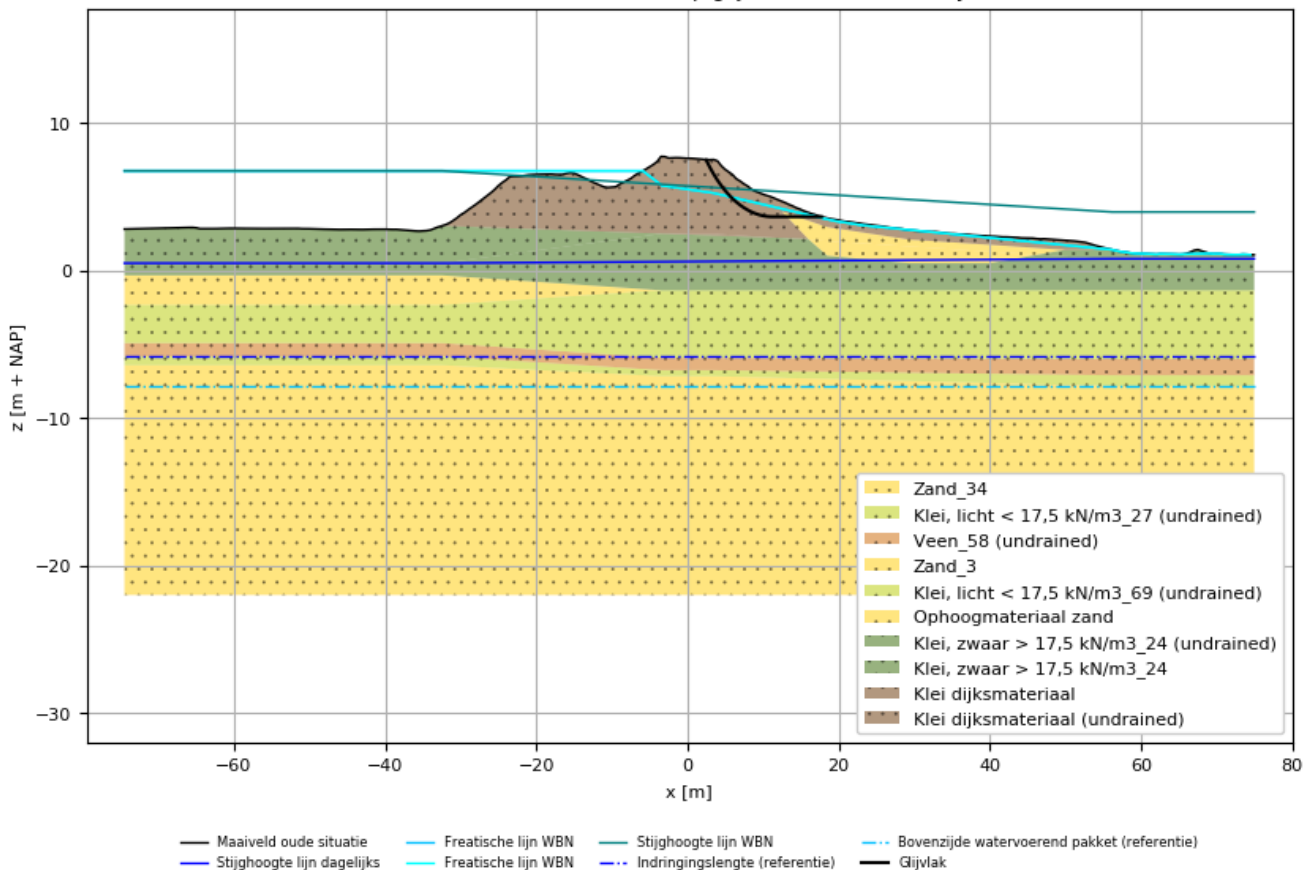


Bestandsnaam: STBI_283+000.stix
 DWP 283.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 2.09

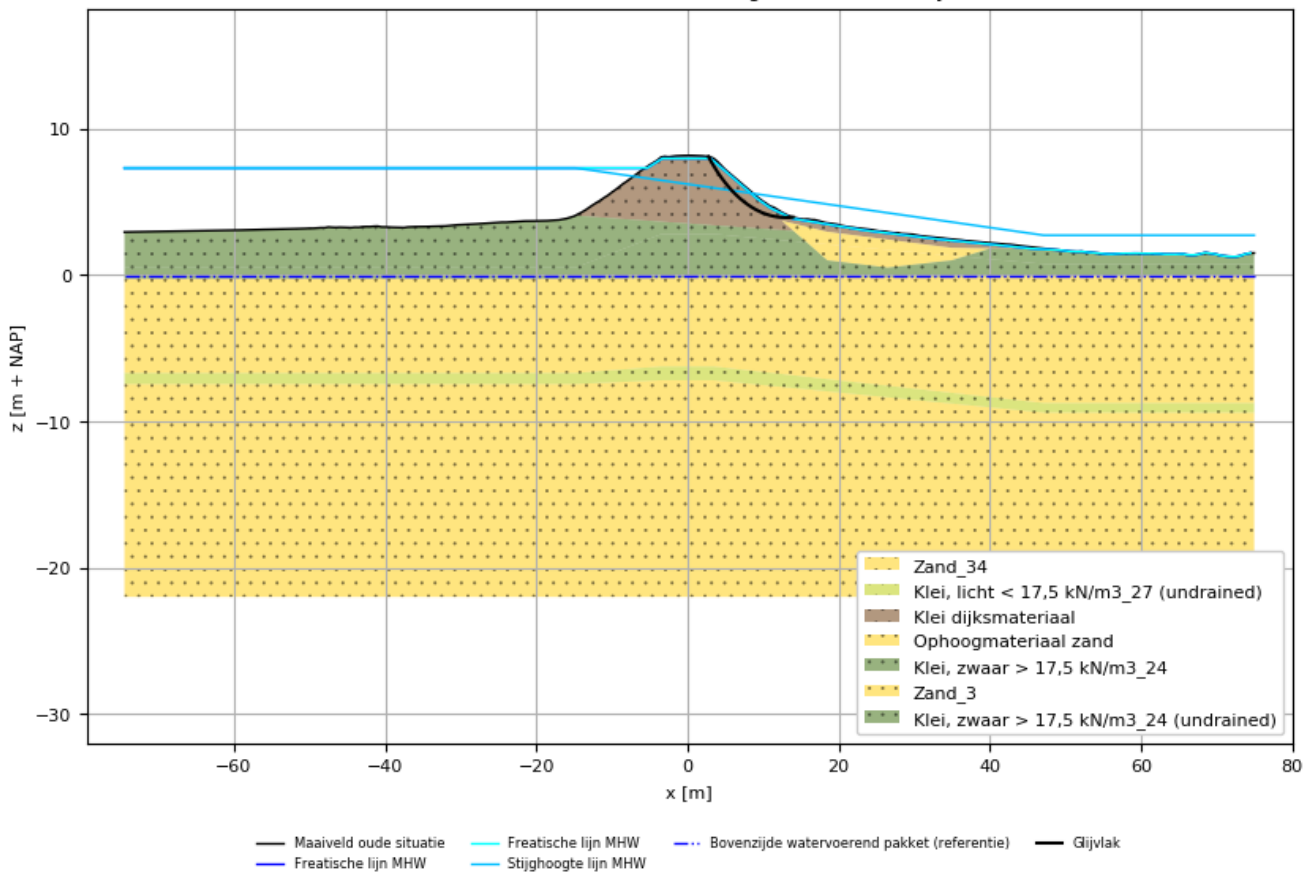


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_283+000.stix
 DWP 283.0, Fase 3: WBN (ondiep glijvlak), factor of safety: 1.74

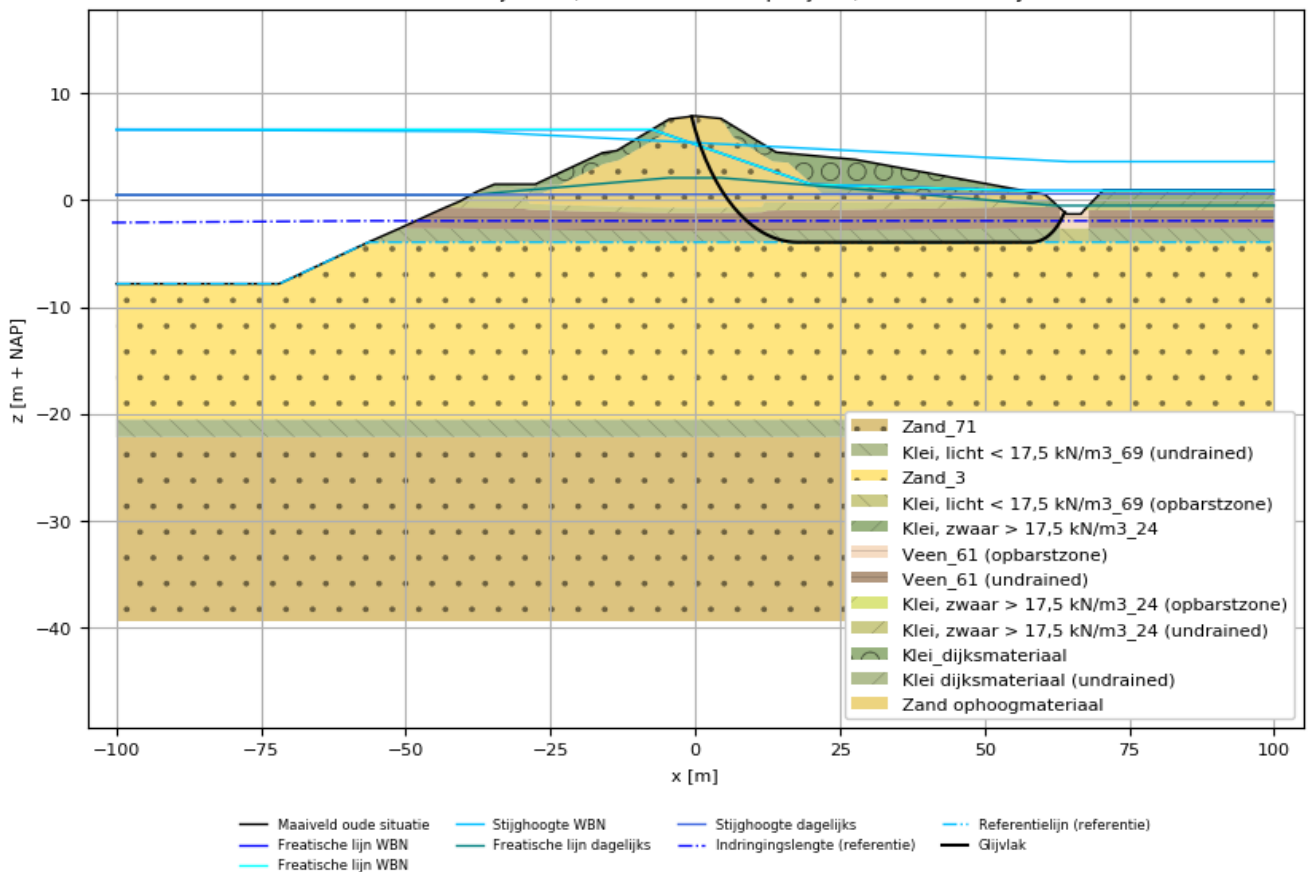


Bestandsnaam: STBI_287+000_verzadigd.stix
 DWP 287.0, Fase 3: WBN + verzadigd, factor of safety: 0.68

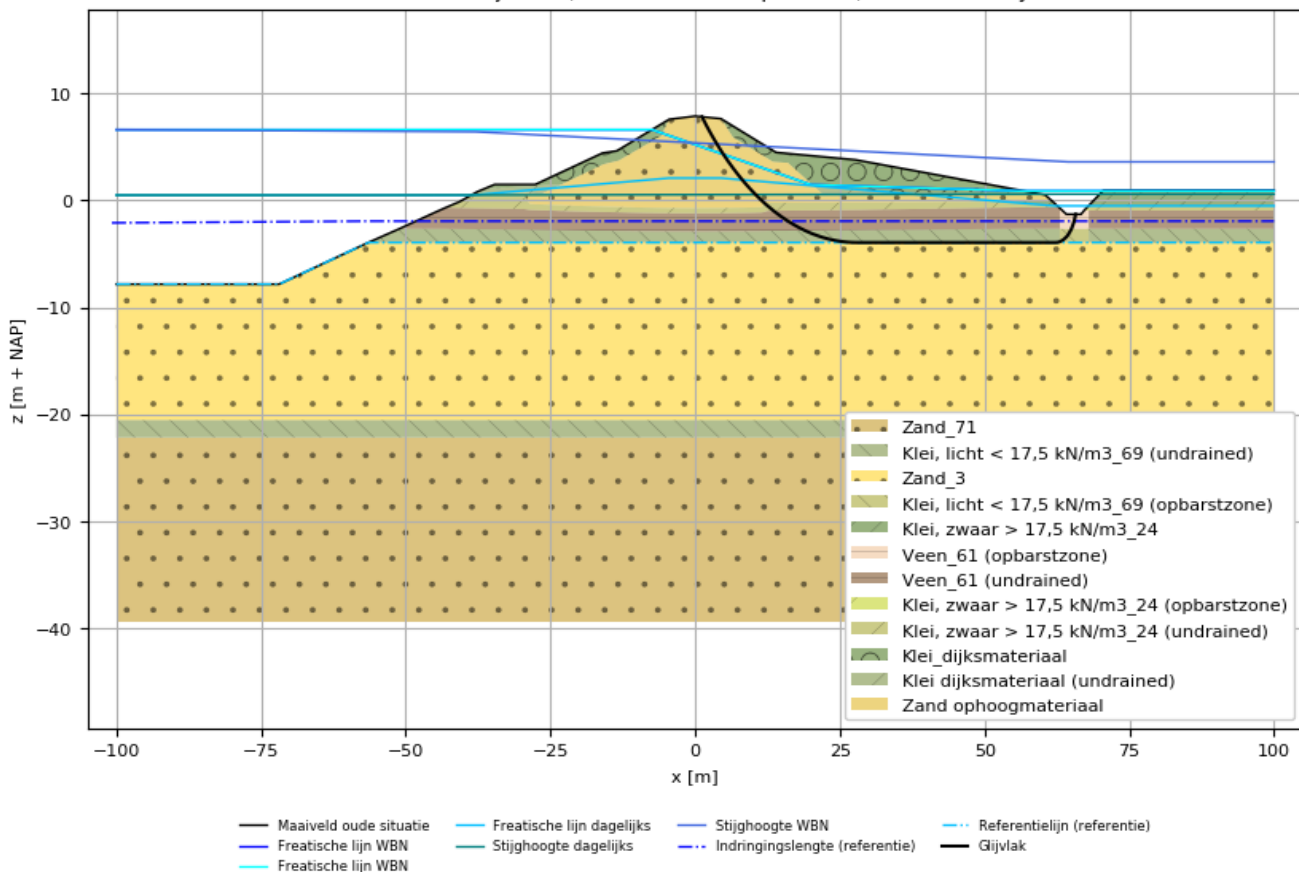


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_300+000_Voorhavendijk_Zuid.stix
 DWP Voorhavendijk Zuid, Fase 2: WBN + opdrijven, factor of safety: 1.47

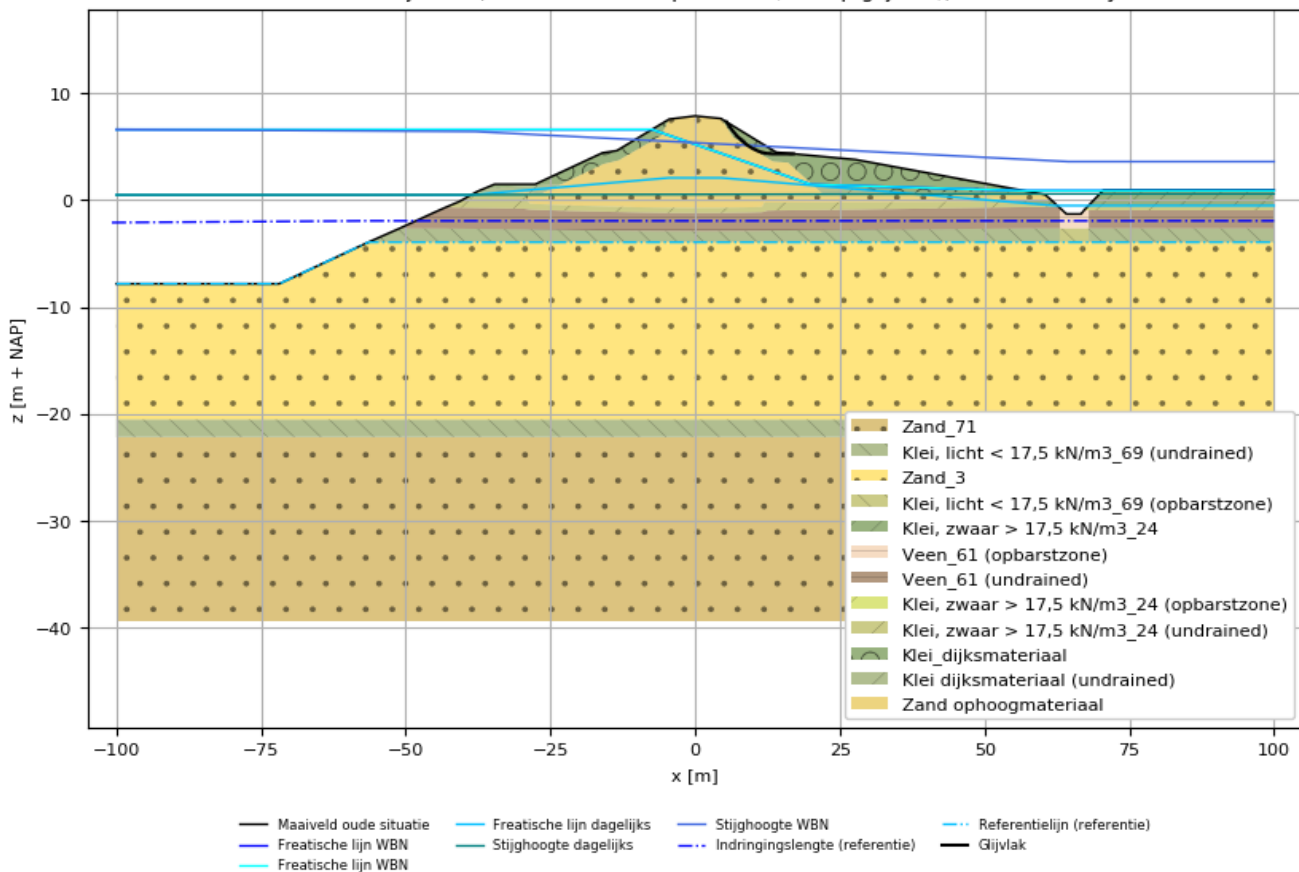


Bestandsnaam: STBI_300+000_Voorhavendijk_Zuid.stix
 DWP Voorhavendijk Zuid, Fase 3: WBN + opbarsten, factor of safety: 1.49

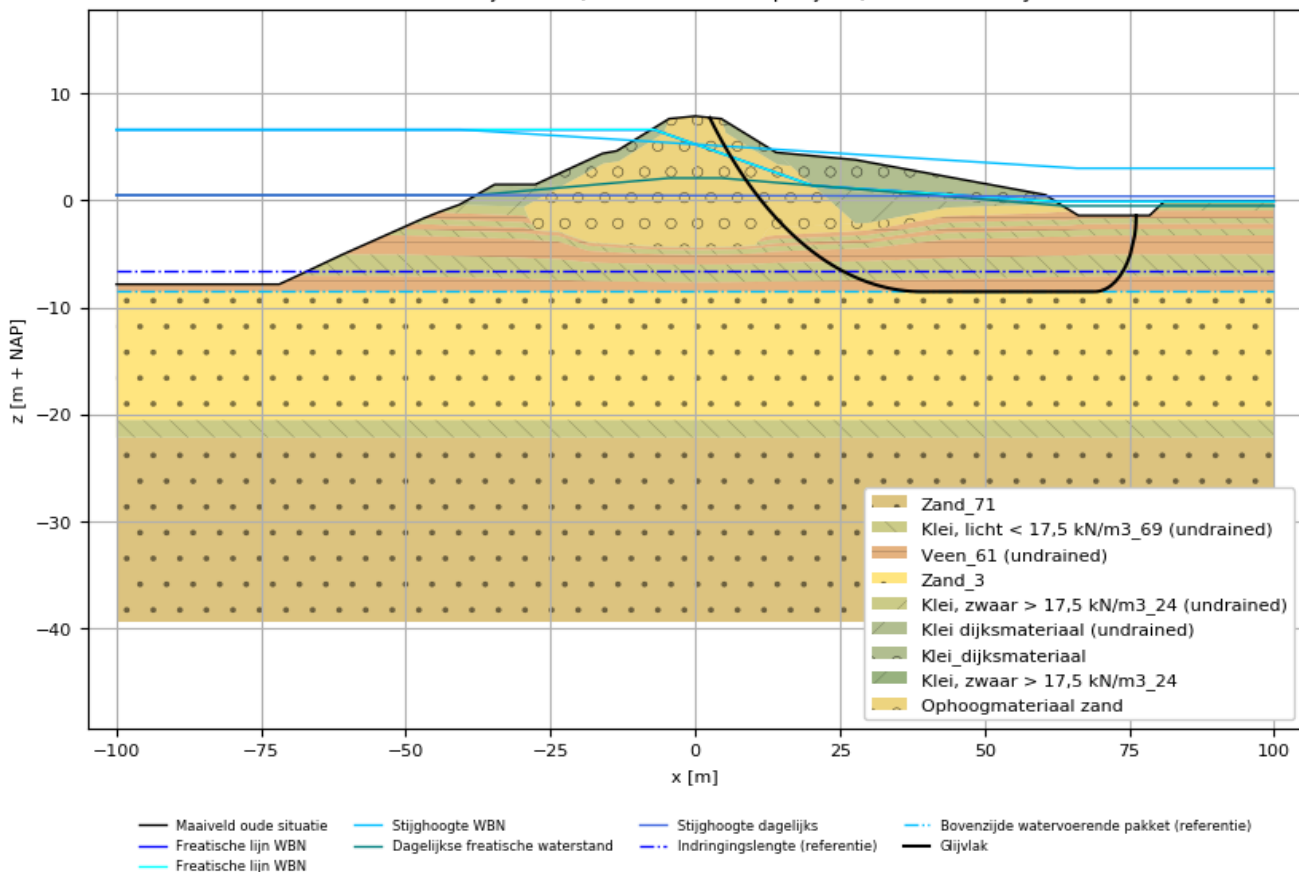


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_300+000_Voorhavendijk_Zuid.stix
 DWP Voorhavendijk Zuid, Fase 4: WBN + opbarsten (ondiep glijvlak), factor of safety: 1.68

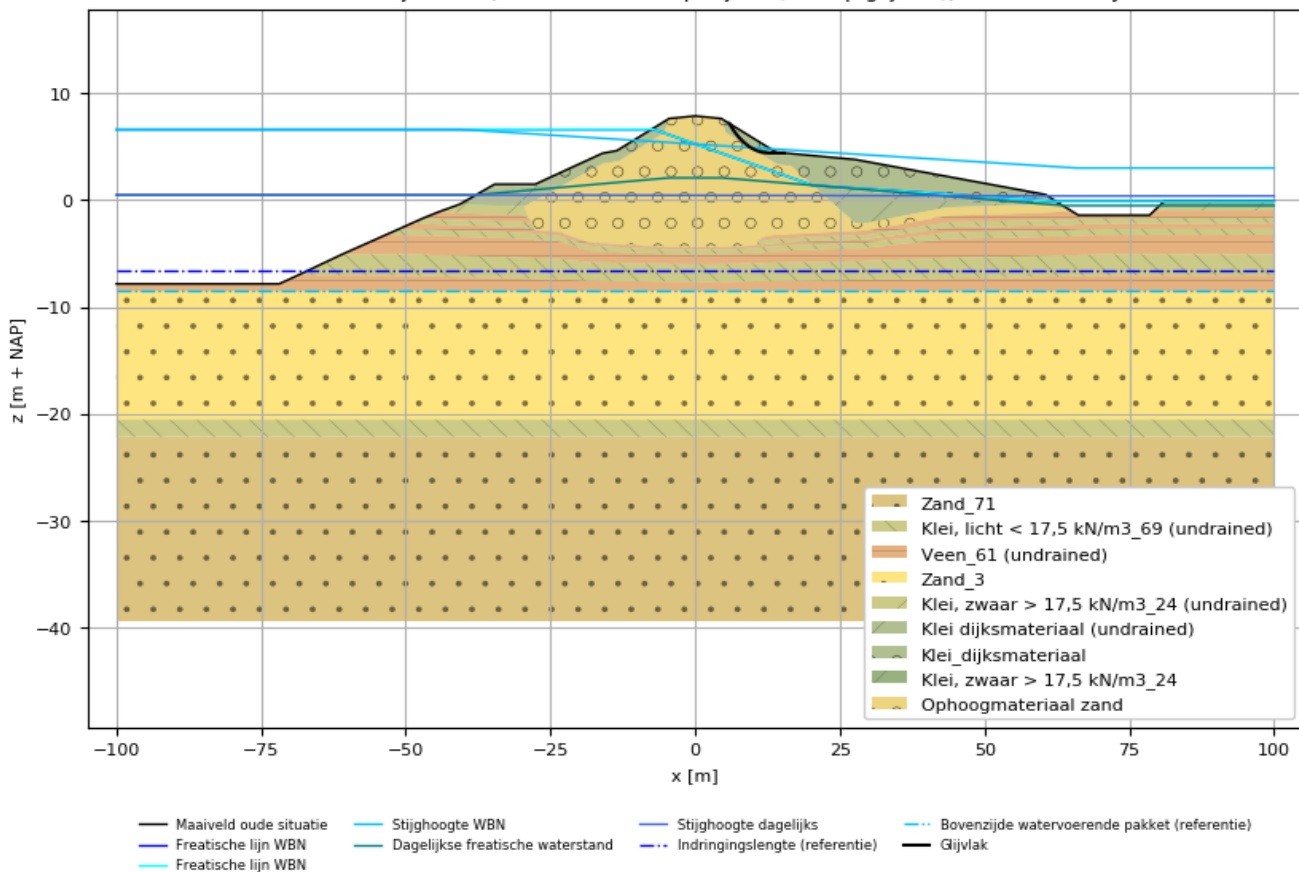


Bestandsnaam: STBI_303+000_Voorhavendijk_Noord.stix
 DWP Voorhavendijk Noord, Fase 2: WBN + opdrijven, factor of safety: 1.38

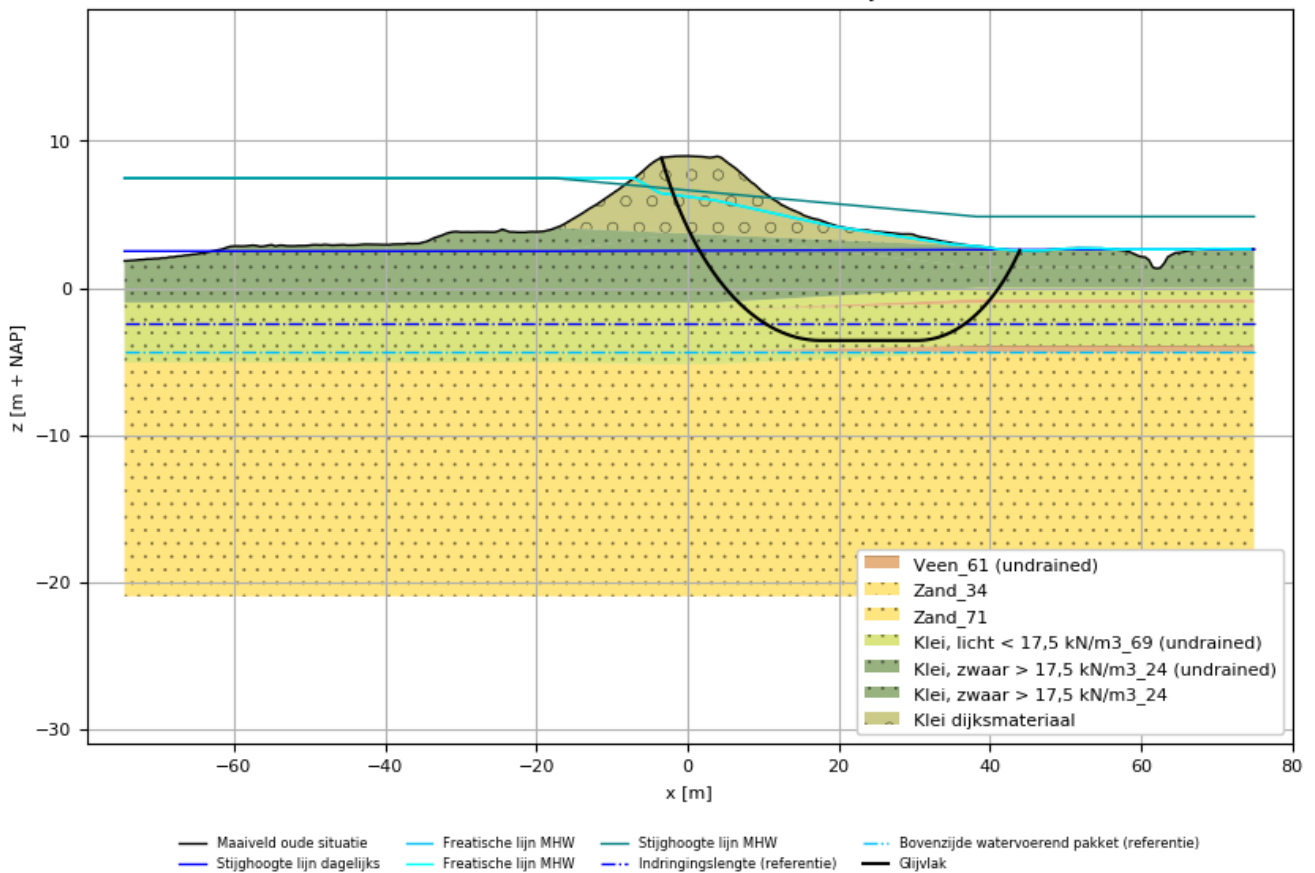


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_303+000_Voorhavendijk_Noord.stix
 DWP Voorhavendijk Noord, Fase 3: WBN + opdrijven (ondiep glijvlak), factor of safety: 1.65

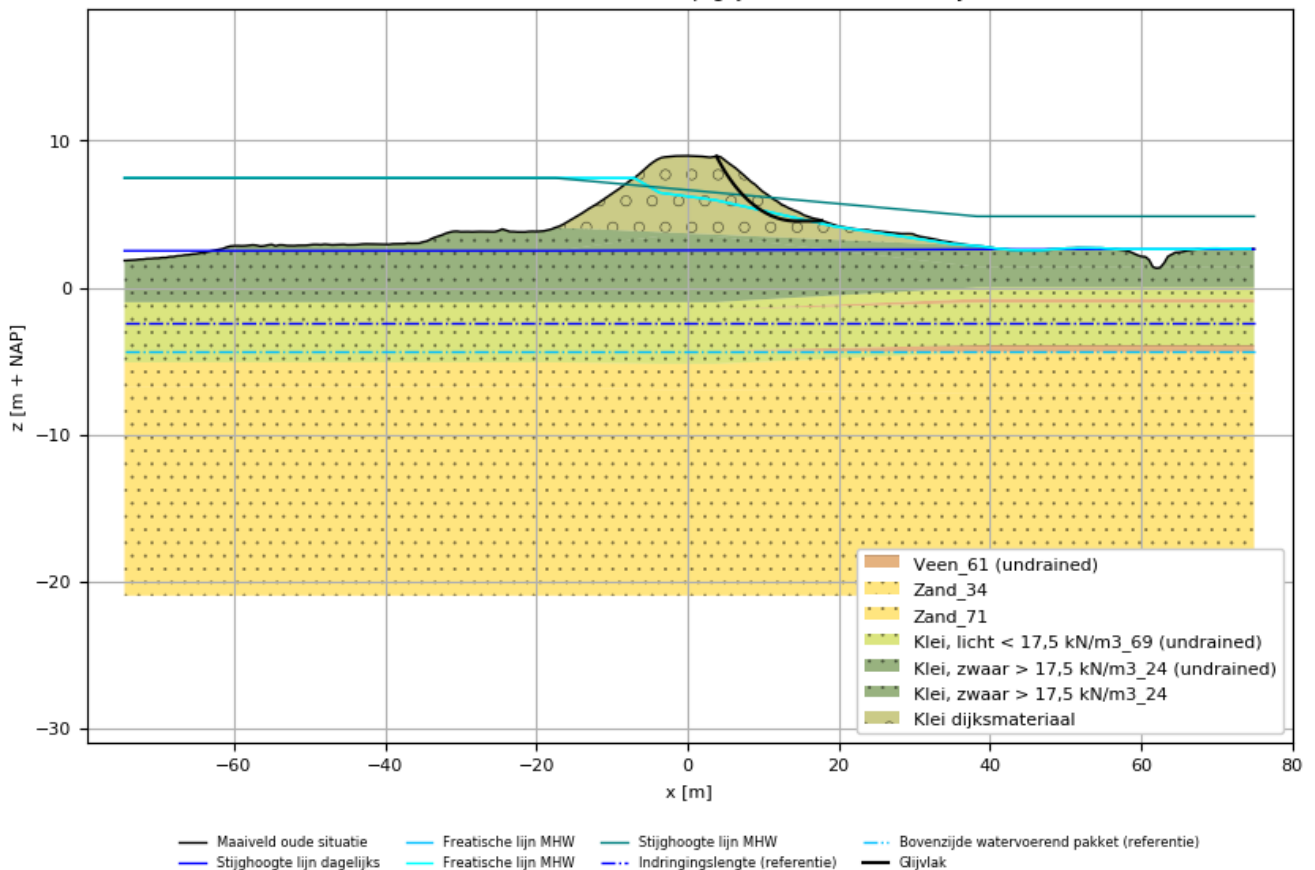


Bestandsnaam: STBI_STBU_205+000.stix
 DWP 205.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.52

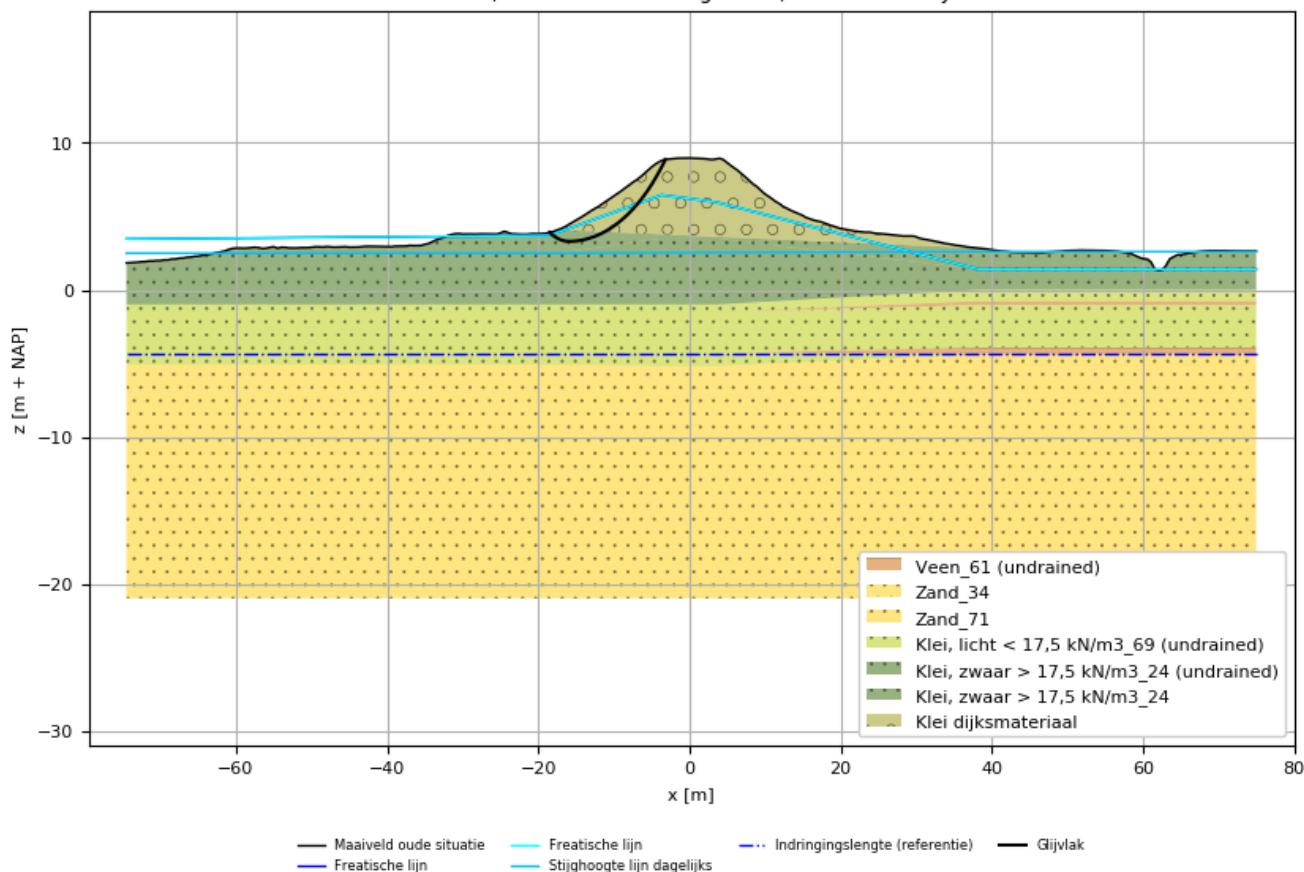


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_205+000.stix
 DWP 205.0, Fase 3: WBN (ondiep glijvlak), factor of safety: 1.46

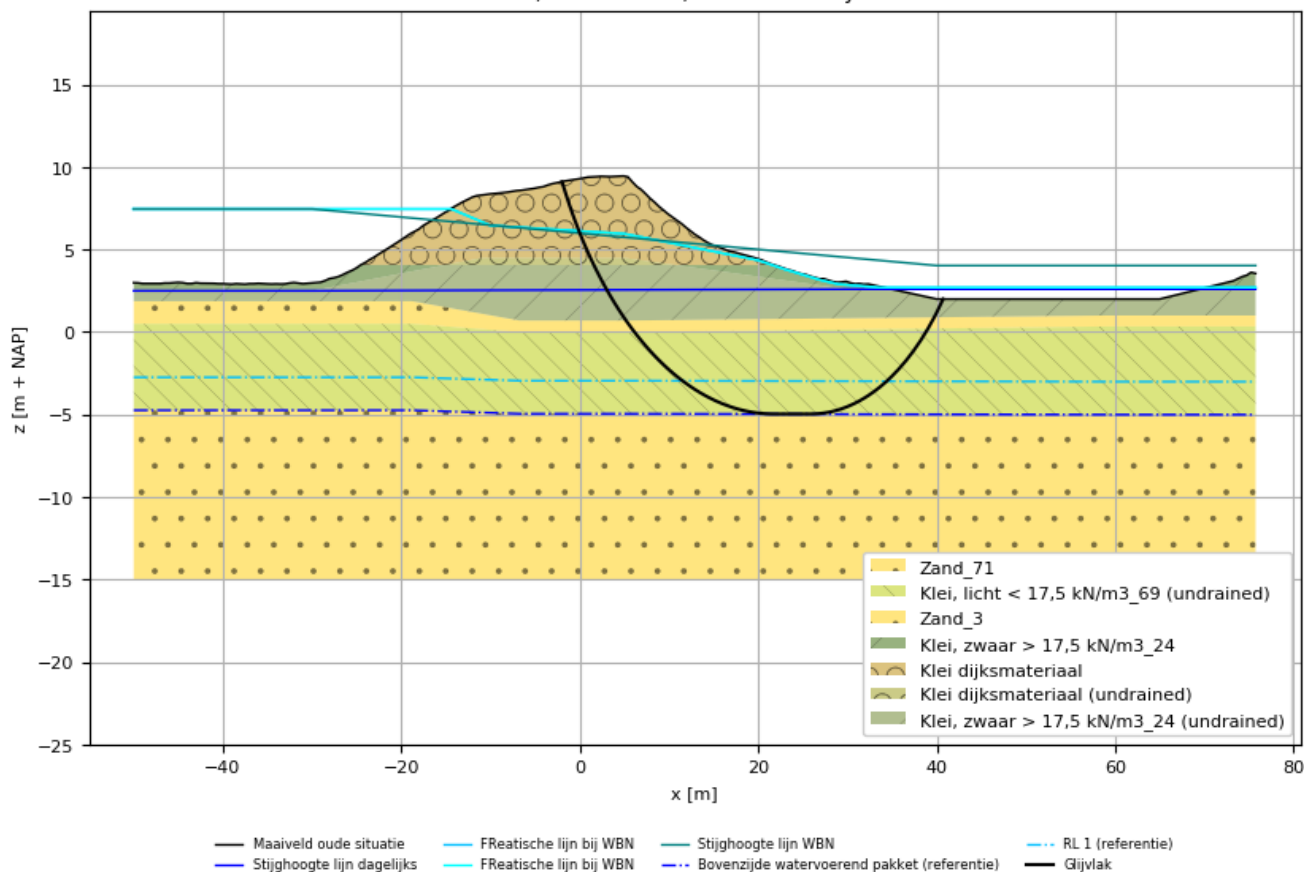


Bestandsnaam: STBI_STBU_205+000.stix
 DWP 205.0, Fase 4: Val na hoog water, factor of safety: 1.34

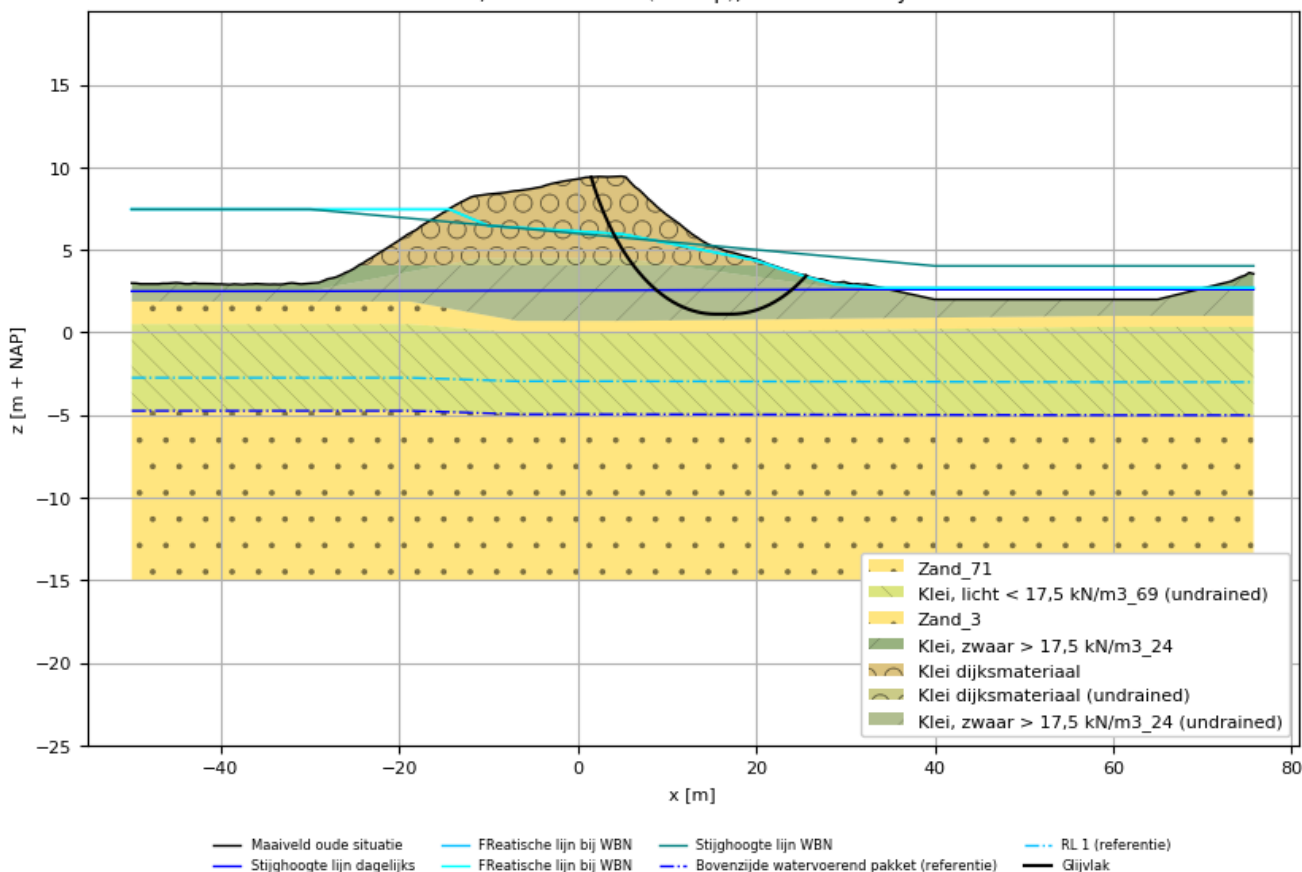


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_209+000.stix
 DWP , Fase 2: WBN , factor of safety: 1.28

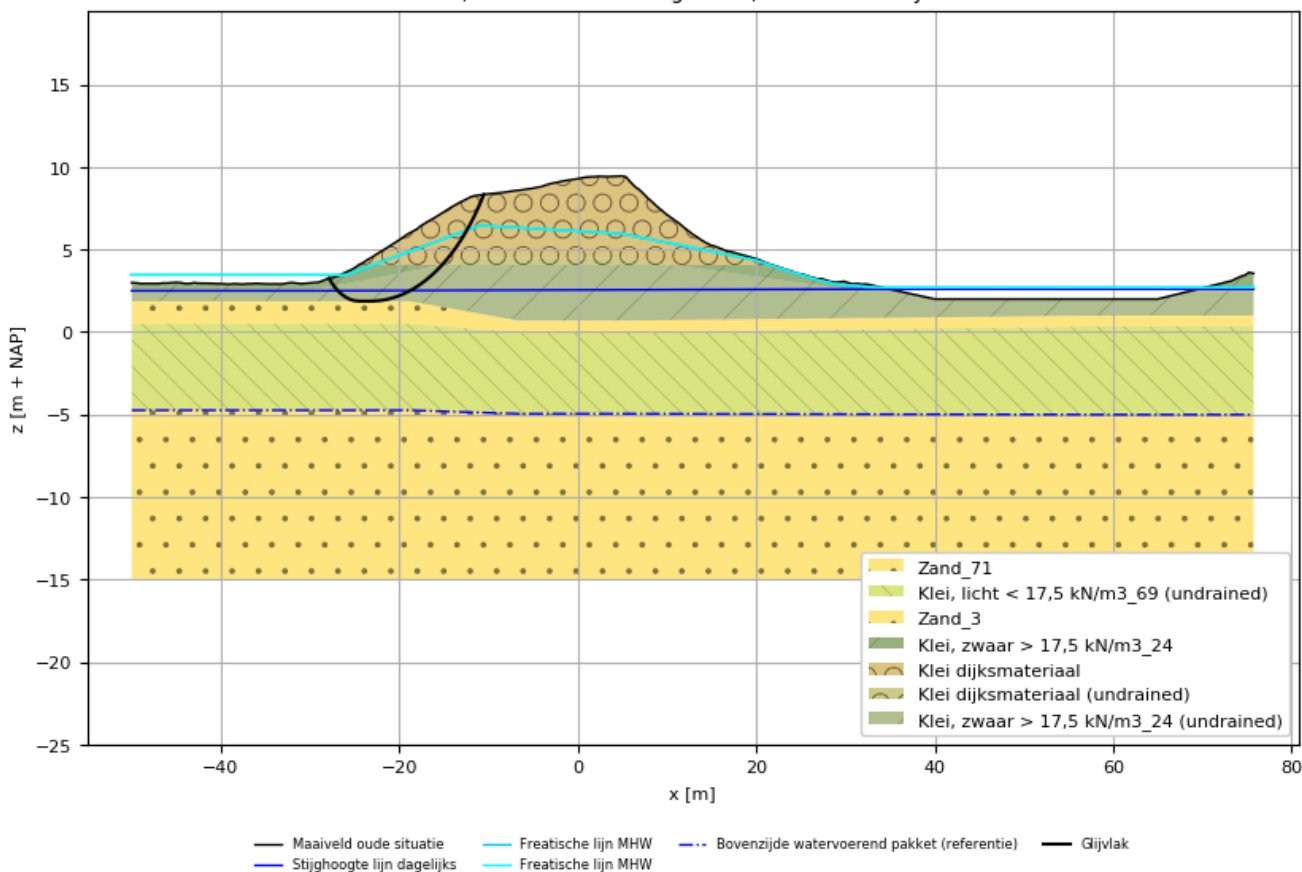


Bestandsnaam: STBI_STBU_209+000.stix
 DWP , Fase 2b: WBN (ondiep), factor of safety: 1.38

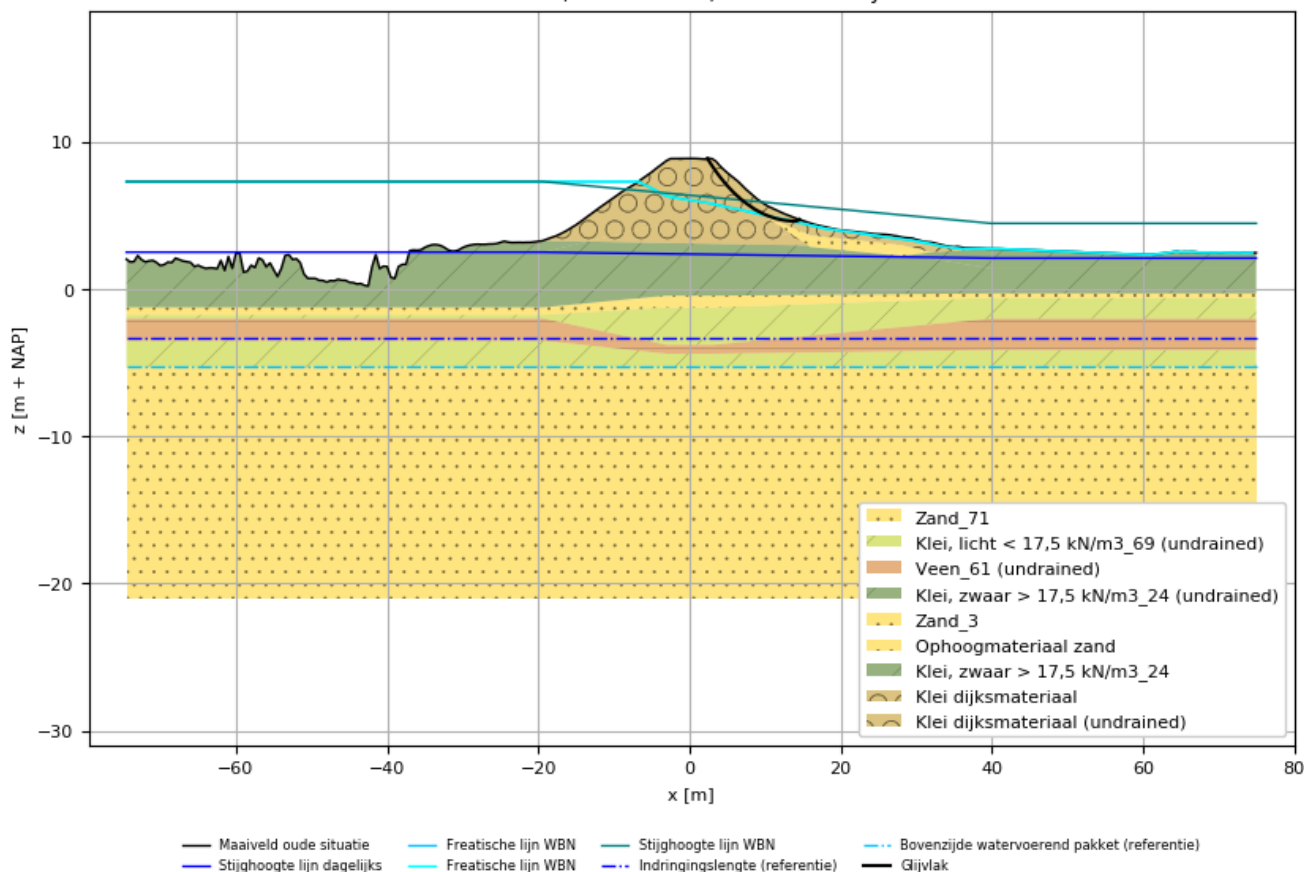


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_209+000.stix
 DWP , Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.35

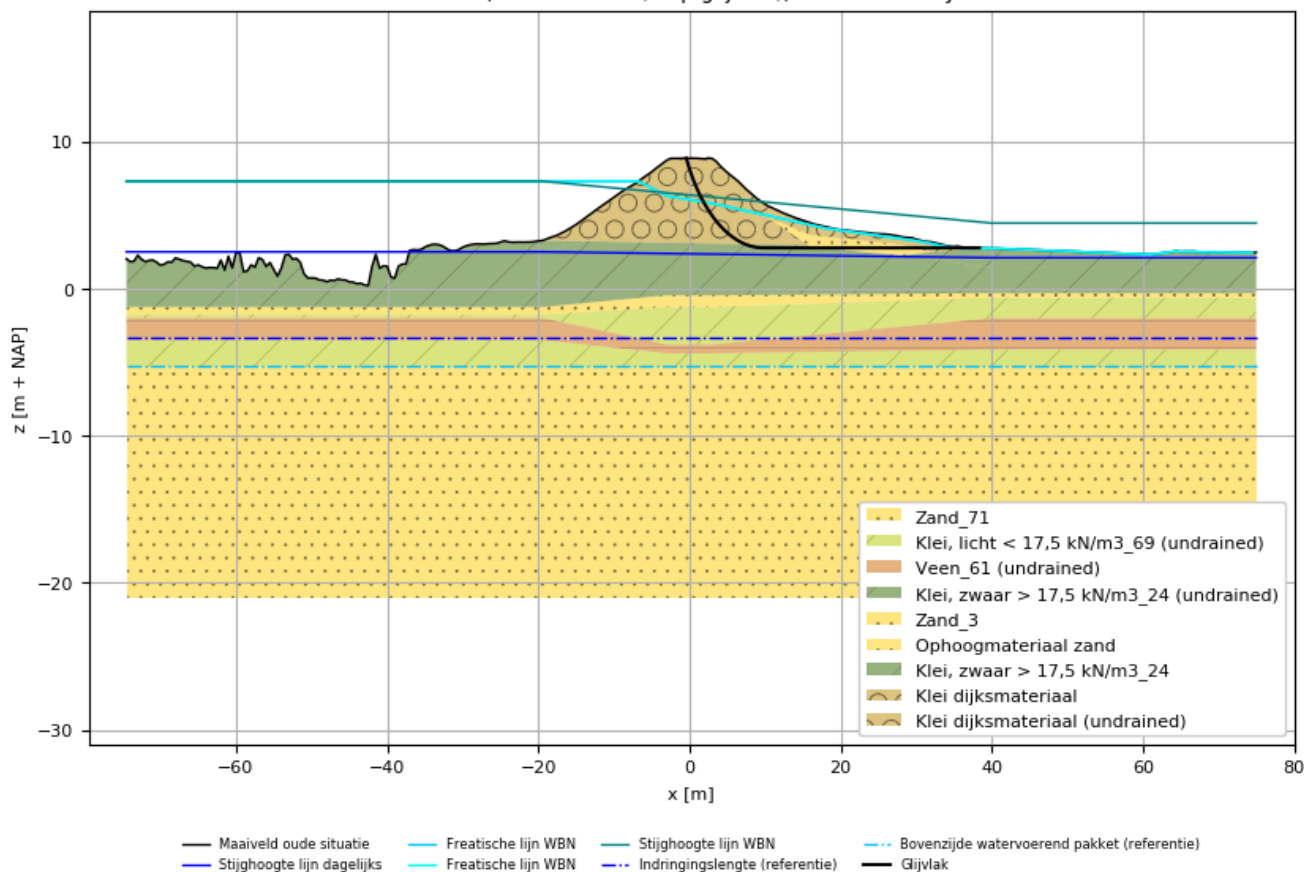


Bestandsnaam: STBI_STBU_224+000.stix
 DWP 224.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.38

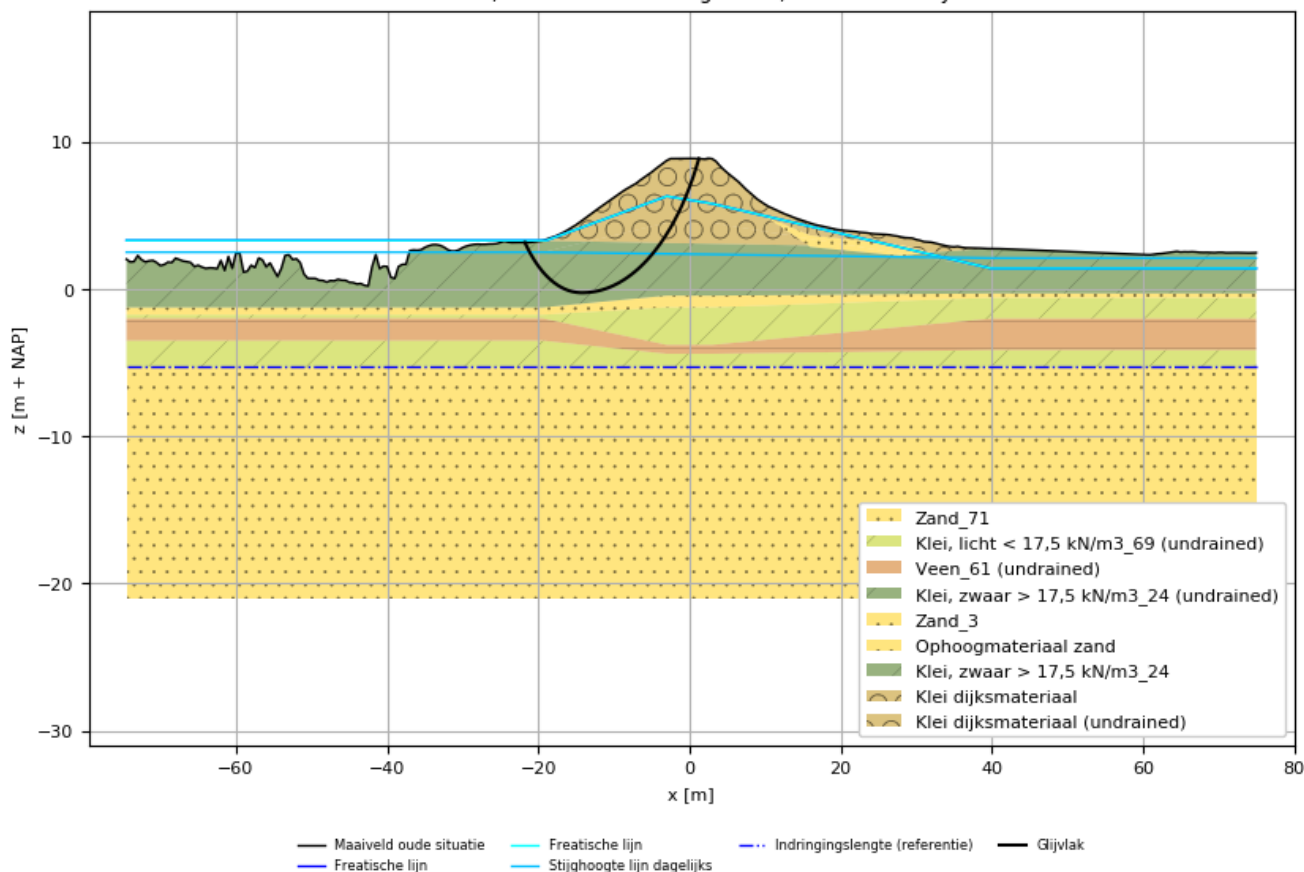


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_224+000.stix
 DWP 224.0, Fase 3: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 1.69

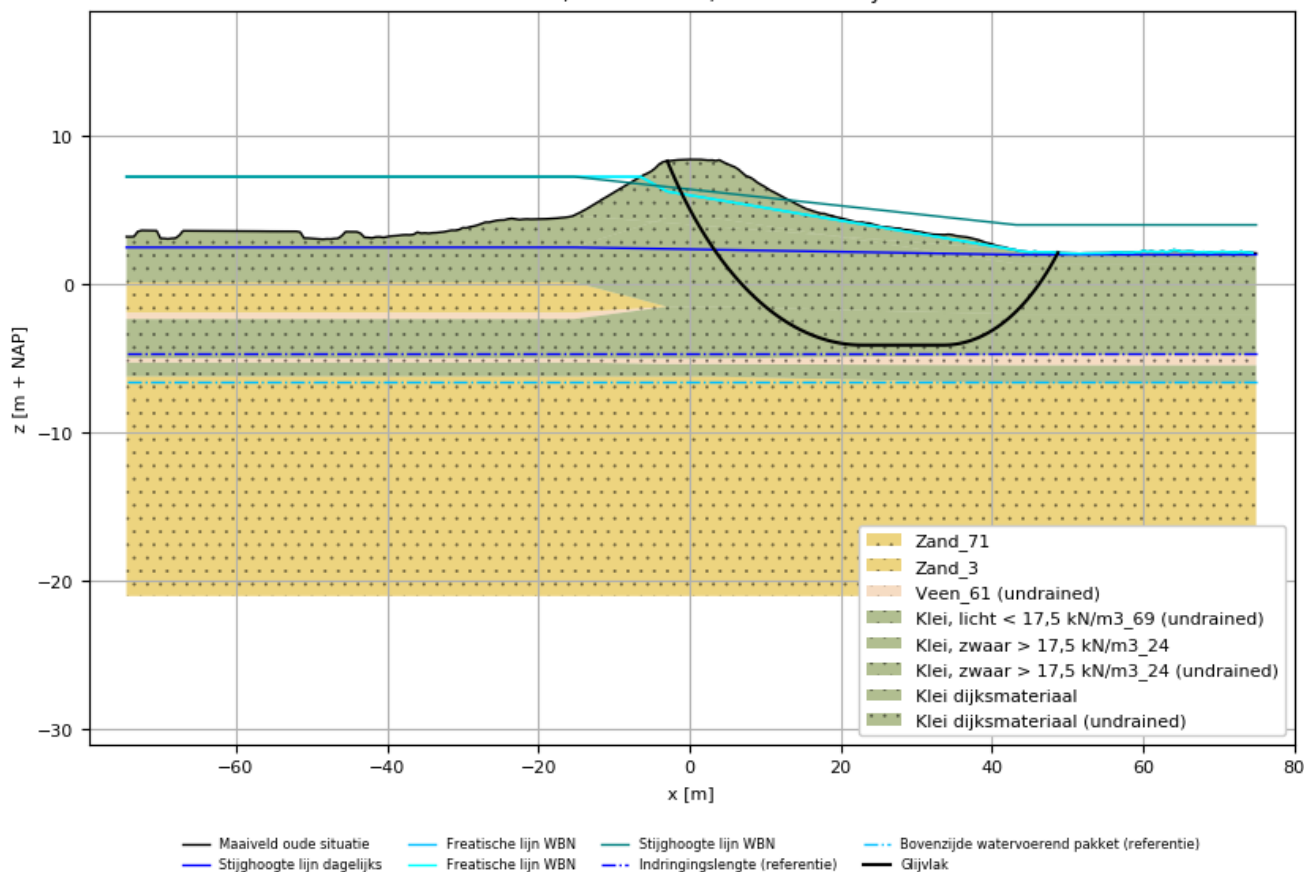


Bestandsnaam: STBI_STBU_224+000.stix
 DWP 224.0, Fase 4: Val na hoog water, factor of safety: 1.25

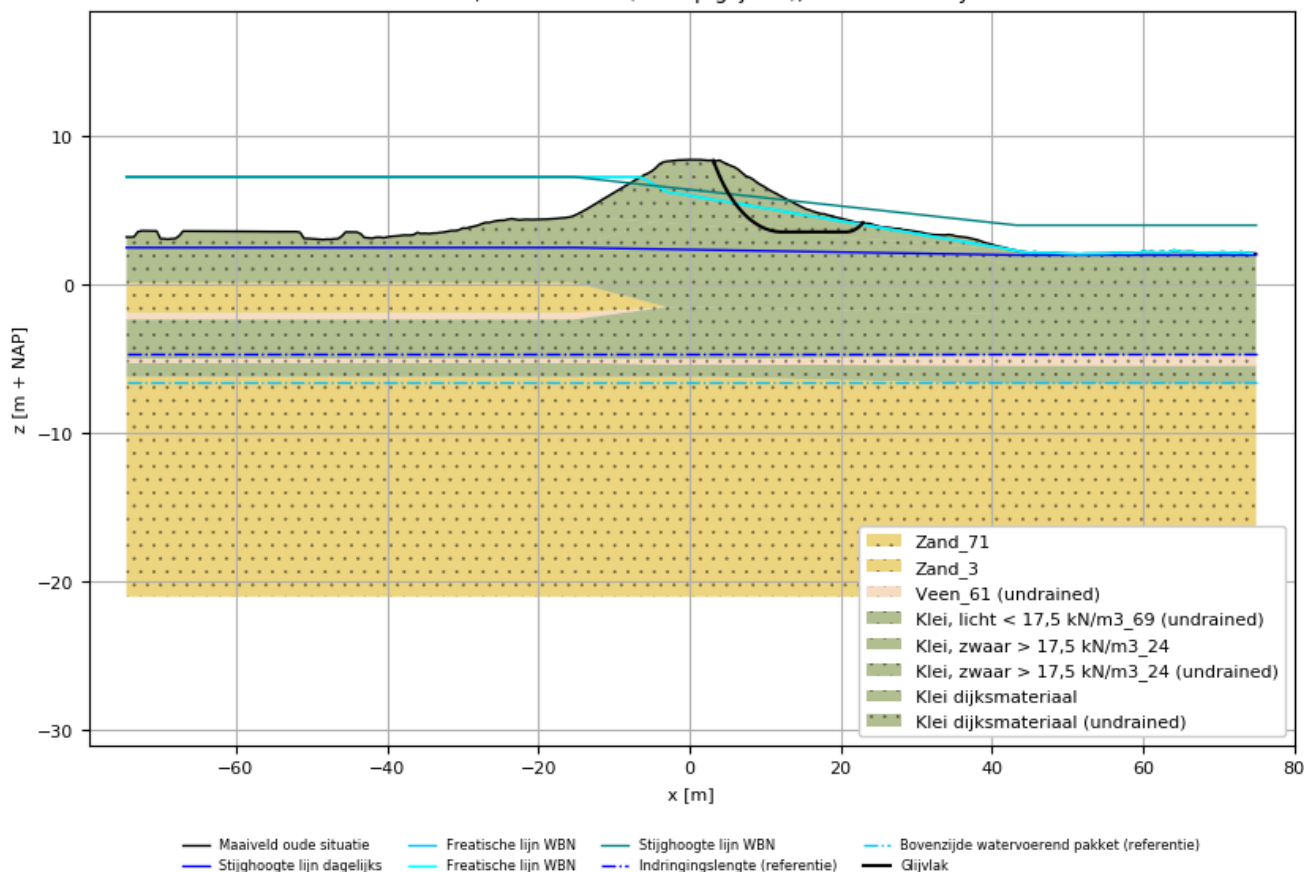


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_227+000.stix
 DWP 227.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.73

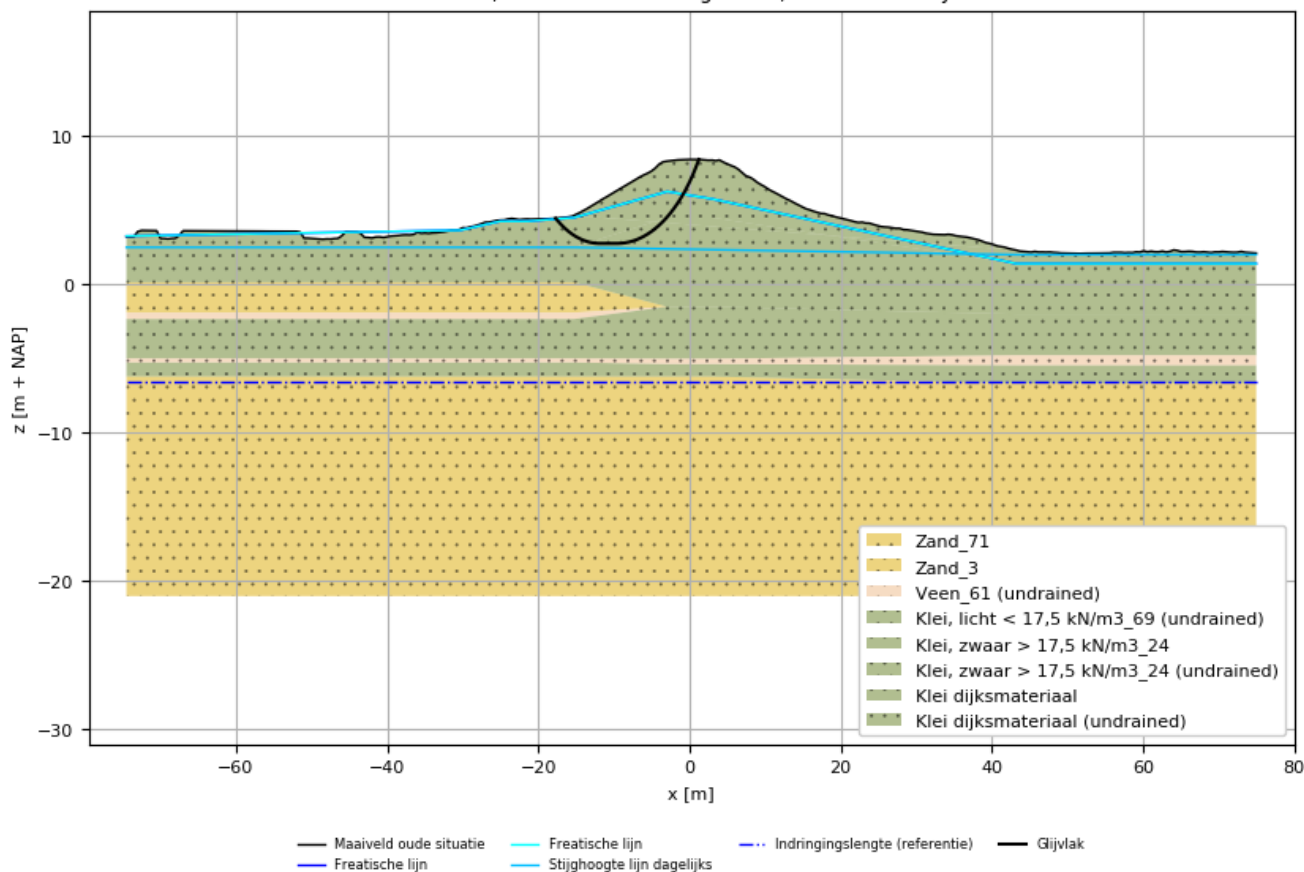


Bestandsnaam: STBI_STBU_227+000.stix
 DWP 227.0, Fase 3: WBN (ondiep glijvlak), factor of safety: 1.78

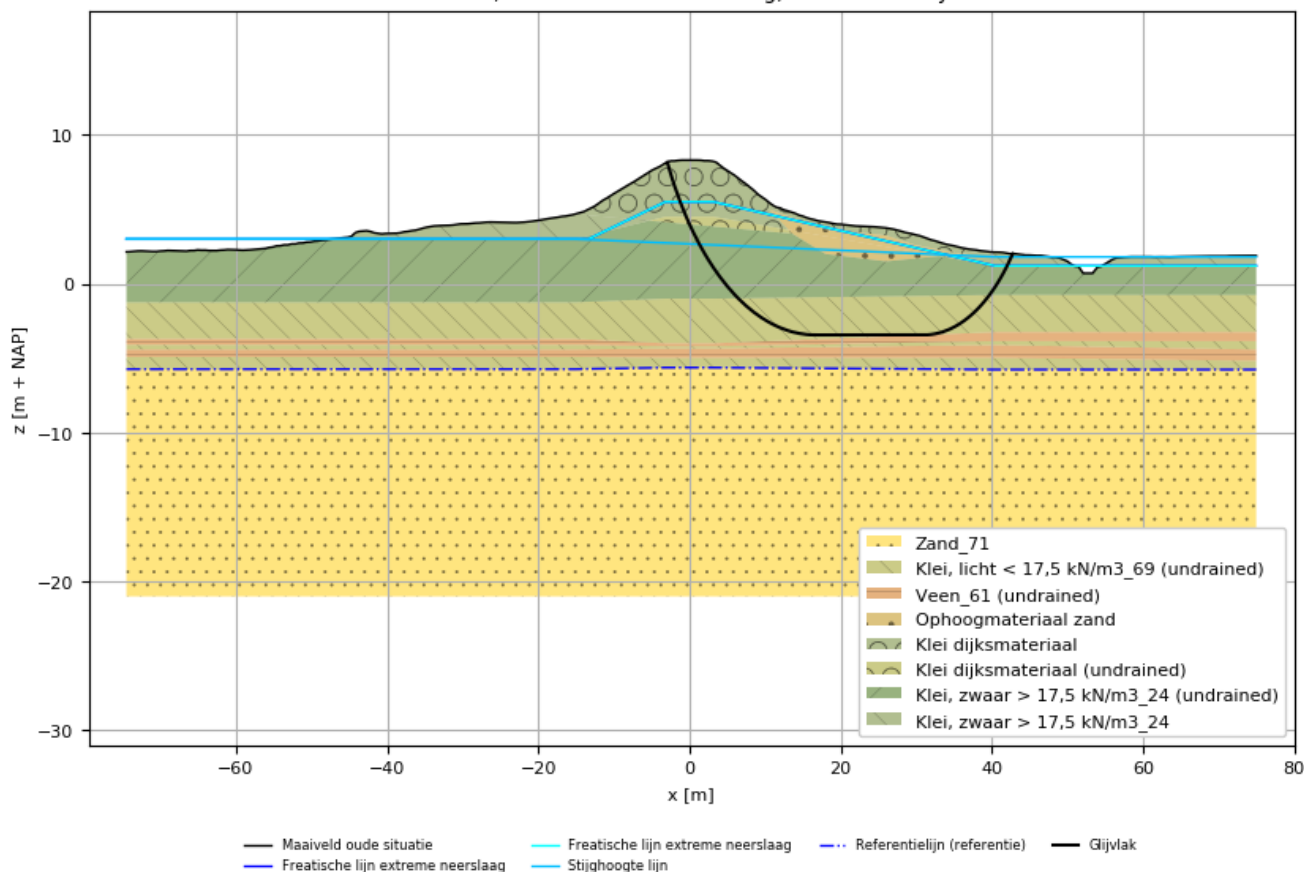


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_227+000.stix
 DWP 227.0, Fase 4: Val na hoog water, factor of safety: 1.57

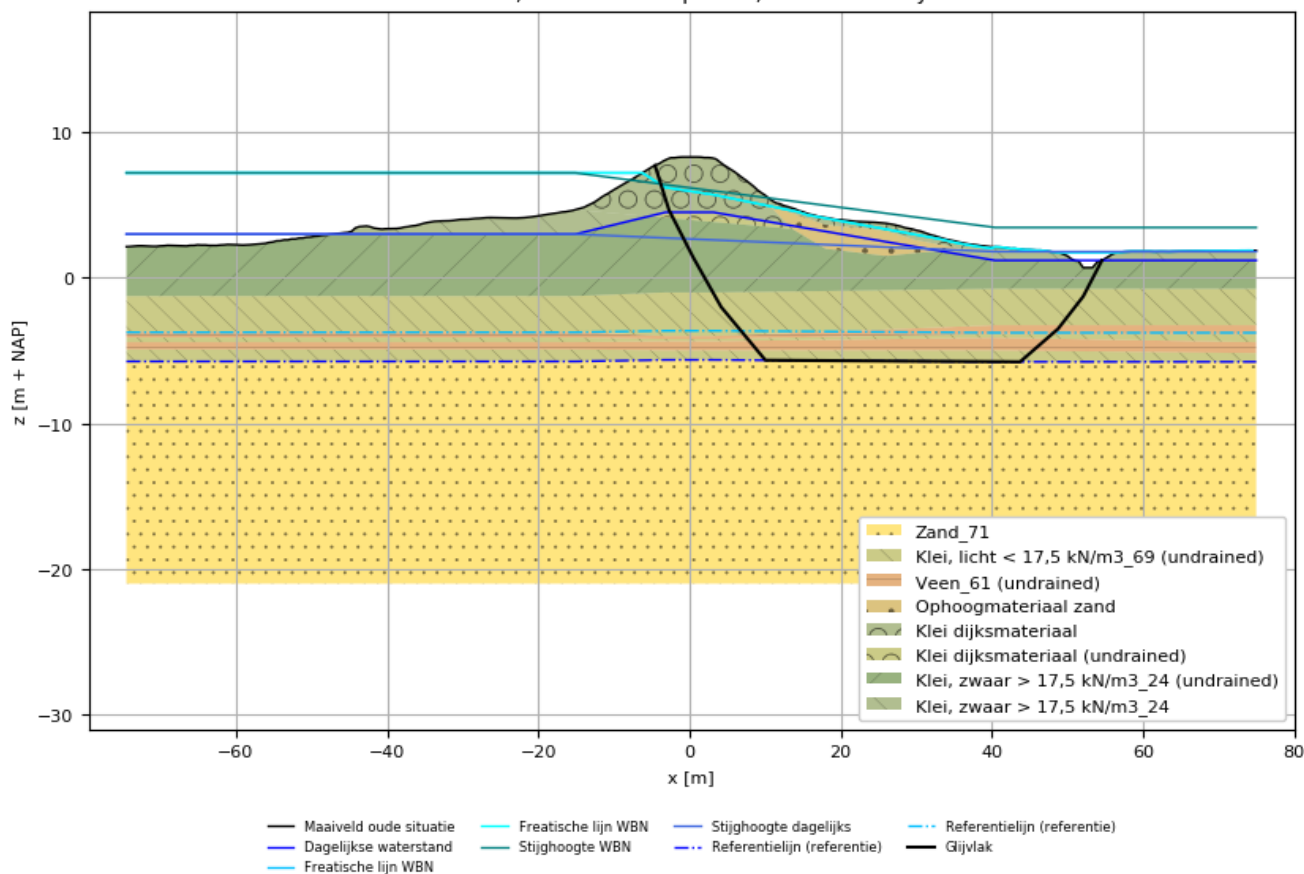


Bestandsnaam: STBI_235+000_ExtremeNeerslag.stix
 DWP 235.0, Fase 3: Extreme neerslag, factor of safety: 1.53

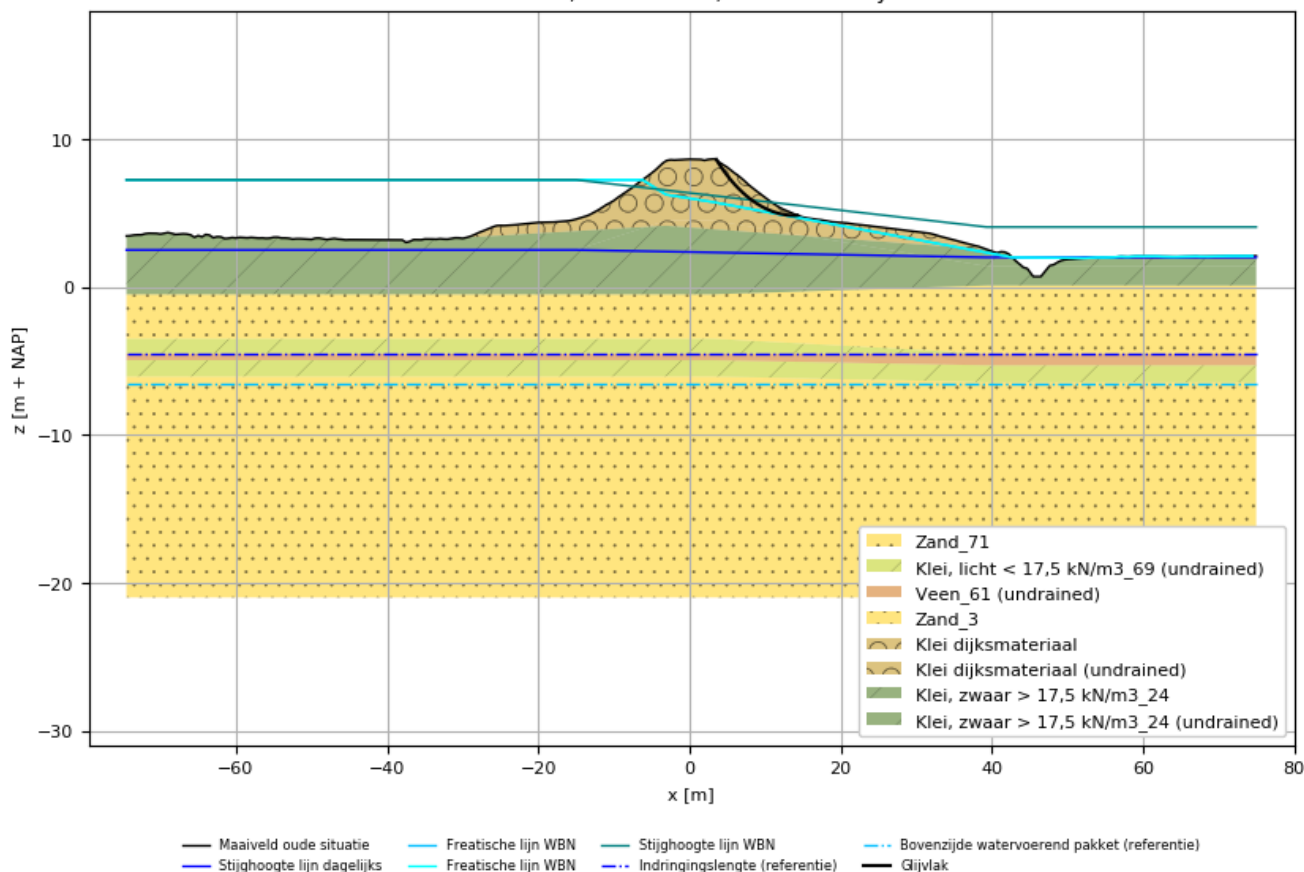


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_235+000_Spencer.stix
 DWP 235.0, Fase 3: WBN Spencer, factor of safety: 1.45

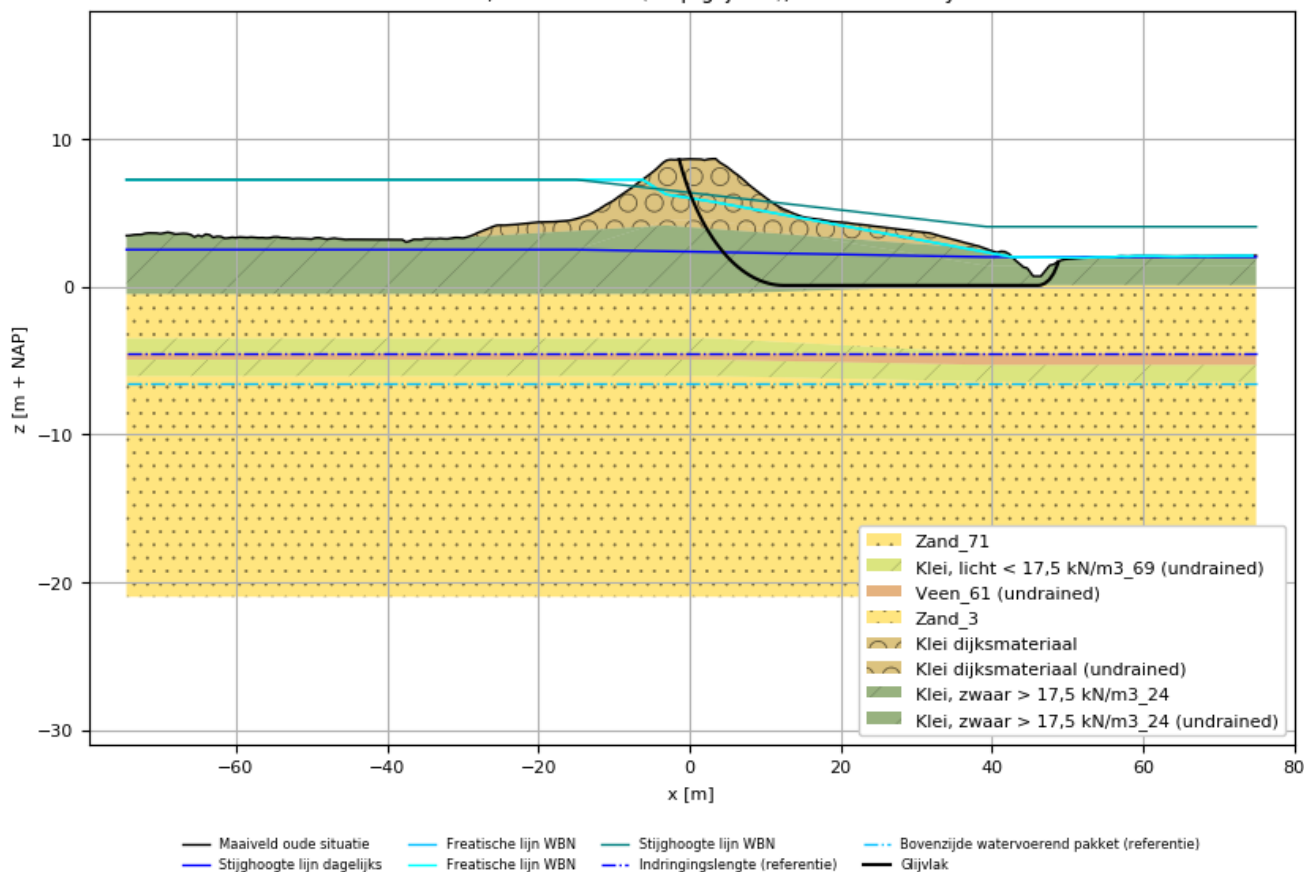


Bestandsnaam: STBI_STBU_231+000.stix
 DWP 231.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.4

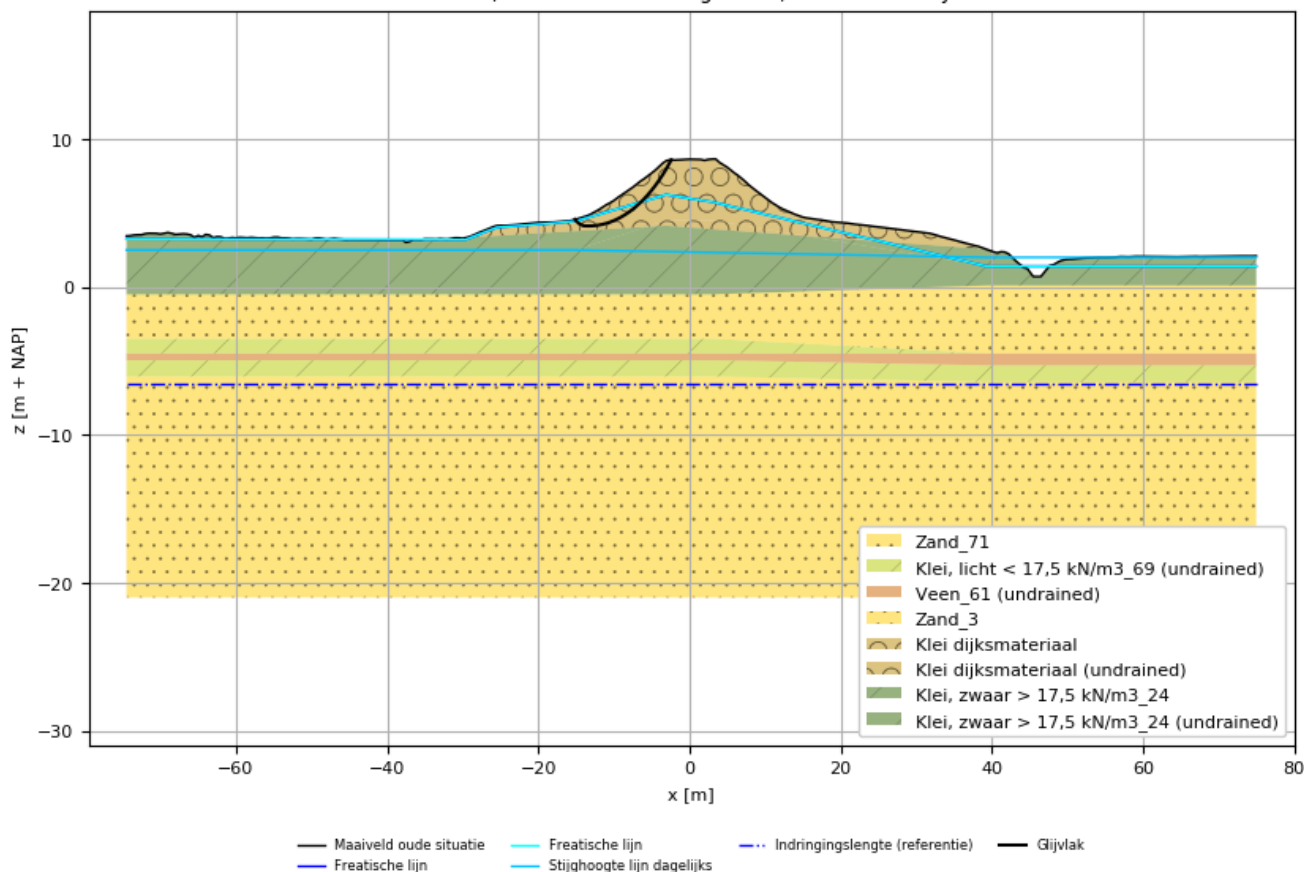


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_231+000.stix
 DWP 231.0, Fase 3: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 1.89

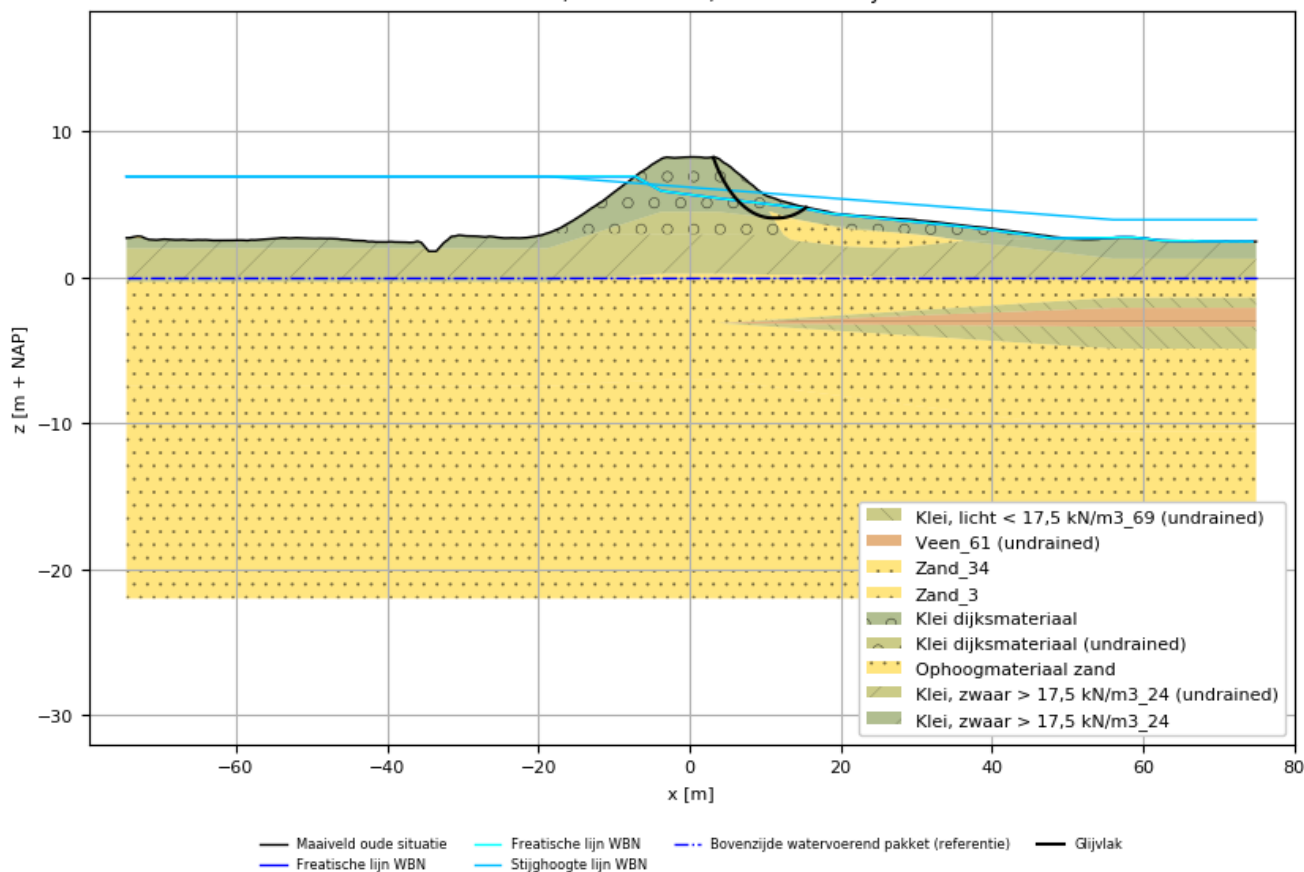


Bestandsnaam: STBI_STBU_231+000.stix
 DWP 231.0, Fase 4: Val na hoog water, factor of safety: 1.38

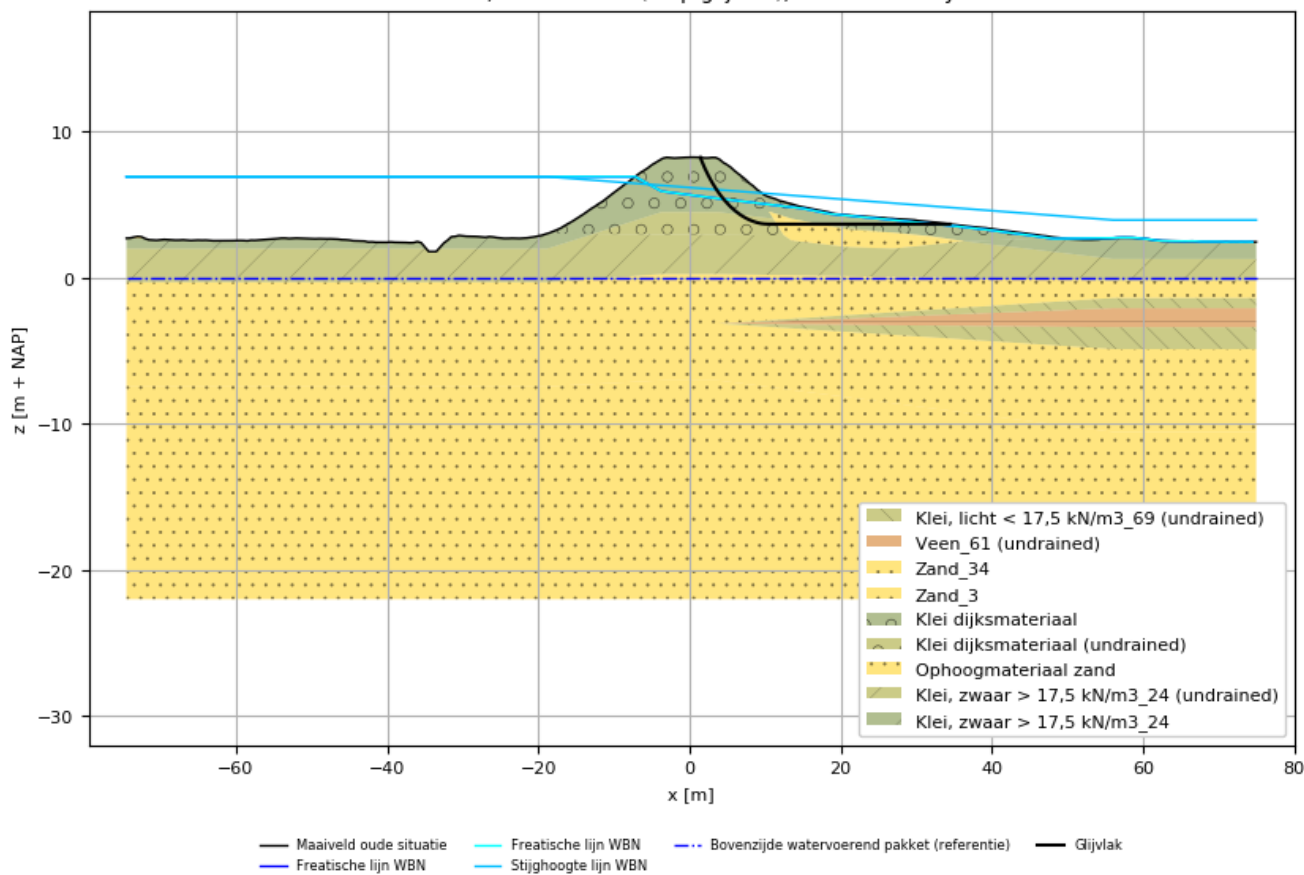


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_248+000.stix
 DWP 248.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.46

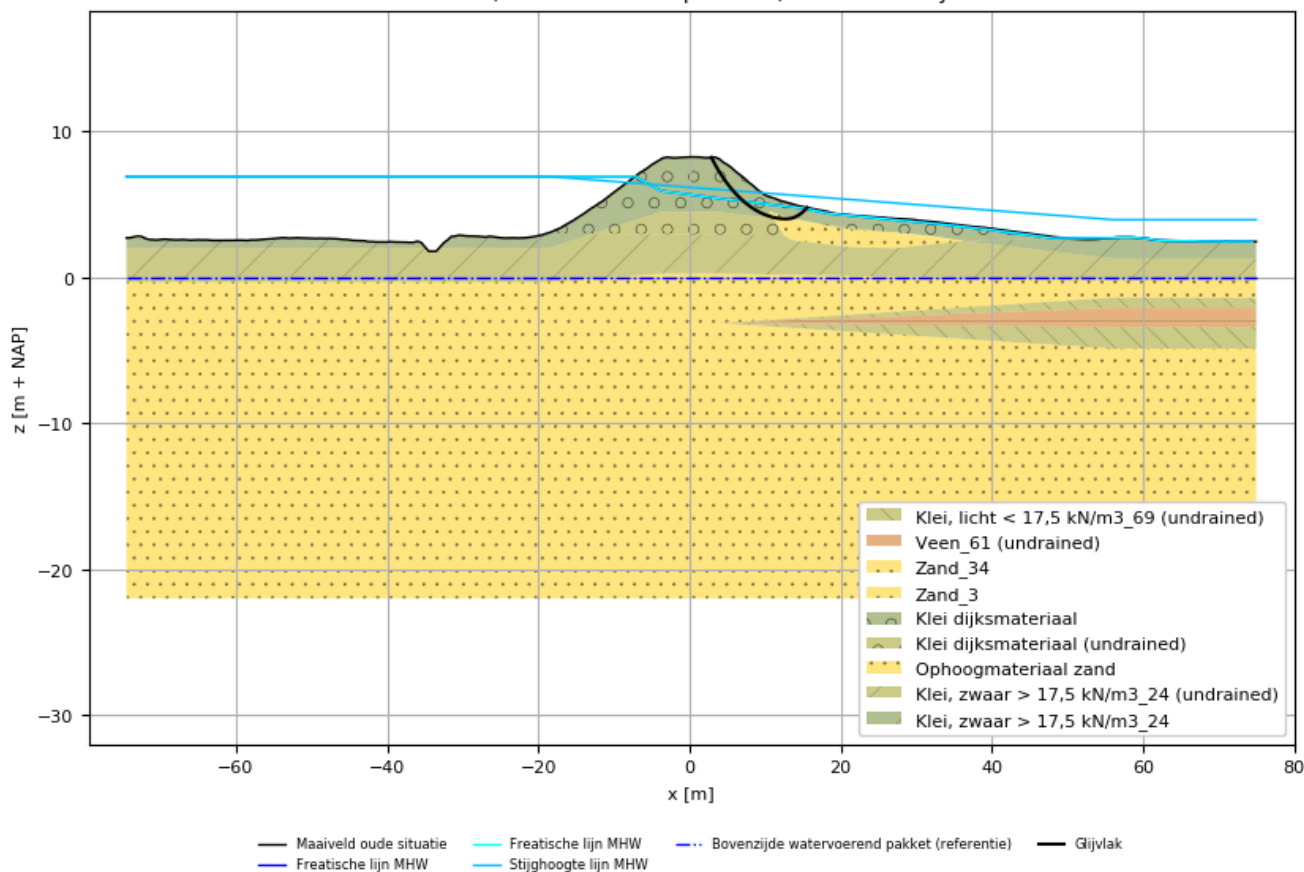


Bestandsnaam: STBI_STBU_248+000.stix
 DWP 248.0, Fase 3: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 1.66

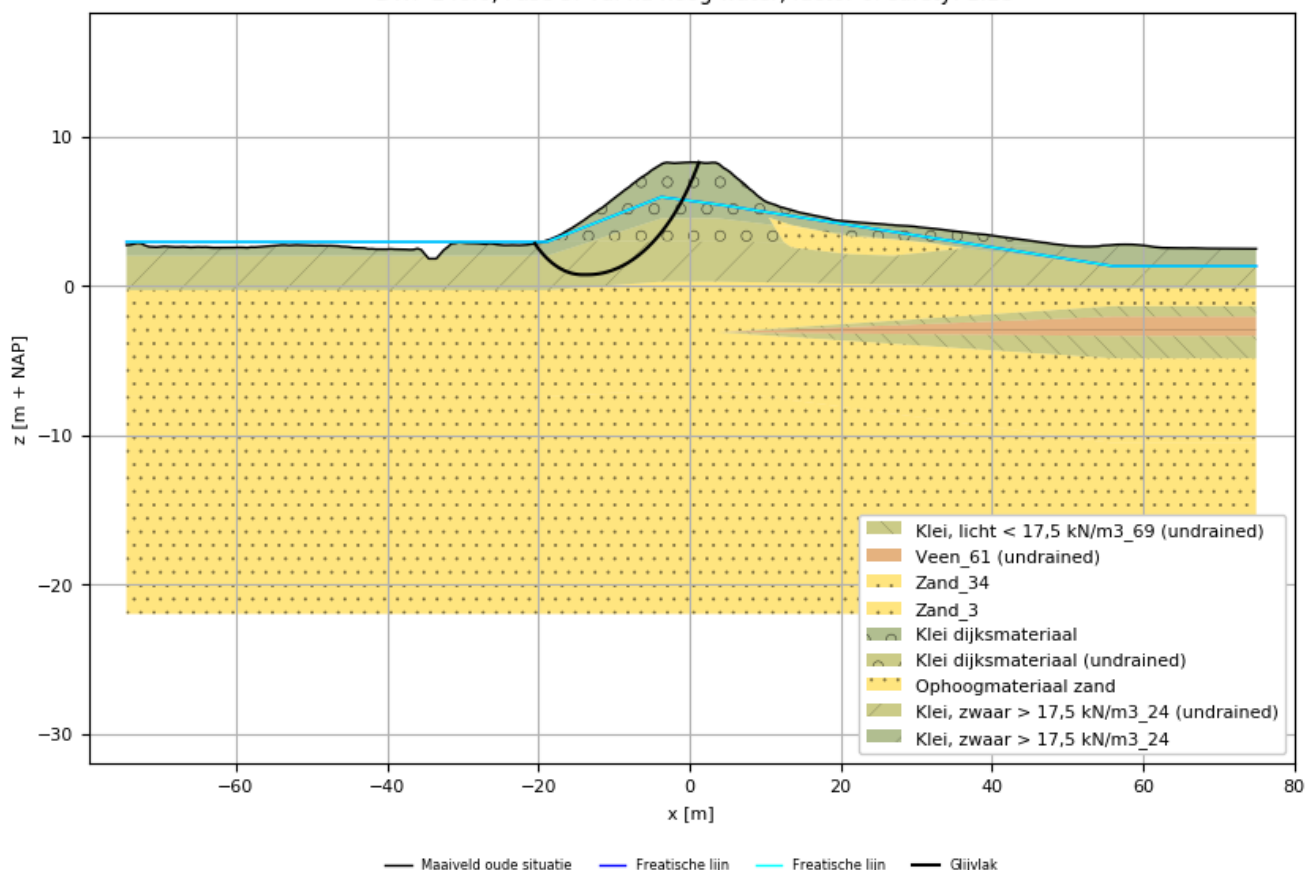


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_248+000.stix
 DWP 248.0, Fase 4: WBN + opbarsten, factor of safety: 1.46

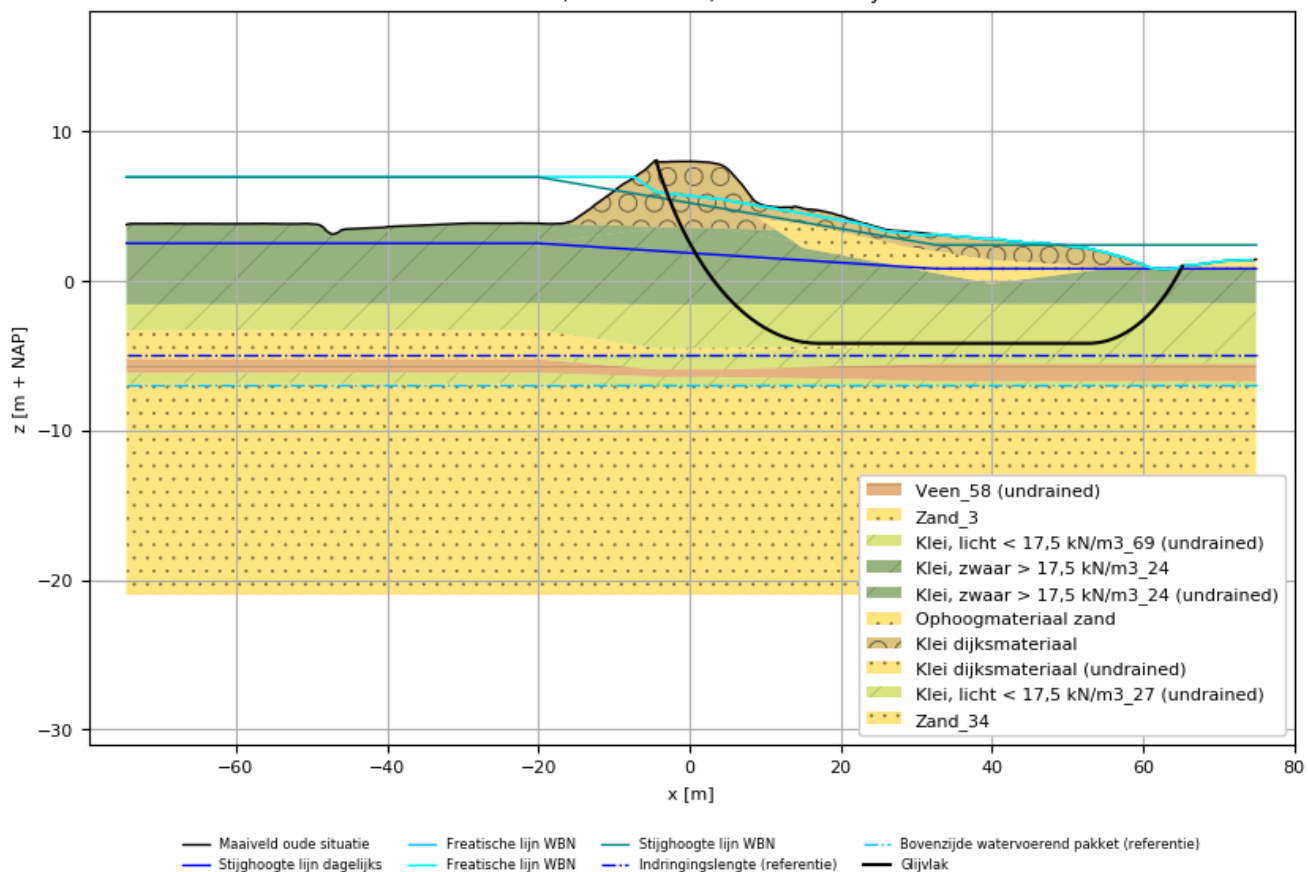


Bestandsnaam: STBI_STBU_248+000.stix
 DWP 248.0, Fase 5: Val na hoog water, factor of safety: 1.18

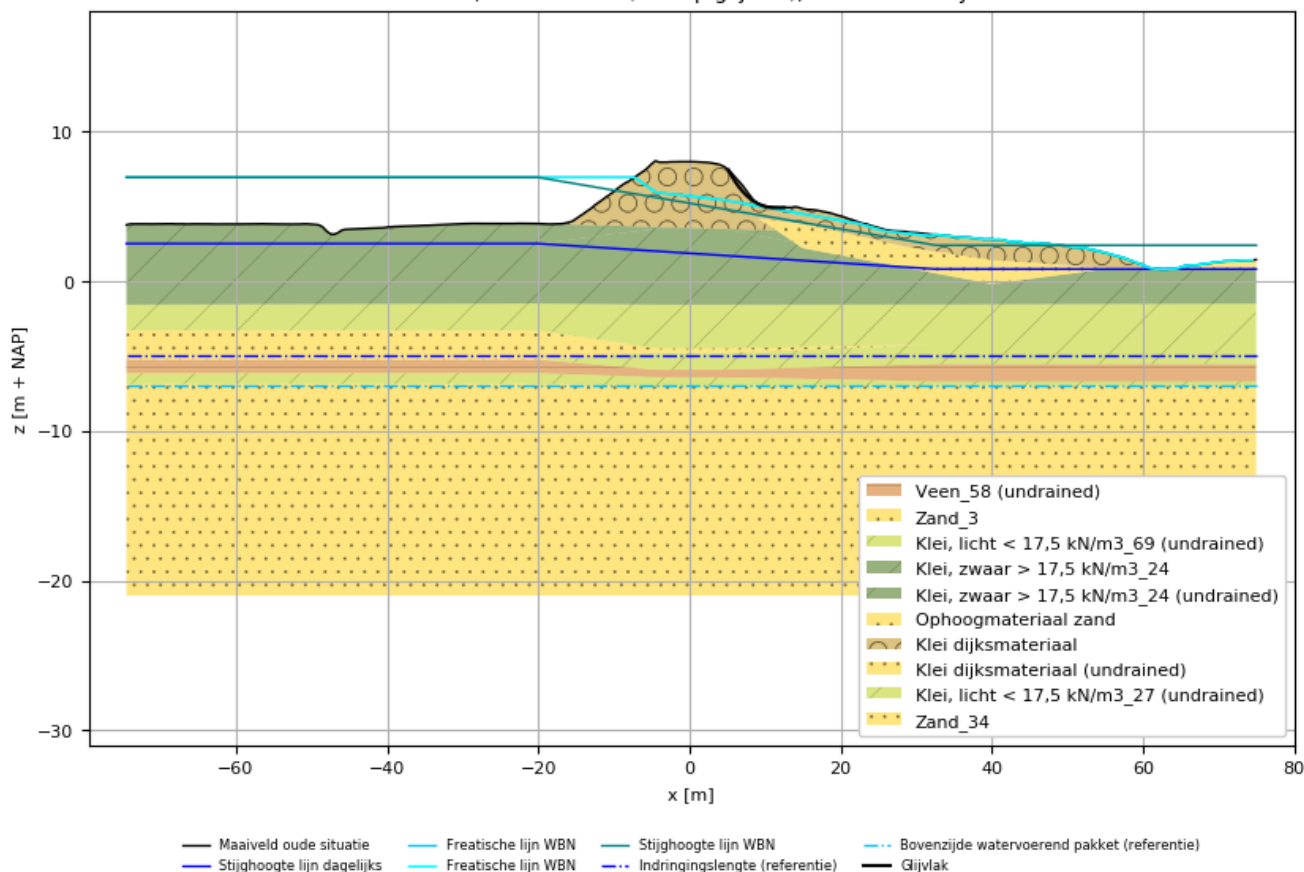


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_267+000.stix
 DWP 267.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.98

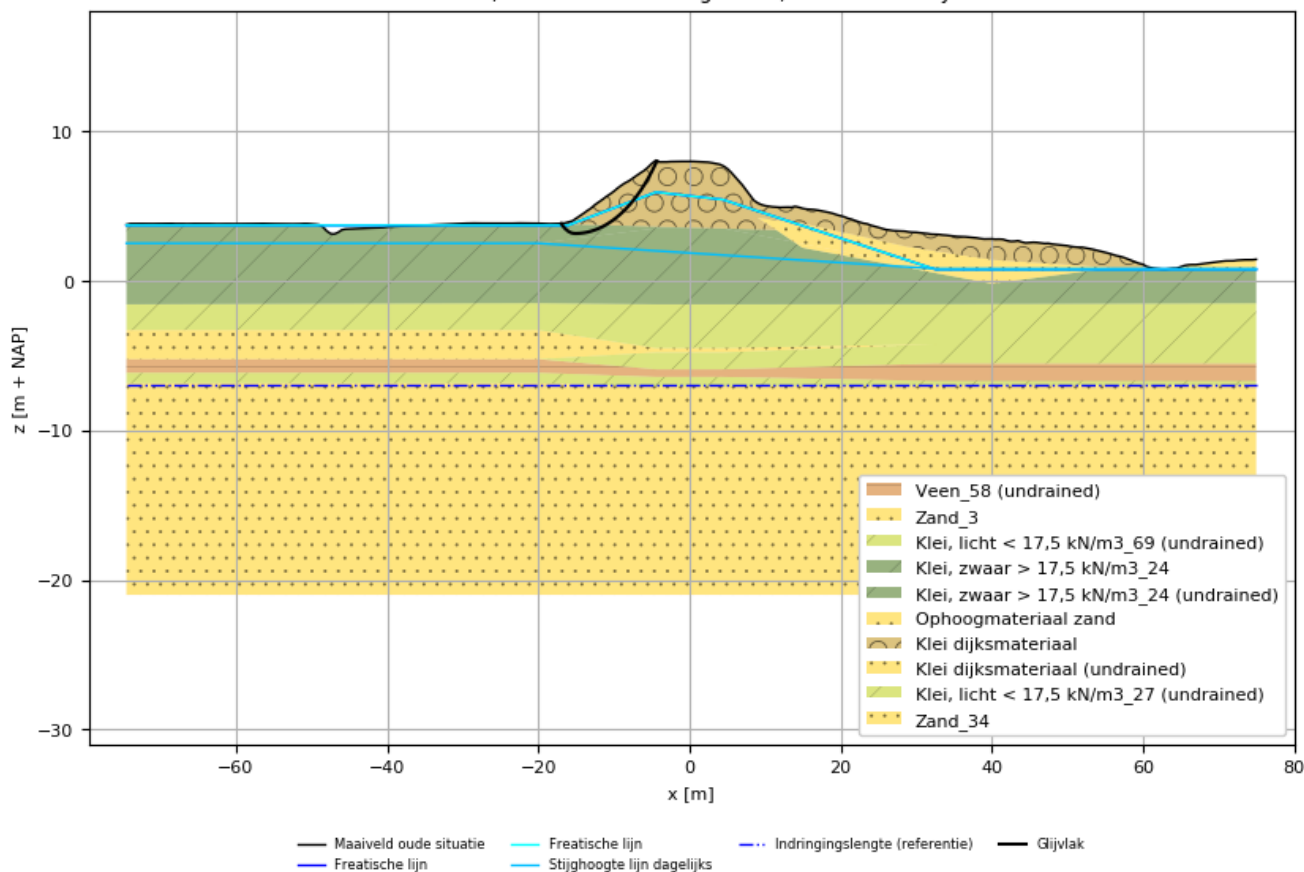


Bestandsnaam: STBI_STBU_267+000.stix
 DWP 267.0, Fase 3: WBN (ondiep glijvlak), factor of safety: 0.94

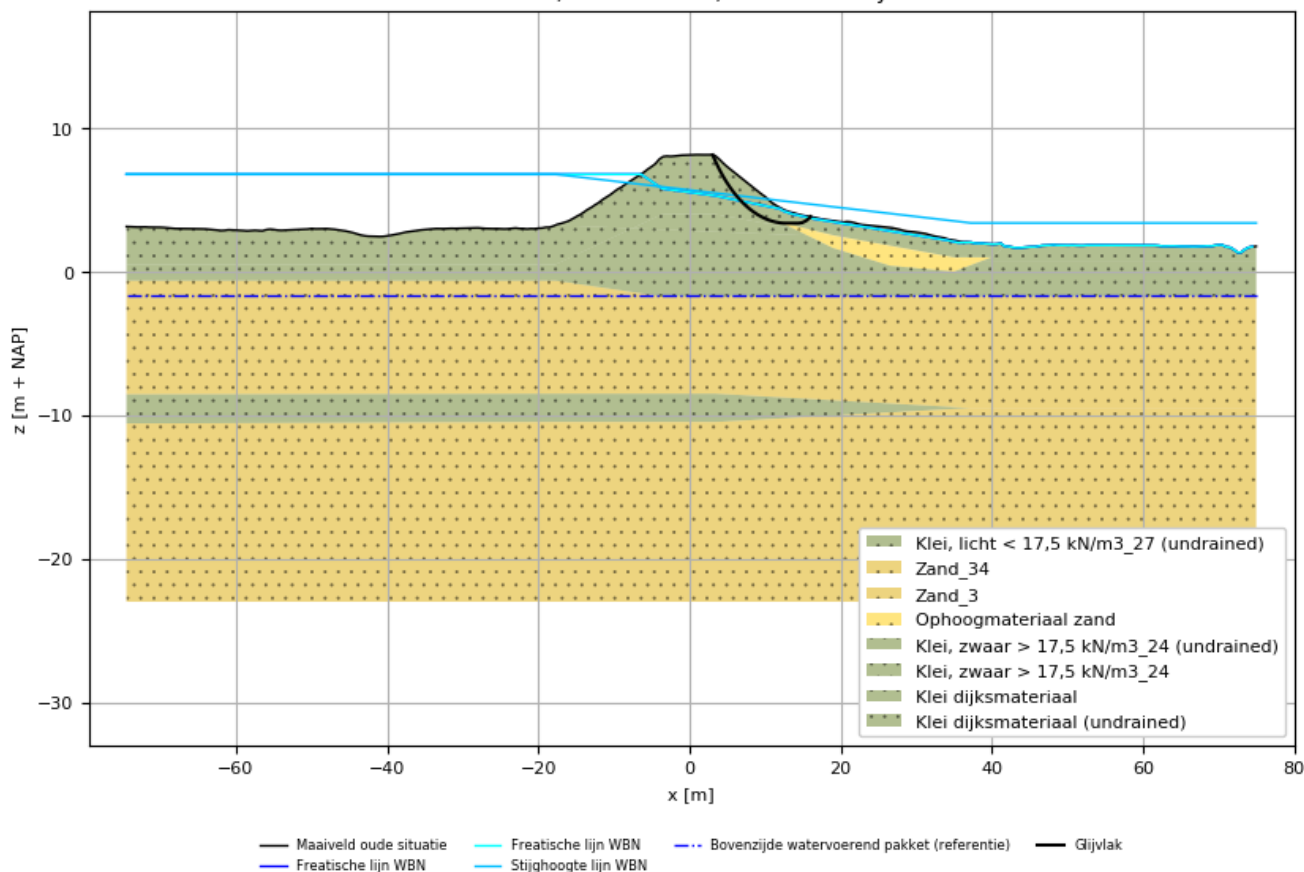


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_267+000.stix
 DWP 267.0, Fase 4: Val na hoog water, factor of safety: 1.33

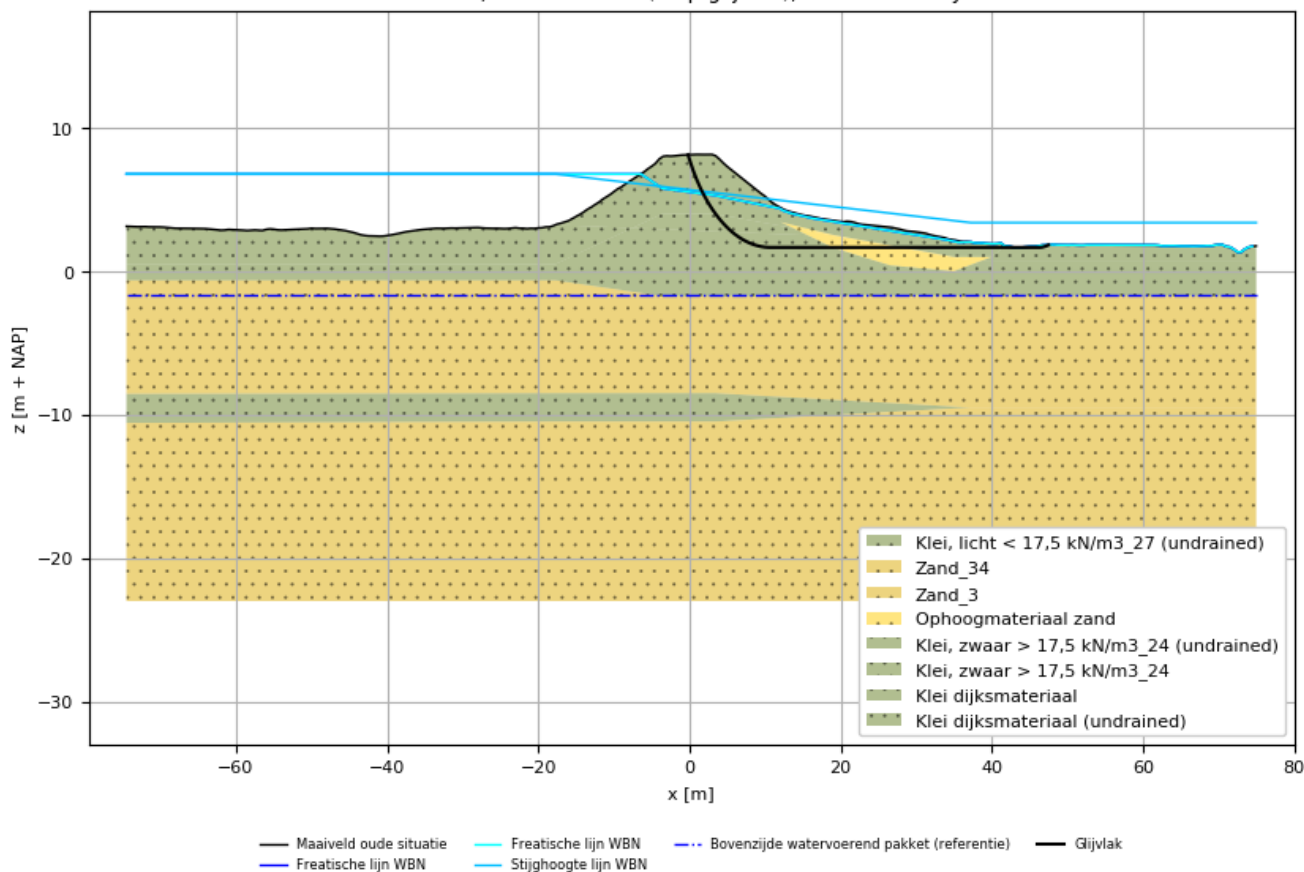


Bestandsnaam: STBI_STBU_280+000.stix
 DWP 280.0, Fase 2a: WBN, factor of safety: 1.15

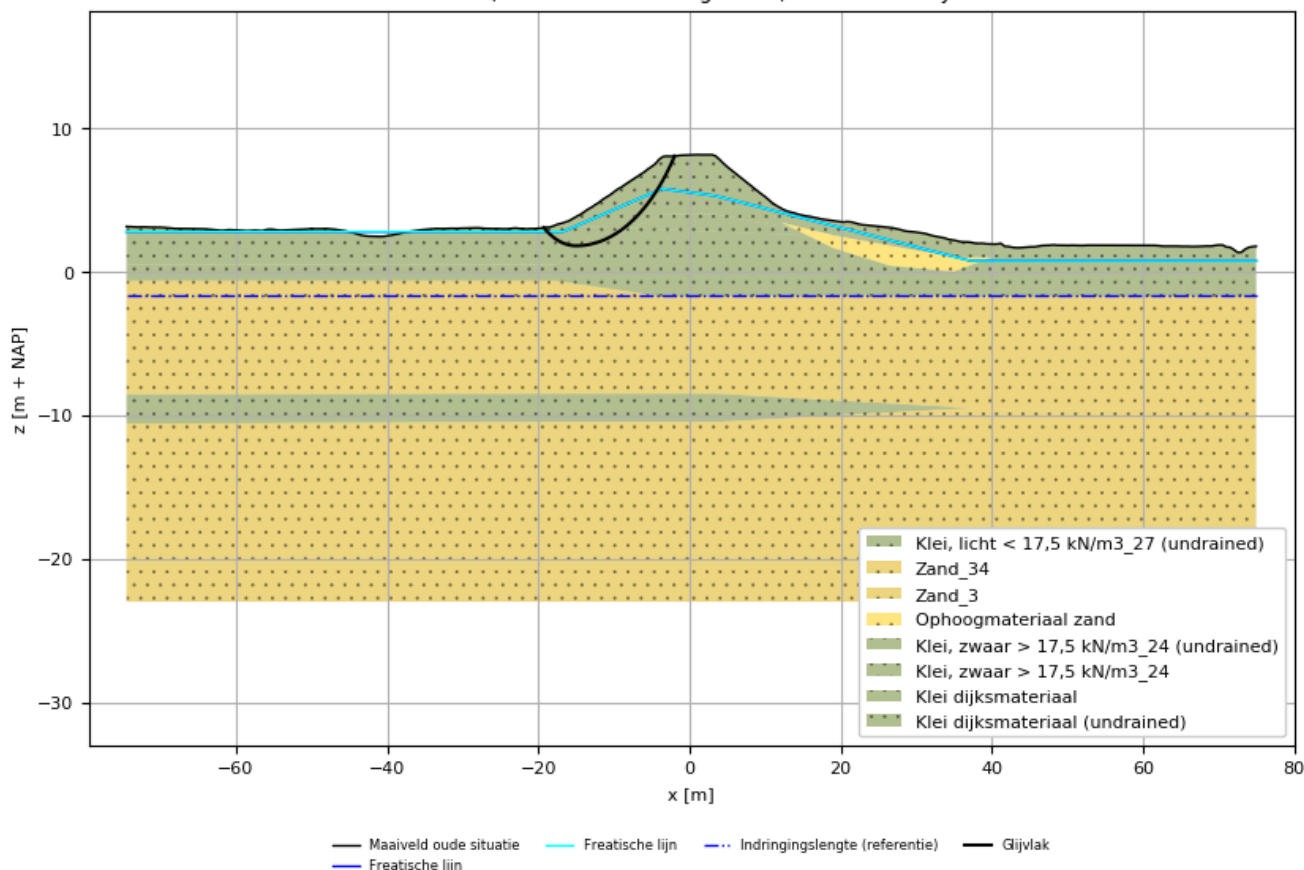


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_280+000.stix
 DWP 280.0, Fase 2b: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 1.54

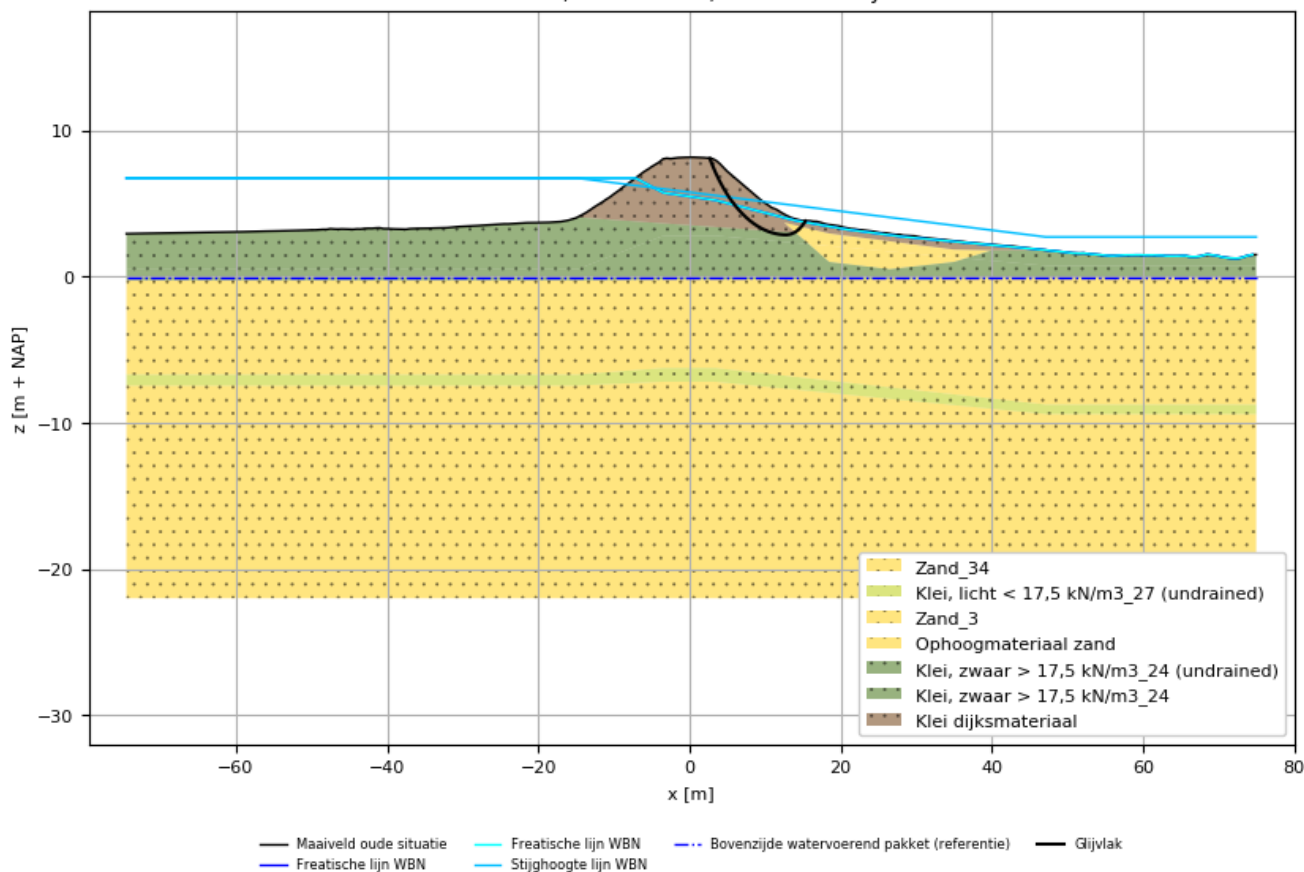


Bestandsnaam: STBI_STBU_280+000.stix
 DWP 280.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.32

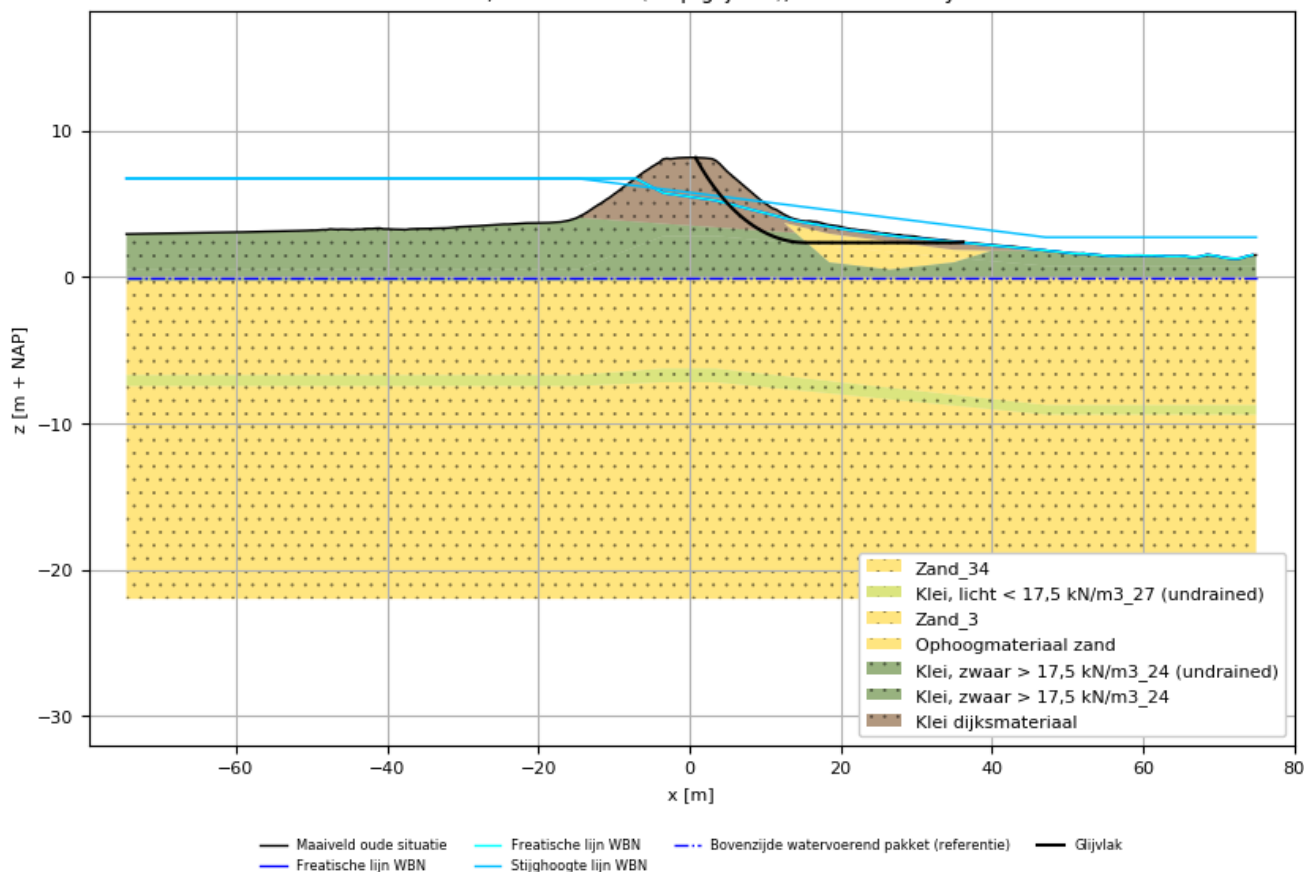


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_287+000.stix
 DWP 287.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.15

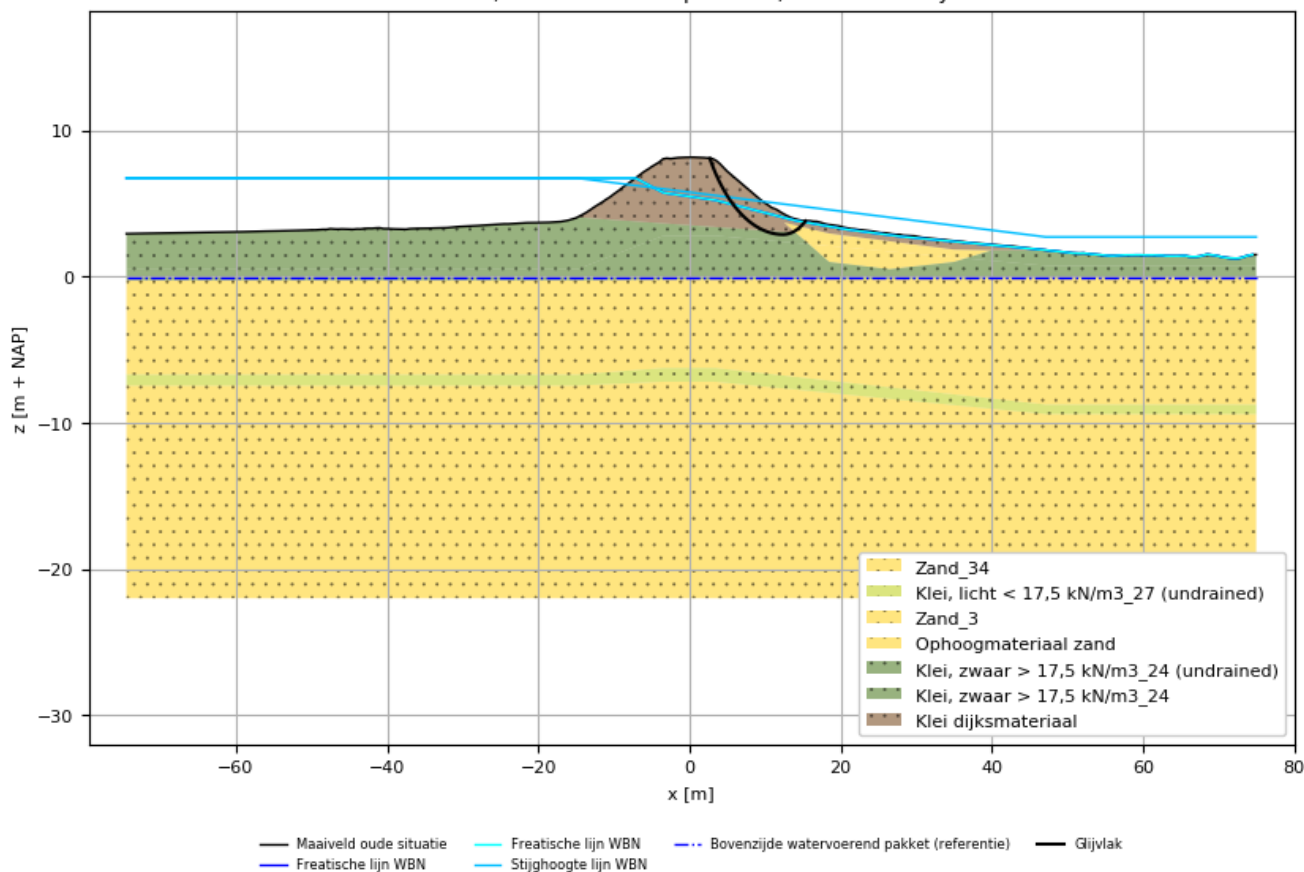


Bestandsnaam: STBI_STBU_287+000.stix
 DWP 287.0, Fase 3: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 1.39

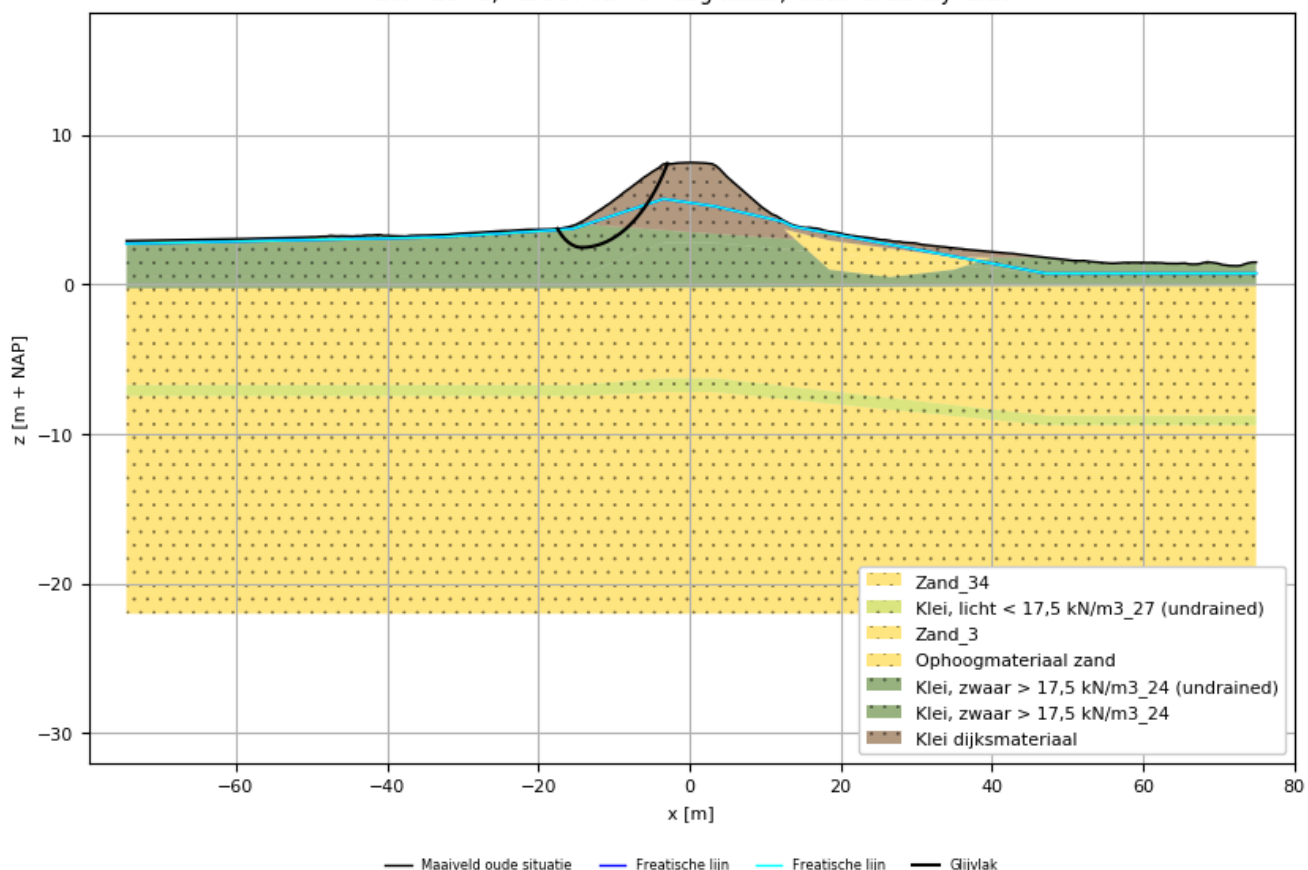


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_STBU_287+000.stix
 DWP 287.0, Fase 4: WBN + opbarsten, factor of safety: 1.15

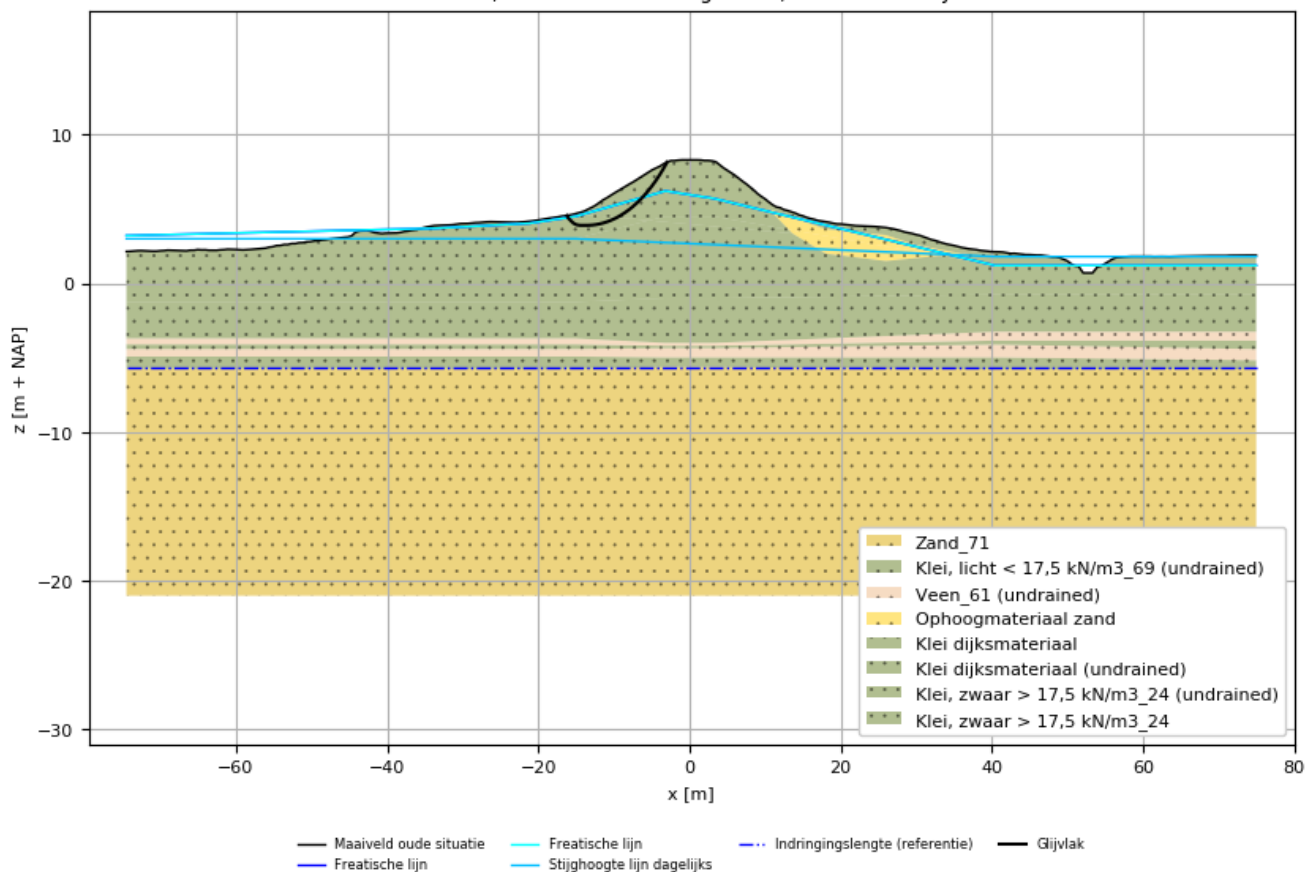


Bestandsnaam: STBI_STBU_287+000.stix
 DWP 287.0, Fase 5: Val na hoog water, factor of safety: 1.29

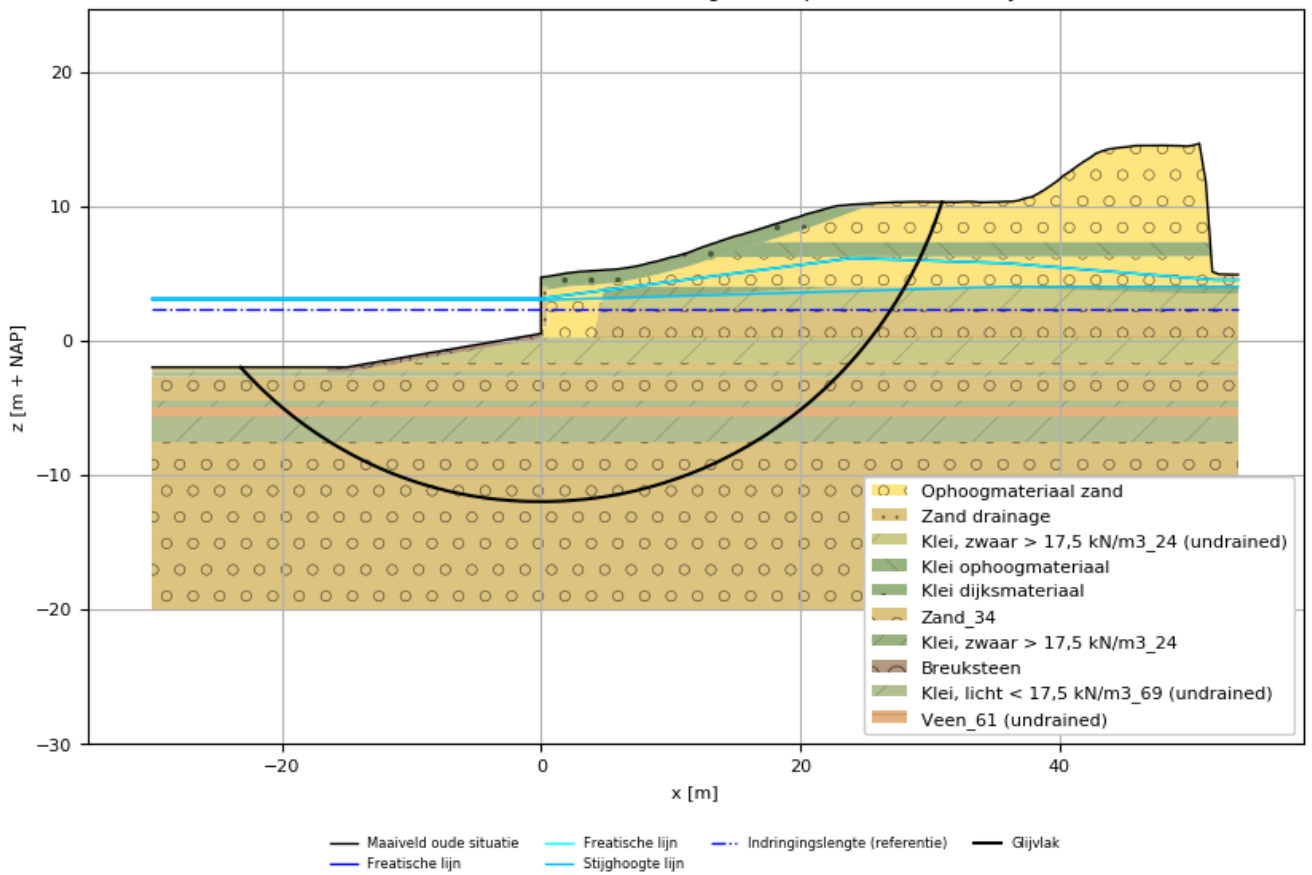


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBU_235+000.stix
 DWP 235.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.56

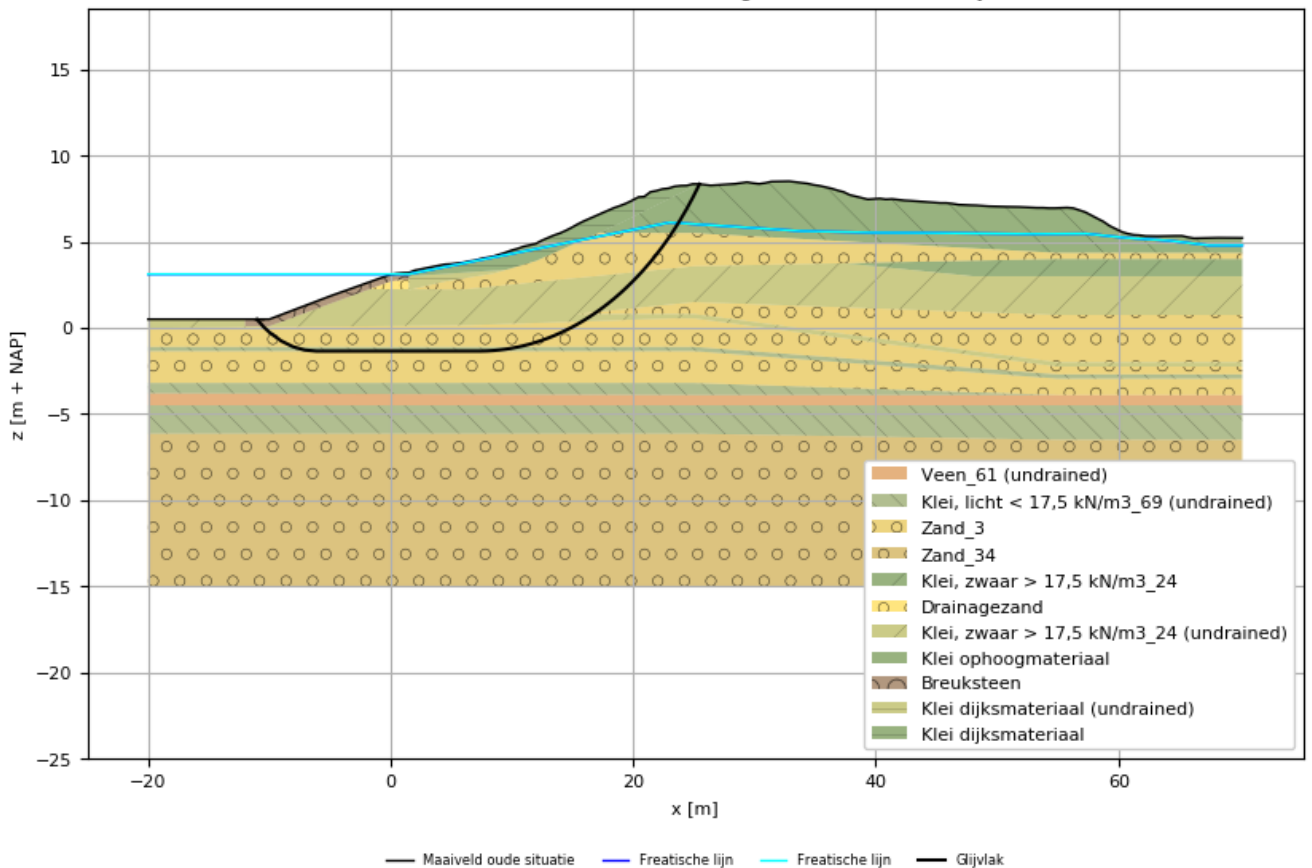


Bestandsnaam: STBU_244+200_Grondwal_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+200, Fase 2: Val na hoogwater Uplift, factor of safety: 1.73

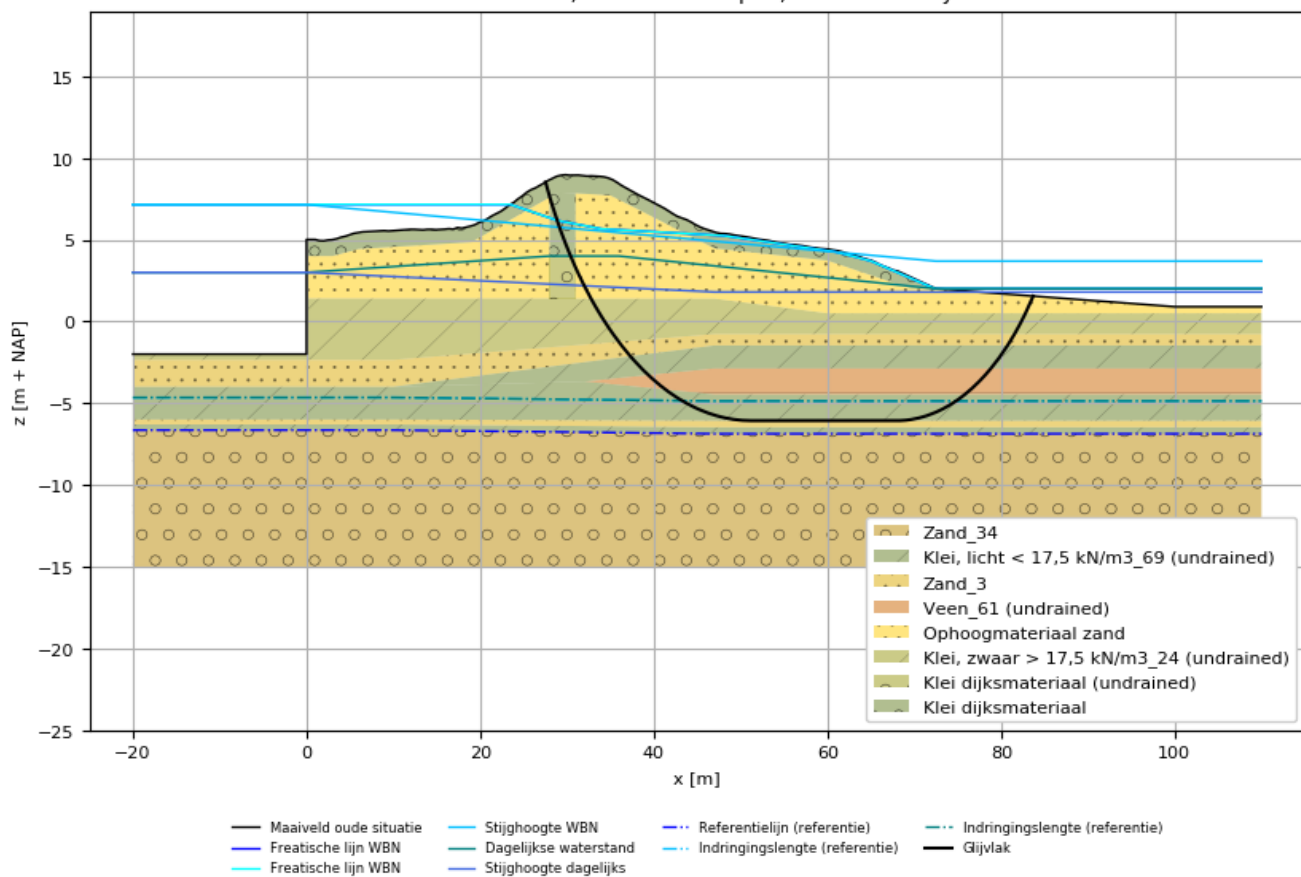


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

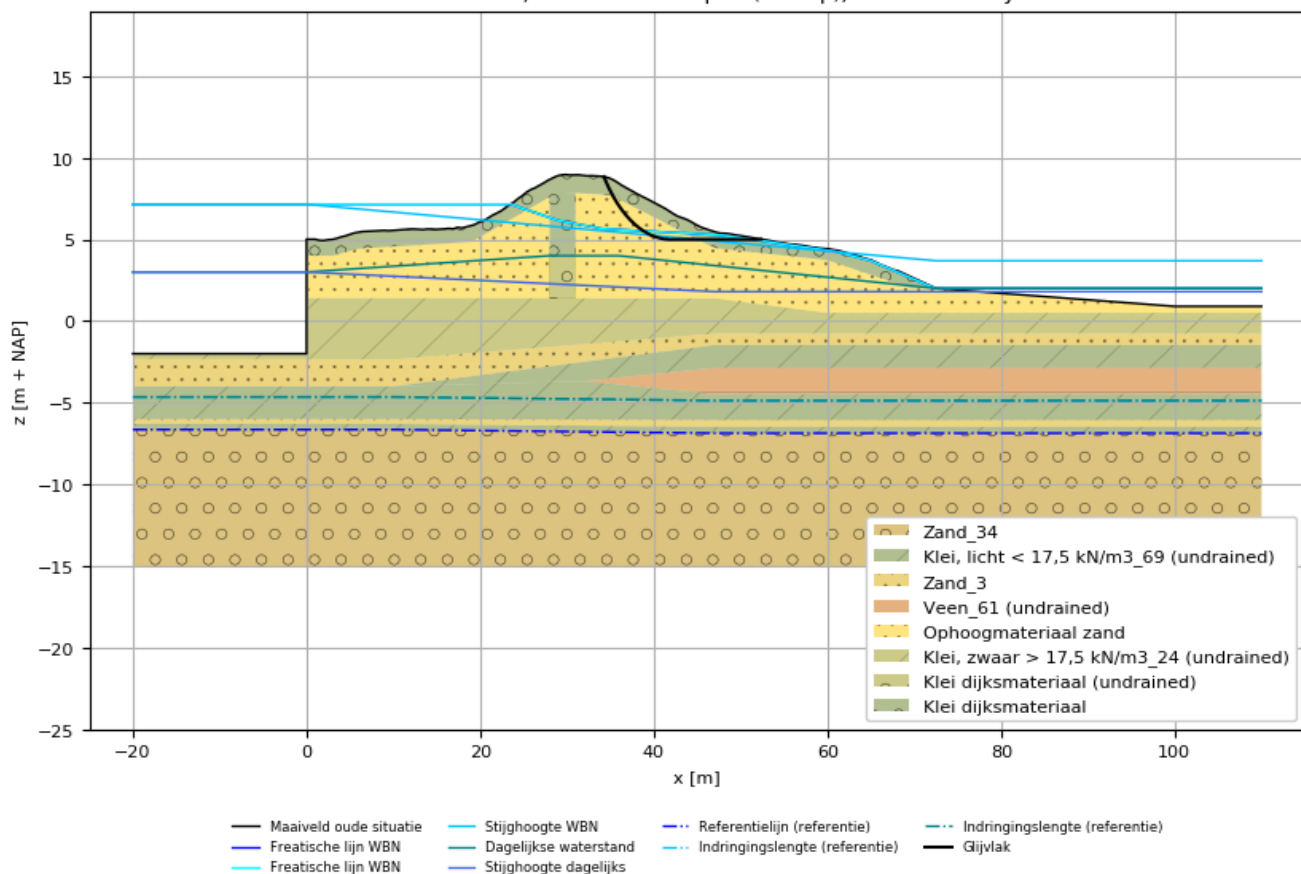
Bestandsnaam: STBU_244+335_Grondwal_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+335, Fase 2: Val na hoogwater, factor of safety: 1.44



Bestandsnaam: STBI_244+120_Innundatiesluis_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+120, Fase 2: WBN uplift, factor of safety: 1.53

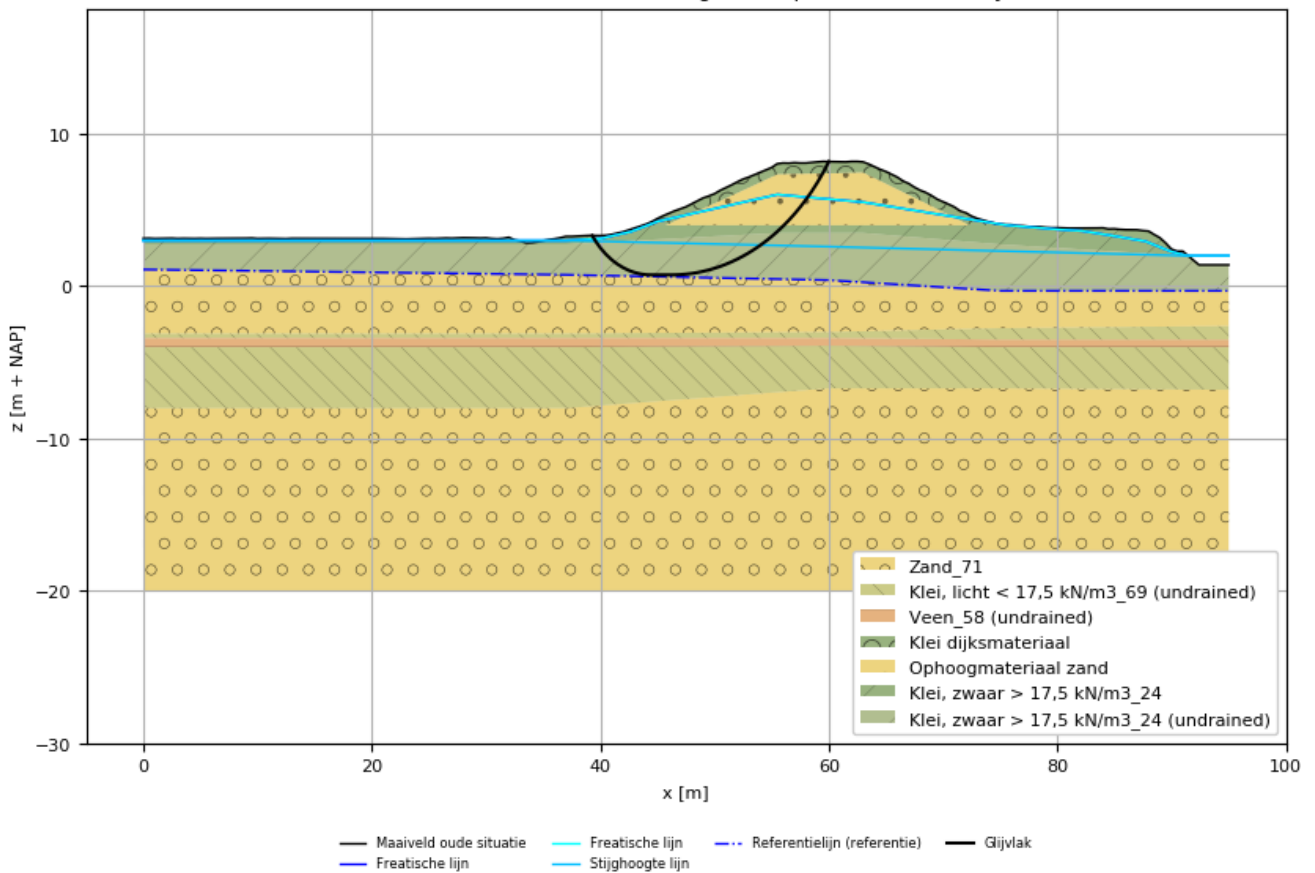


Bestandsnaam: STBI_244+120_Innundatiesluis_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+120, Fase 2b: WBN uplift (ondiep), factor of safety: 2.1



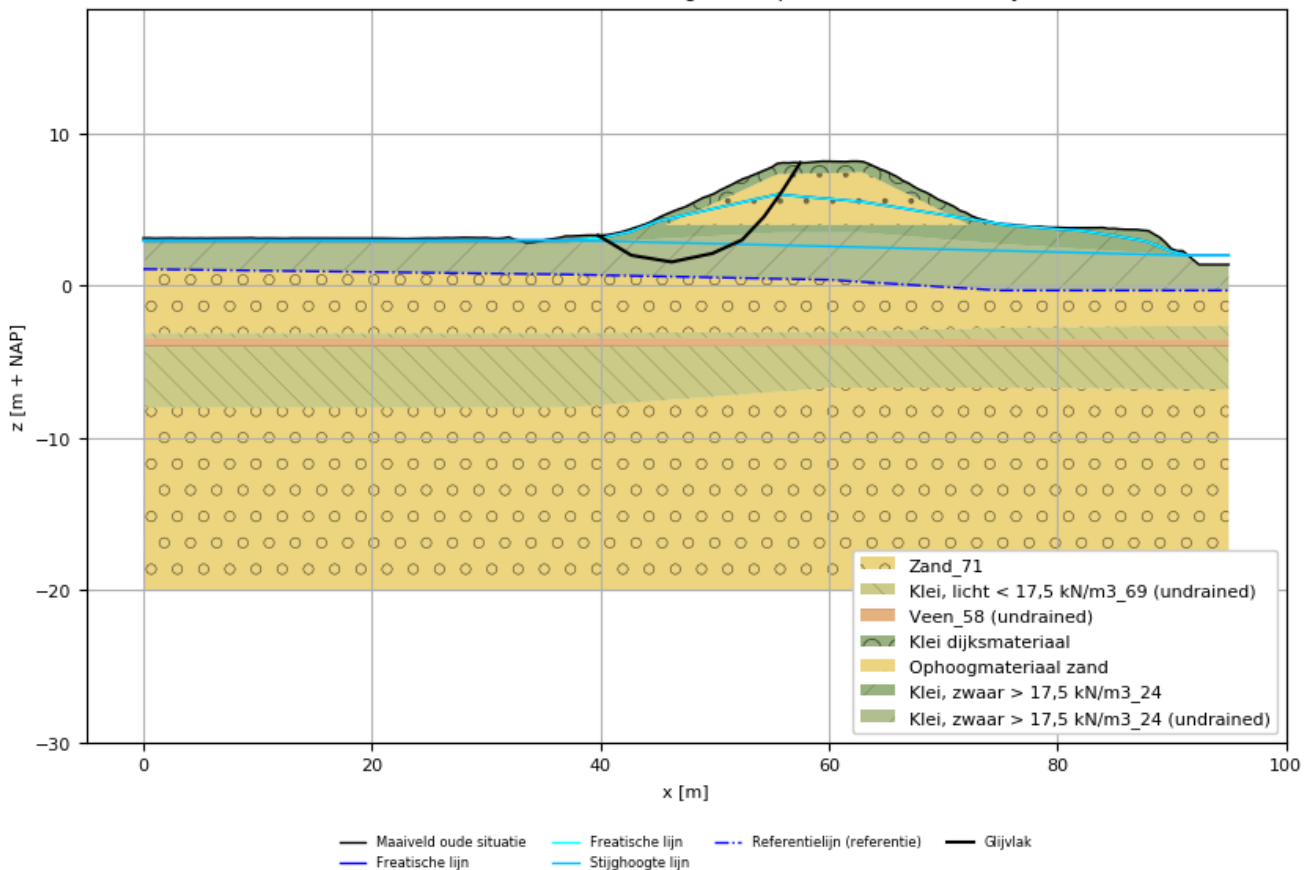
Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBU_244+635_Groene_Dijk_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+635, Fase 2: Val na hoogwater Uplift, factor of safety: 1.41

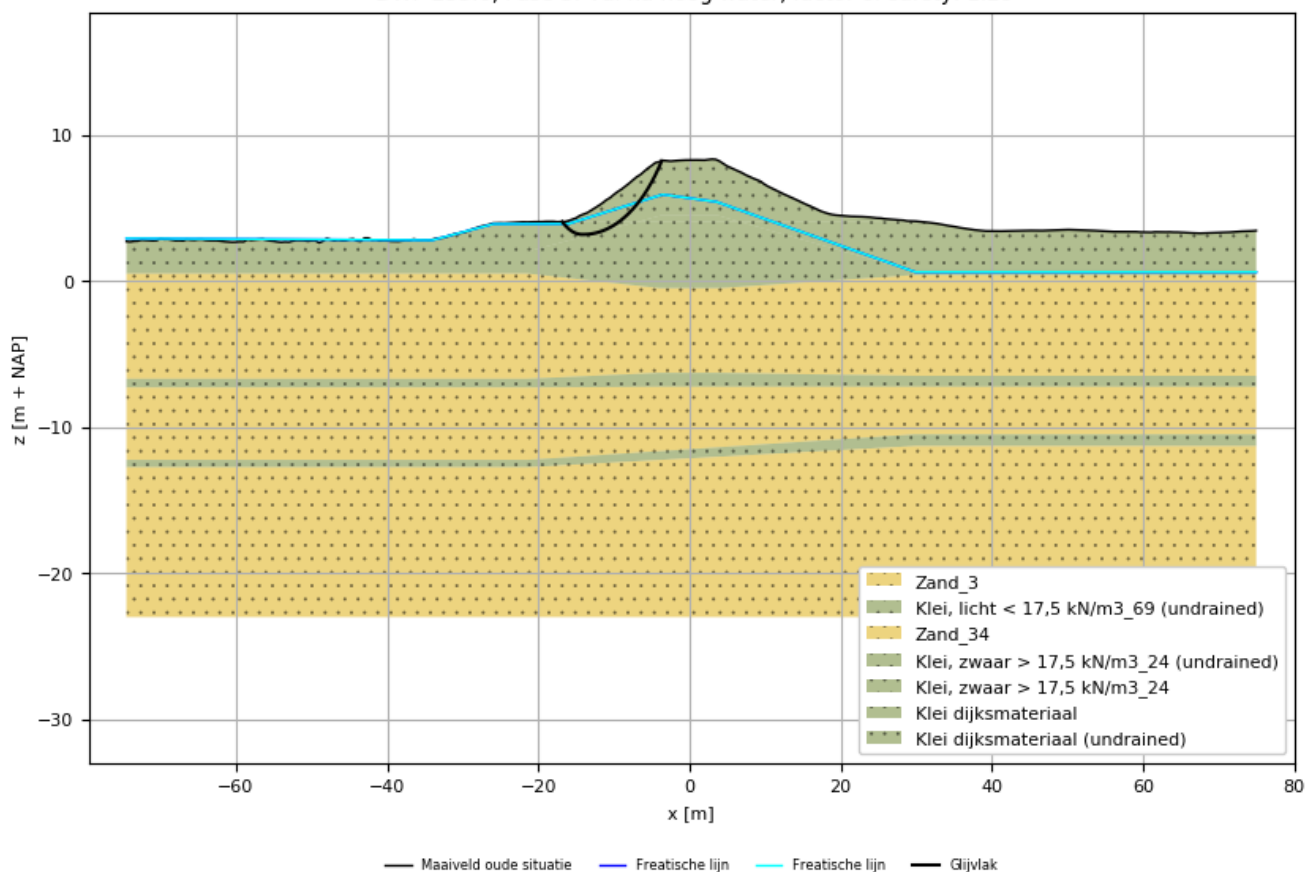


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBU_244+635_Groene_Dijk_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+635, Fase 3: Val na hoogwater Spencer, factor of safety: 1.35

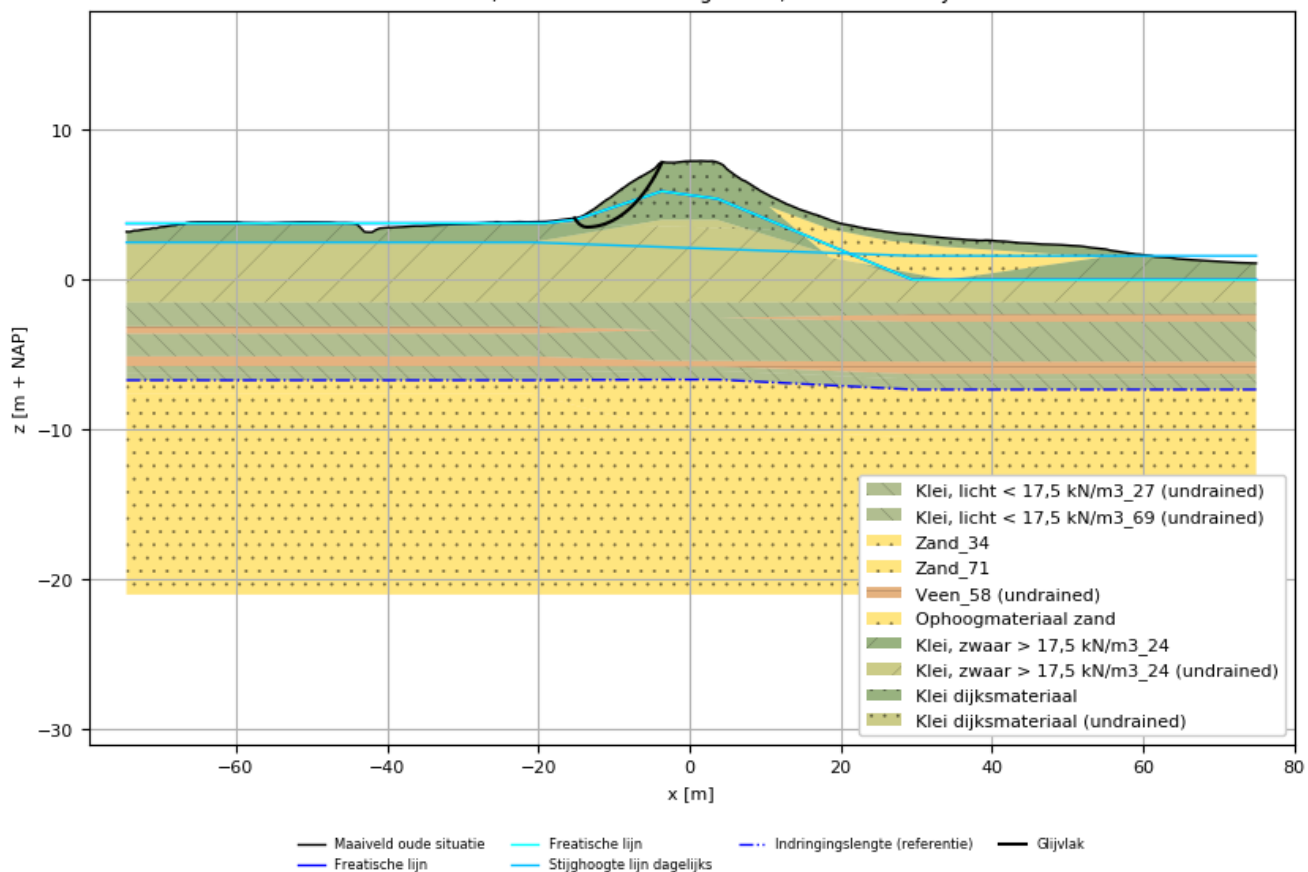


Bestandsnaam: STBU_255+000.stix
 DWP 255.0, Fase 3: Val na hoog water, factor of safety: 1.29

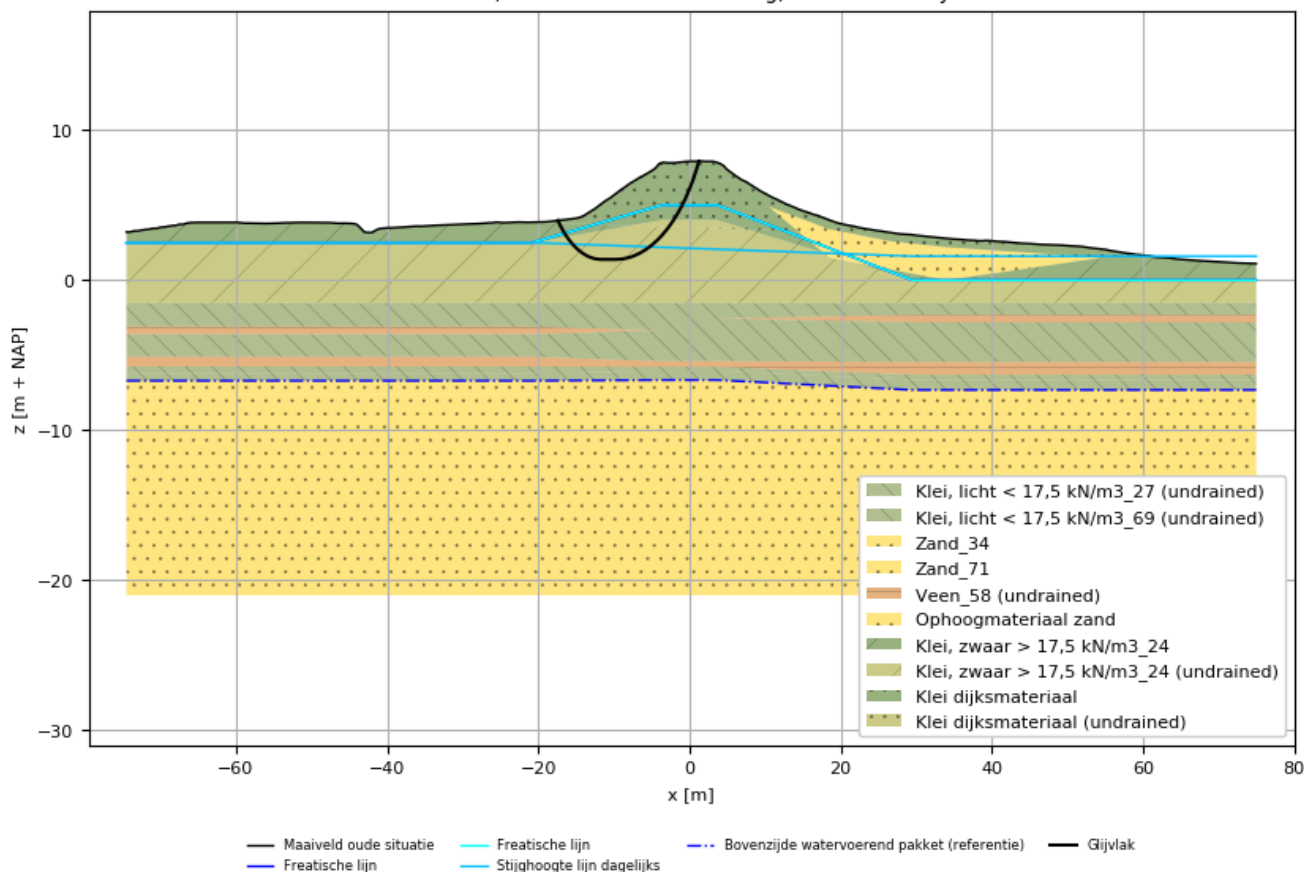


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBU_265+000_ExtremeNeerslag.stix
 DWP 265.0, Fase 2: Val na hoog water, factor of safety: 1.38

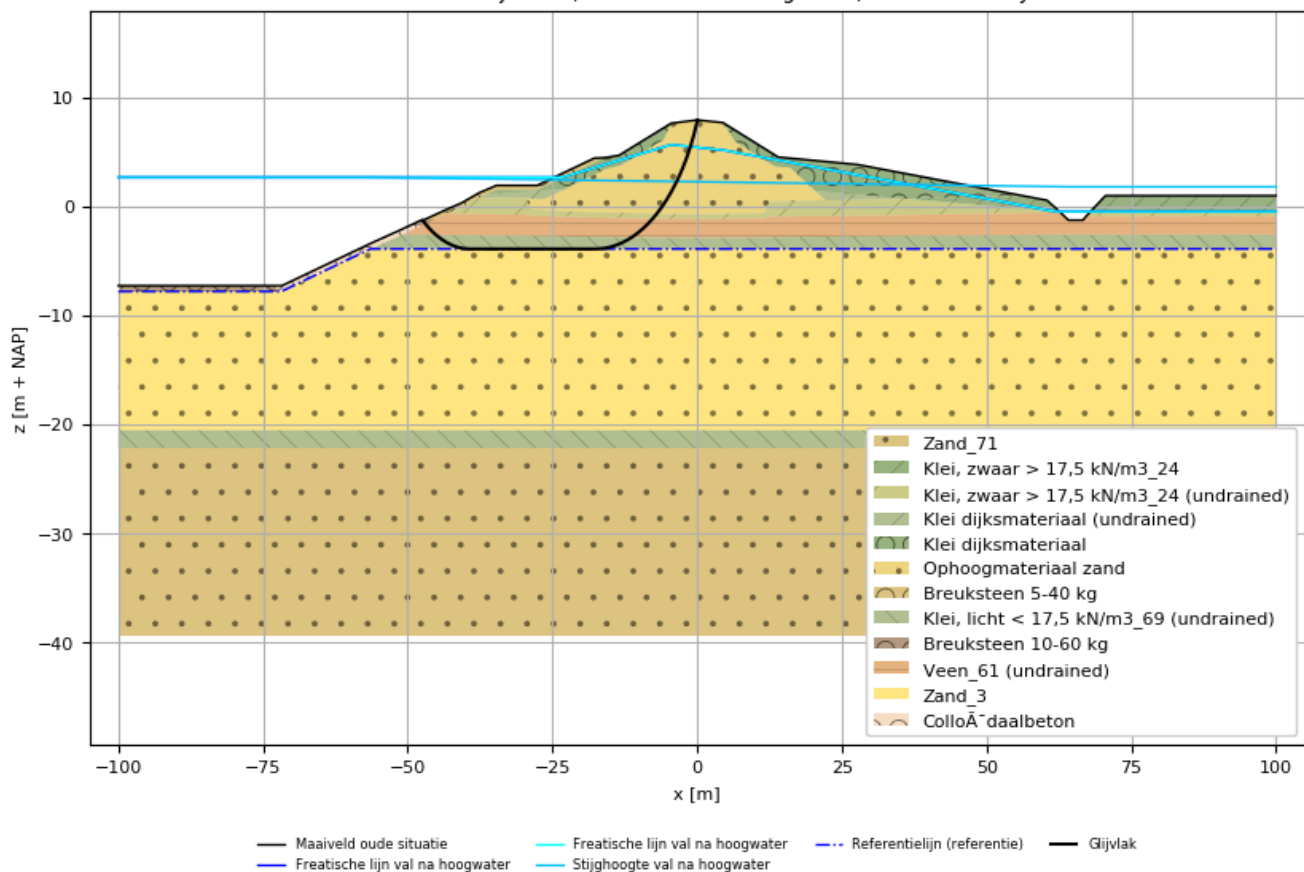


Bestandsnaam: STBU_265+000_ExtremeNeerslag.stix
 DWP 265.0, Fase 3: Extreme neerslag, factor of safety: 1.56

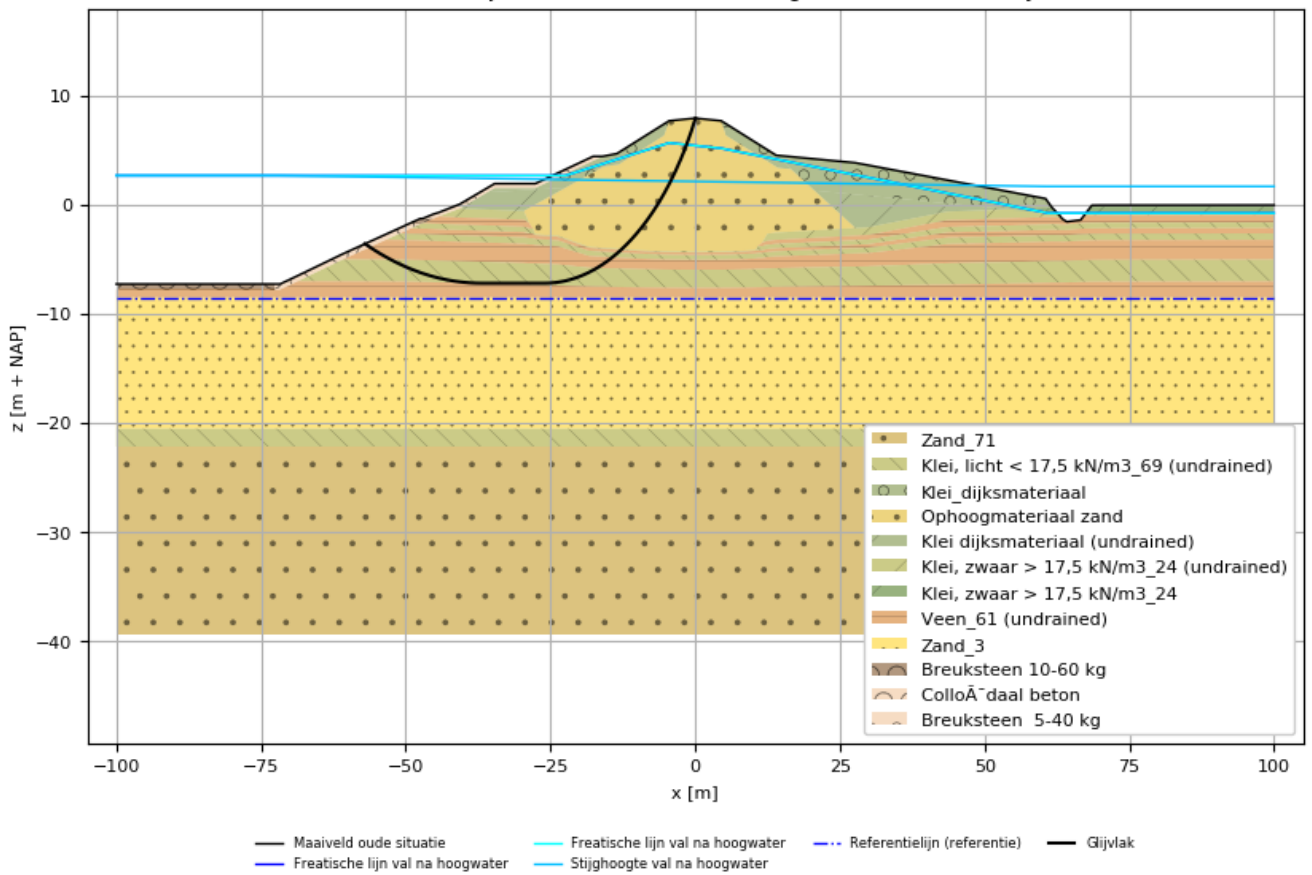


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBU_300+000_Voorhavendijk_Zuid.stix
 DWP Voorhavendijk Zuid, Fase 2: Val na hoogwater, factor of safety: 1.32

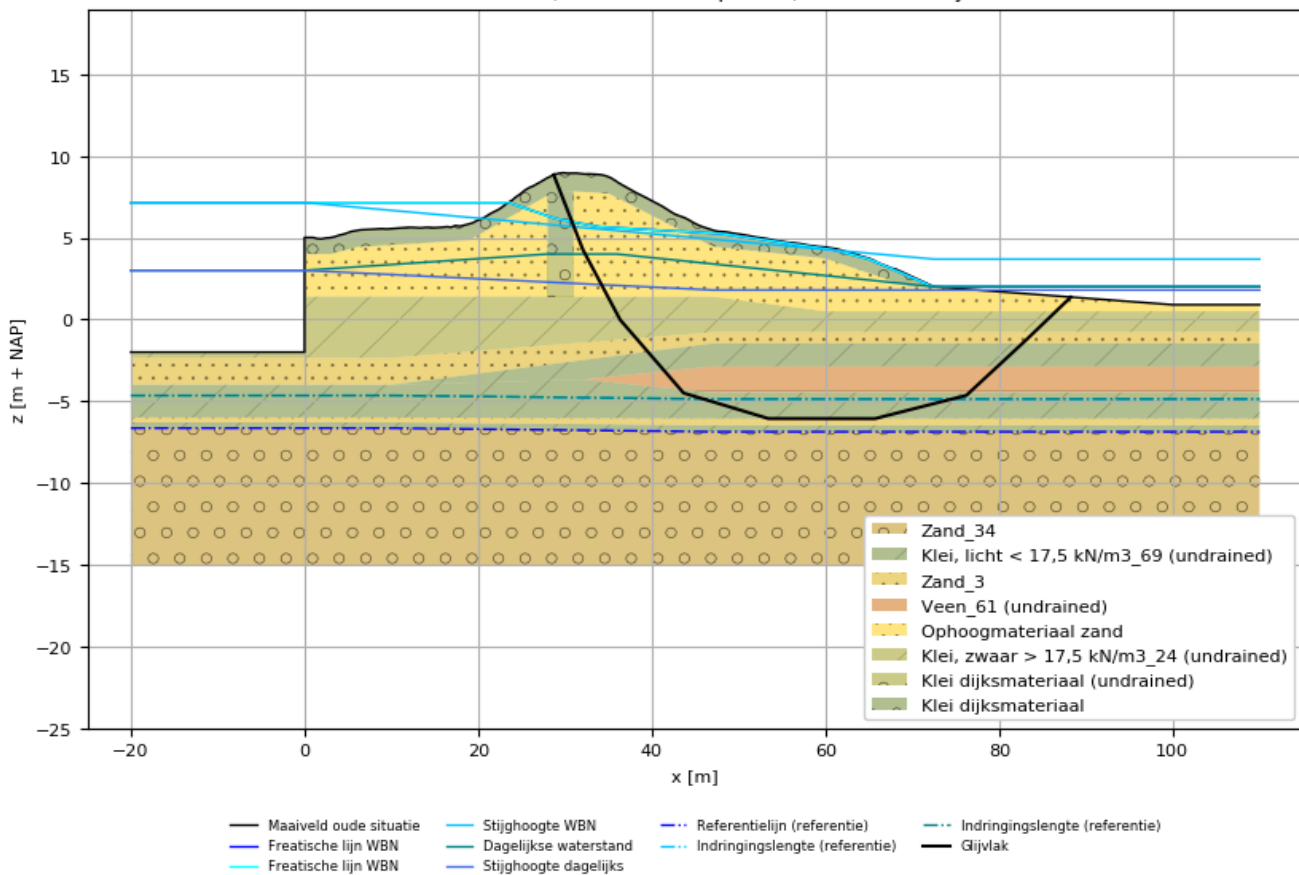


Bestandsnaam: STBU_303+000_Voorhavendijk_Noord.stix
 DWP Voorhavendijk Noord, Fase 2: Val na hoogwater, factor of safety: 1.29

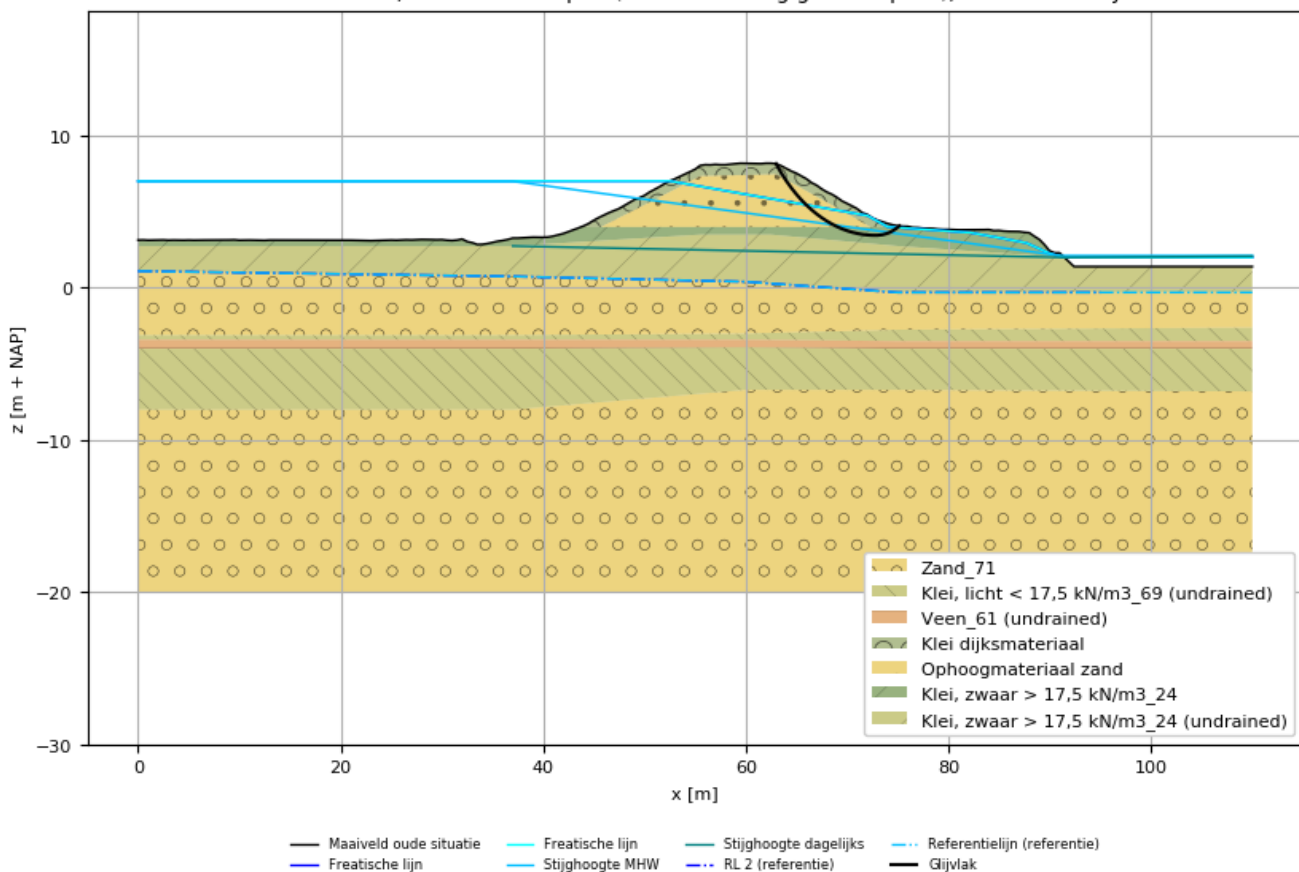


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_244+120_Innundatiesluis_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+120, Fase 3: WBN spencer, factor of safety: 1.54

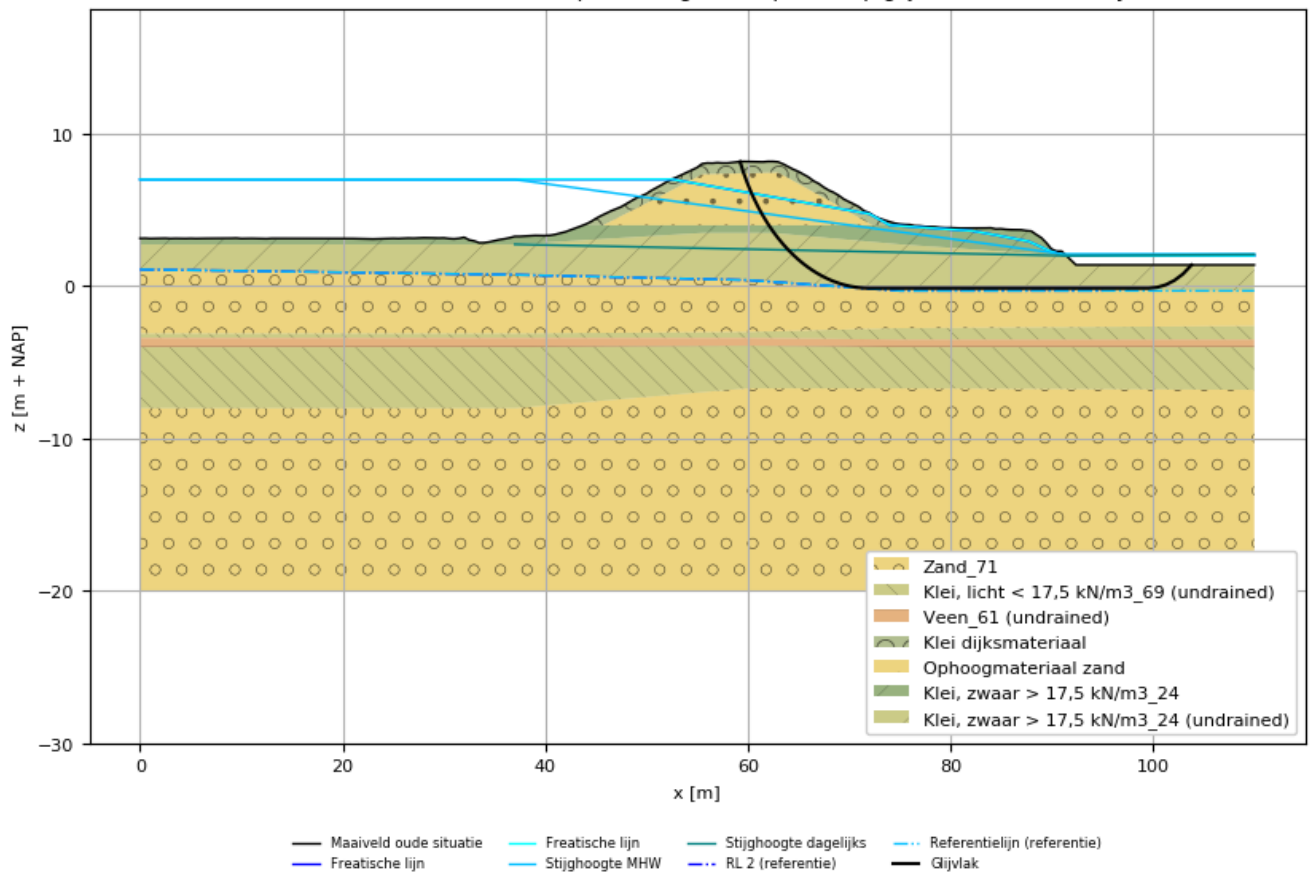


Bestandsnaam: STBI_244+635_Groene_Dijk_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+635, Fase 2: WBN Uplift (tussenzandlaag geen respons), factor of safety: 1.37



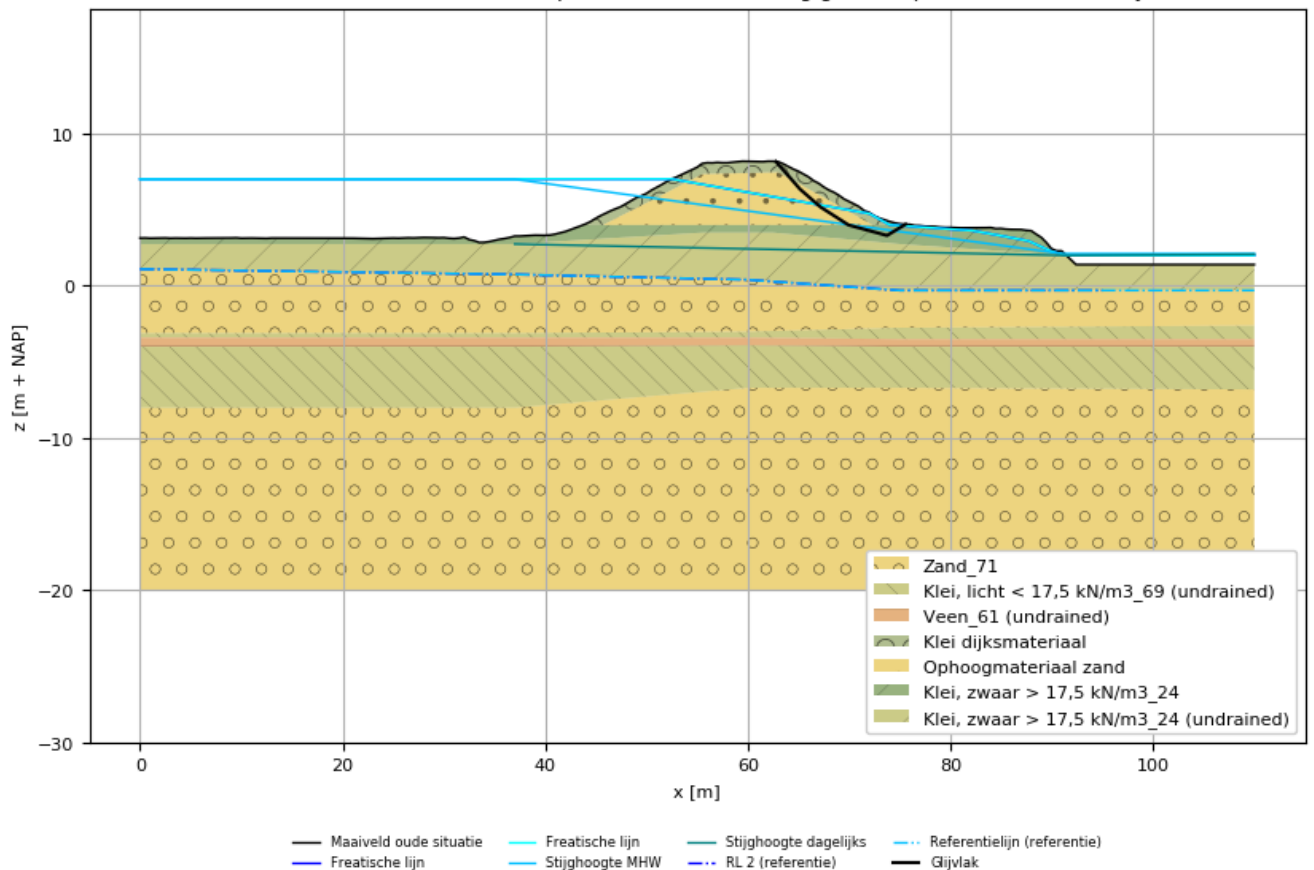
Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_244+635_Groene_Dijk_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+635, Fase 2b: WBN Uplift (TZL geen respons diep glijvlak), factor of safety: 1.82

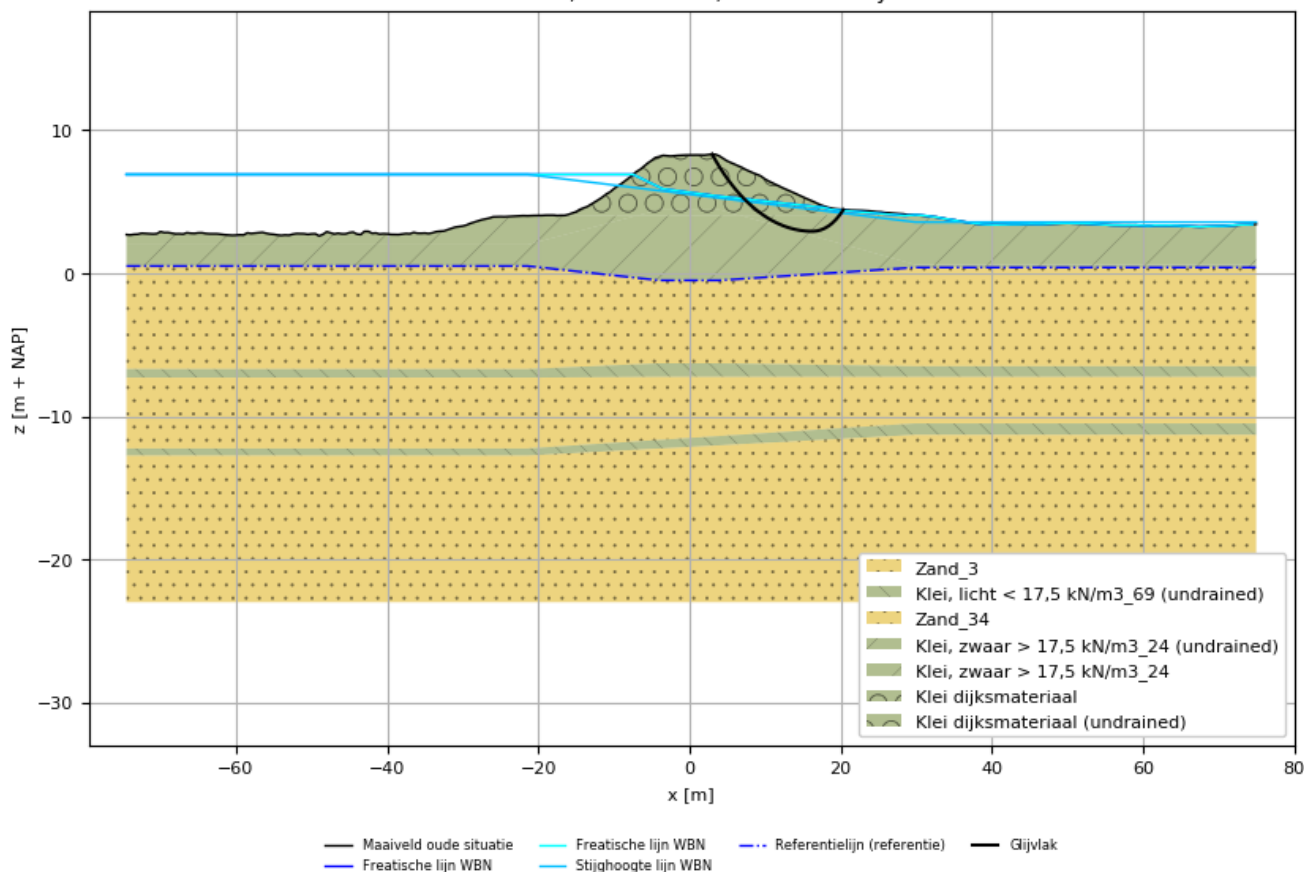


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_244+635_Groene_Dijk_Fort_Honswijk.stix
 DWP DP244+635, Fase 3: WBN Spencer (tussenzandlaag geen respons), factor of safety: 1.4

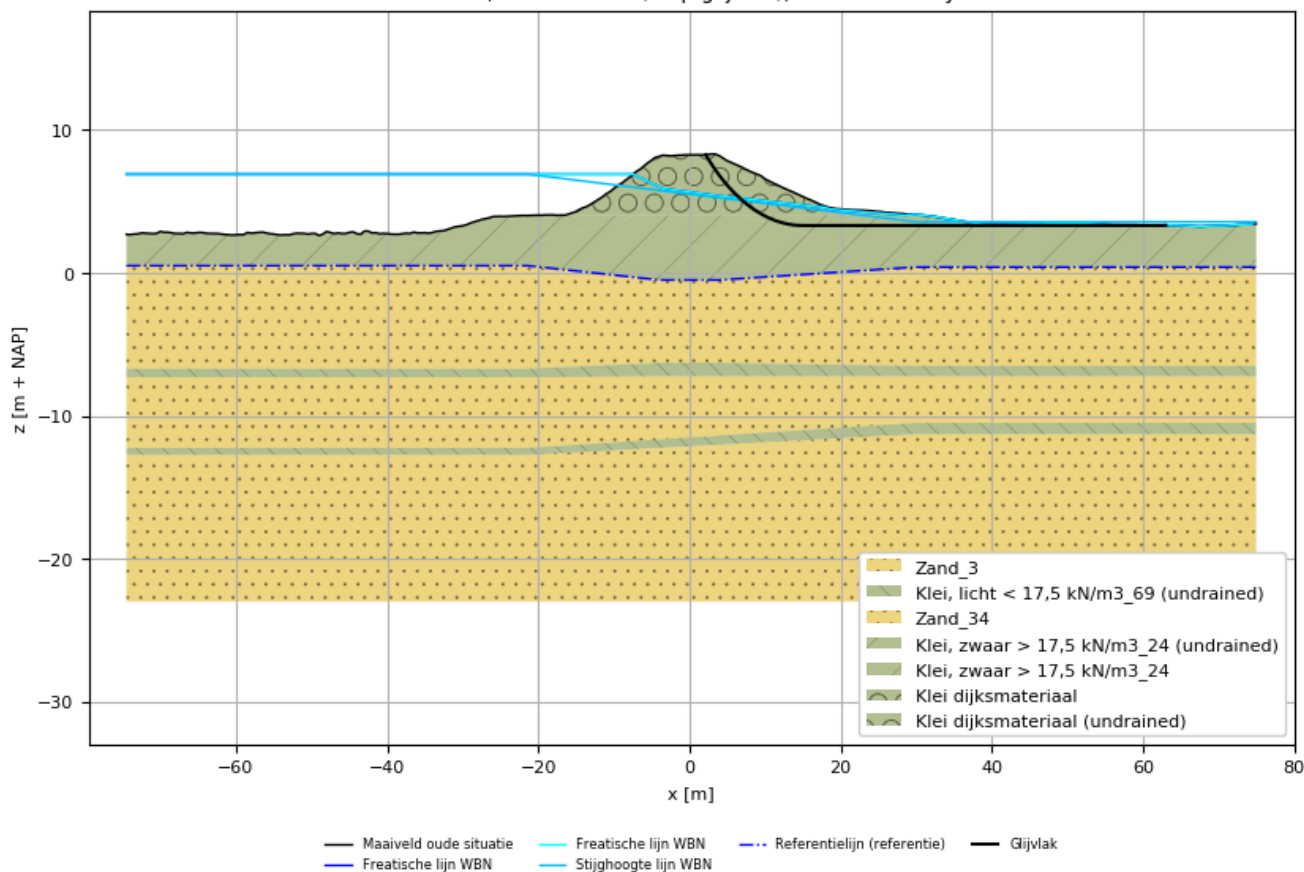


Bestandsnaam: STBI_255+000.stix
 DWP 255.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.8

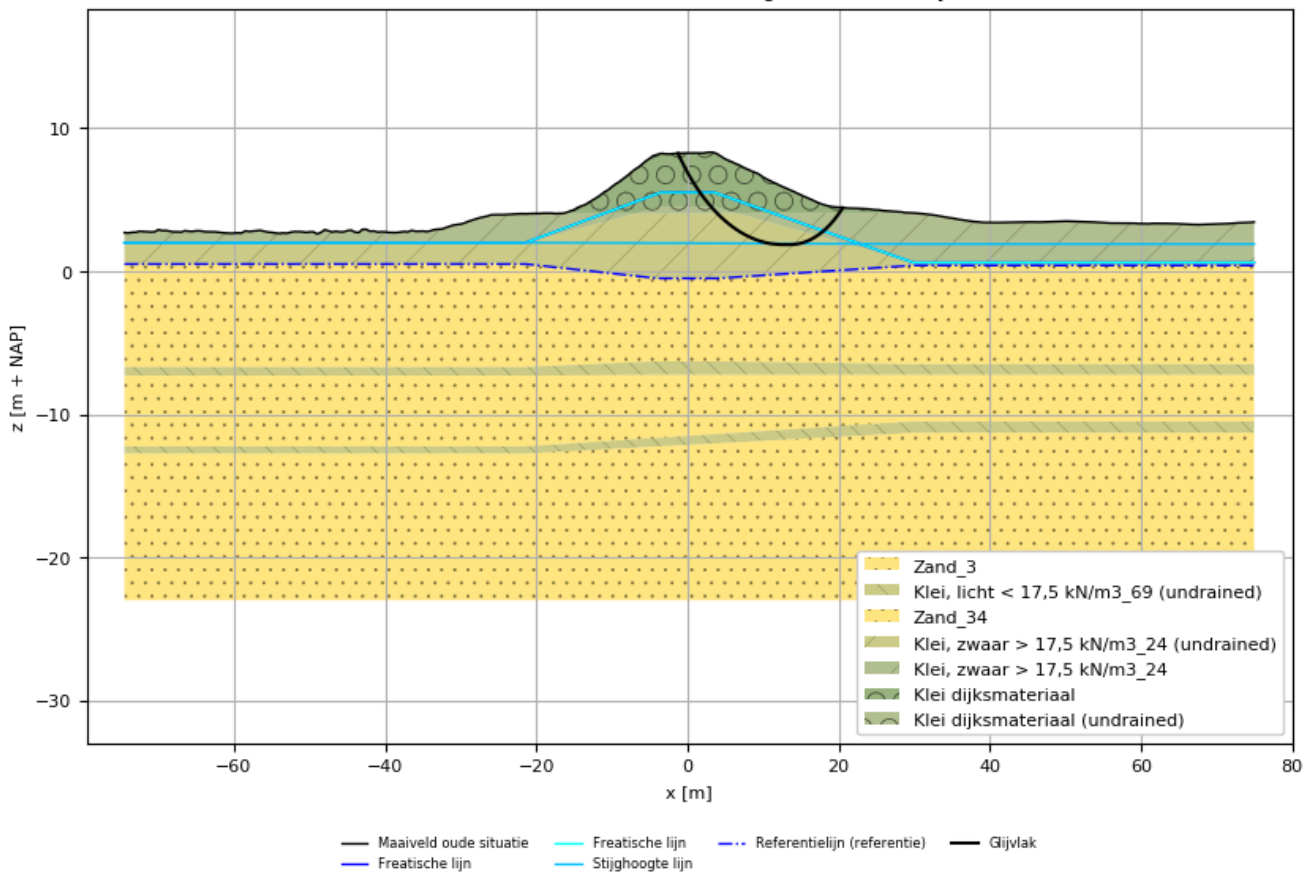


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_255+000.stix
 DWP 255.0, Fase 3: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 2.19

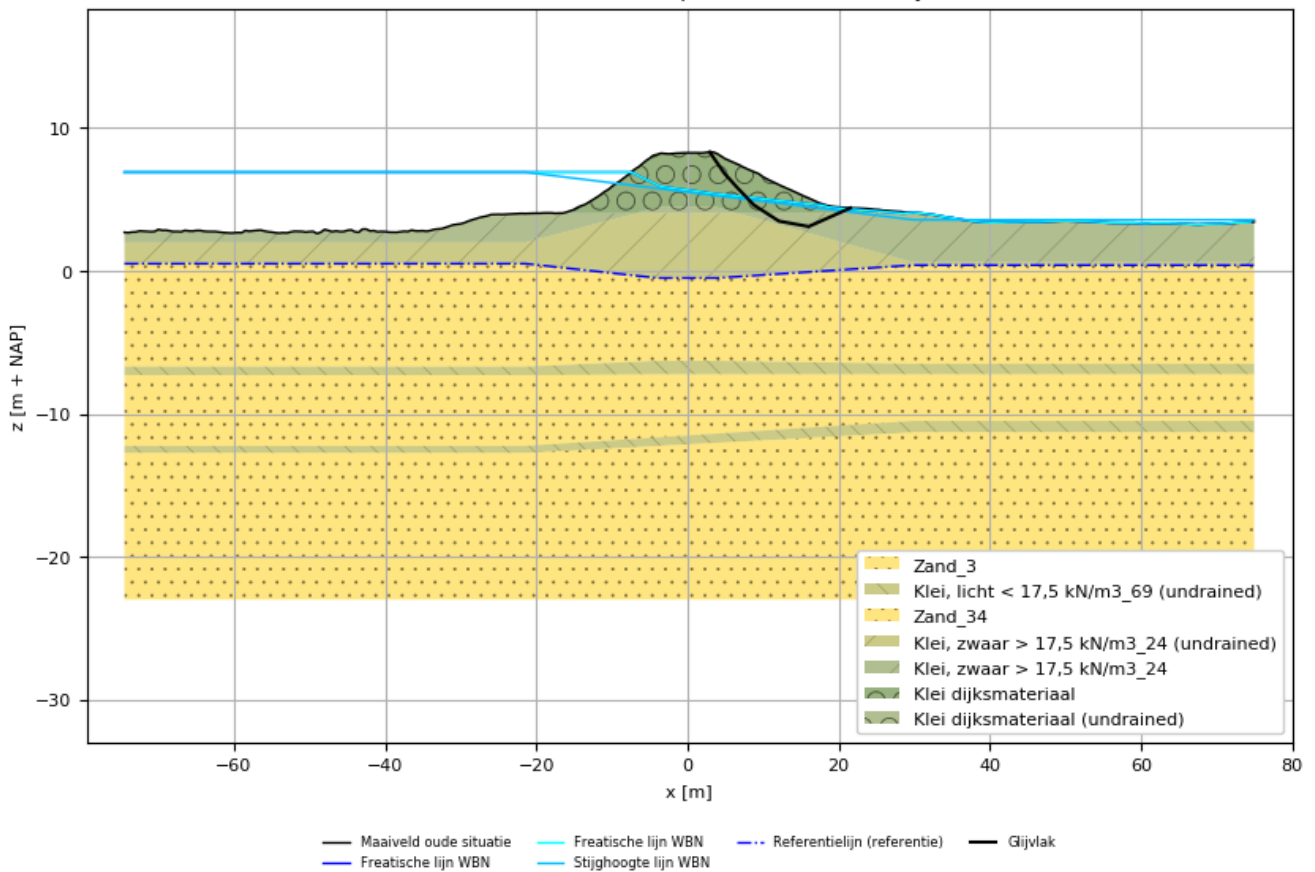


Bestandsnaam: STBI_255+000_ExtremeNeerslag.stix
 DWP 255.0, Fase 3: Extreme neerslag, factor of safety: 1.96

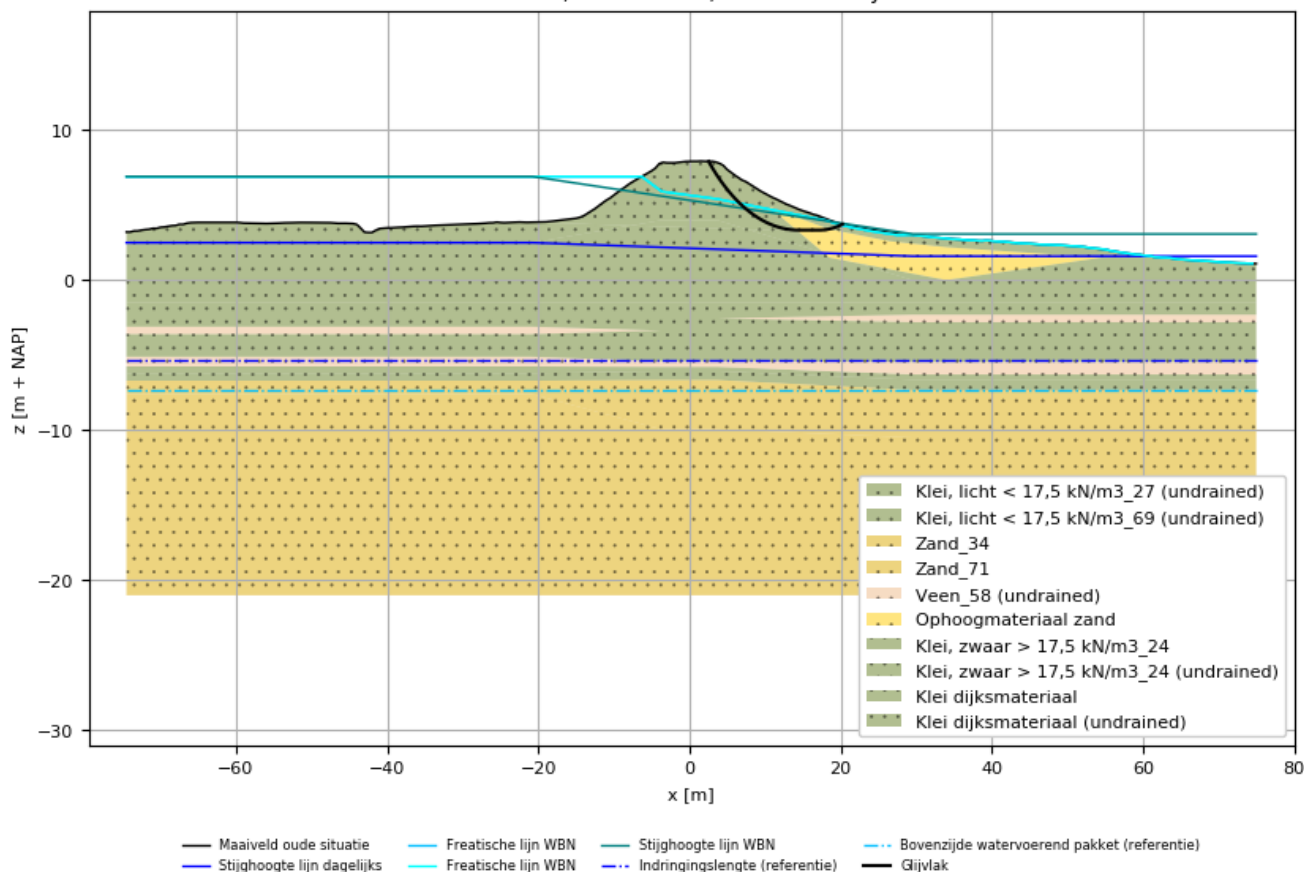


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_255+000_Spencer.stix
 DWP 255.0, Fase 3: WBN Spencer, factor of safety: 1.83

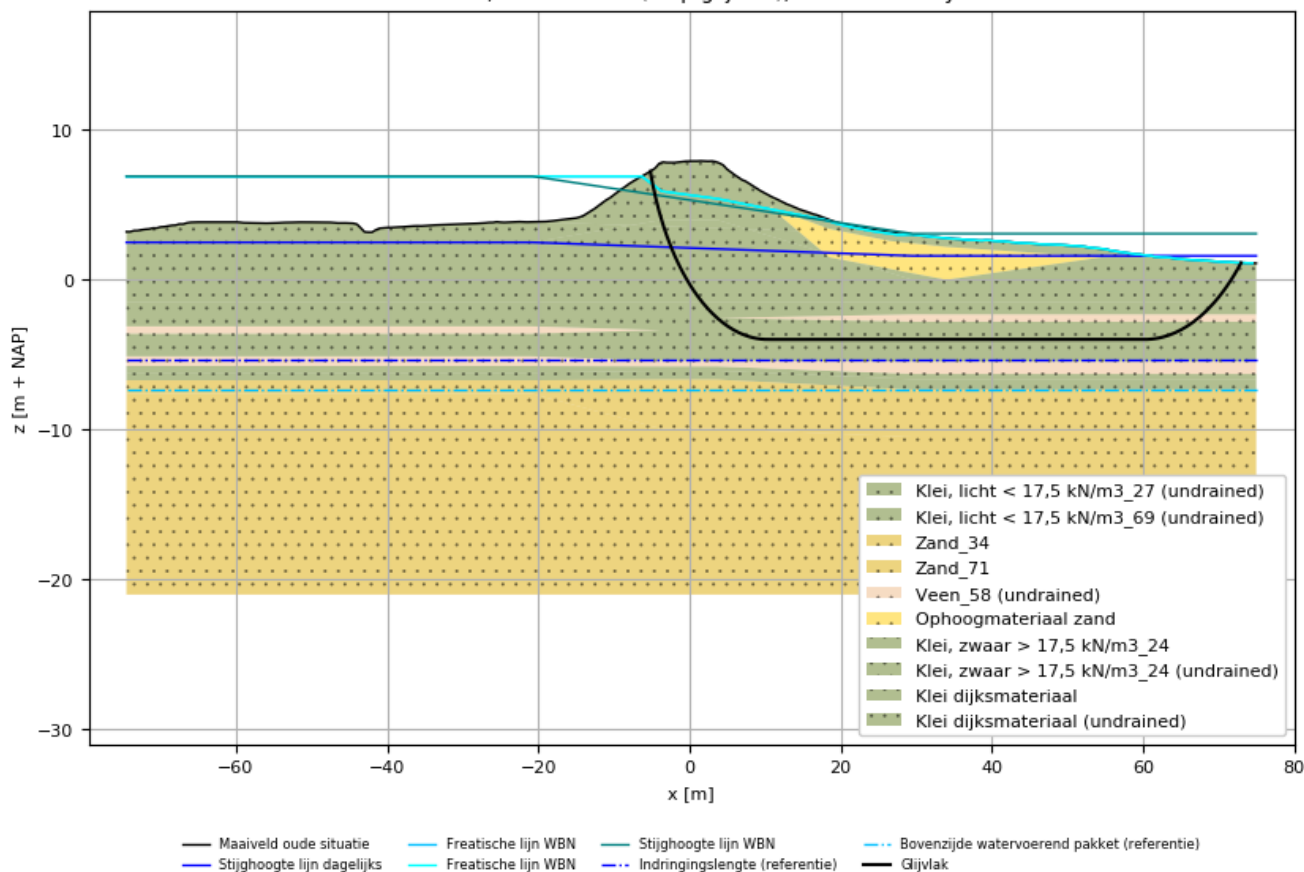


Bestandsnaam: STBI_265+000.stix
 DWP 265.0, Fase 2: WBN, factor of safety: 1.79

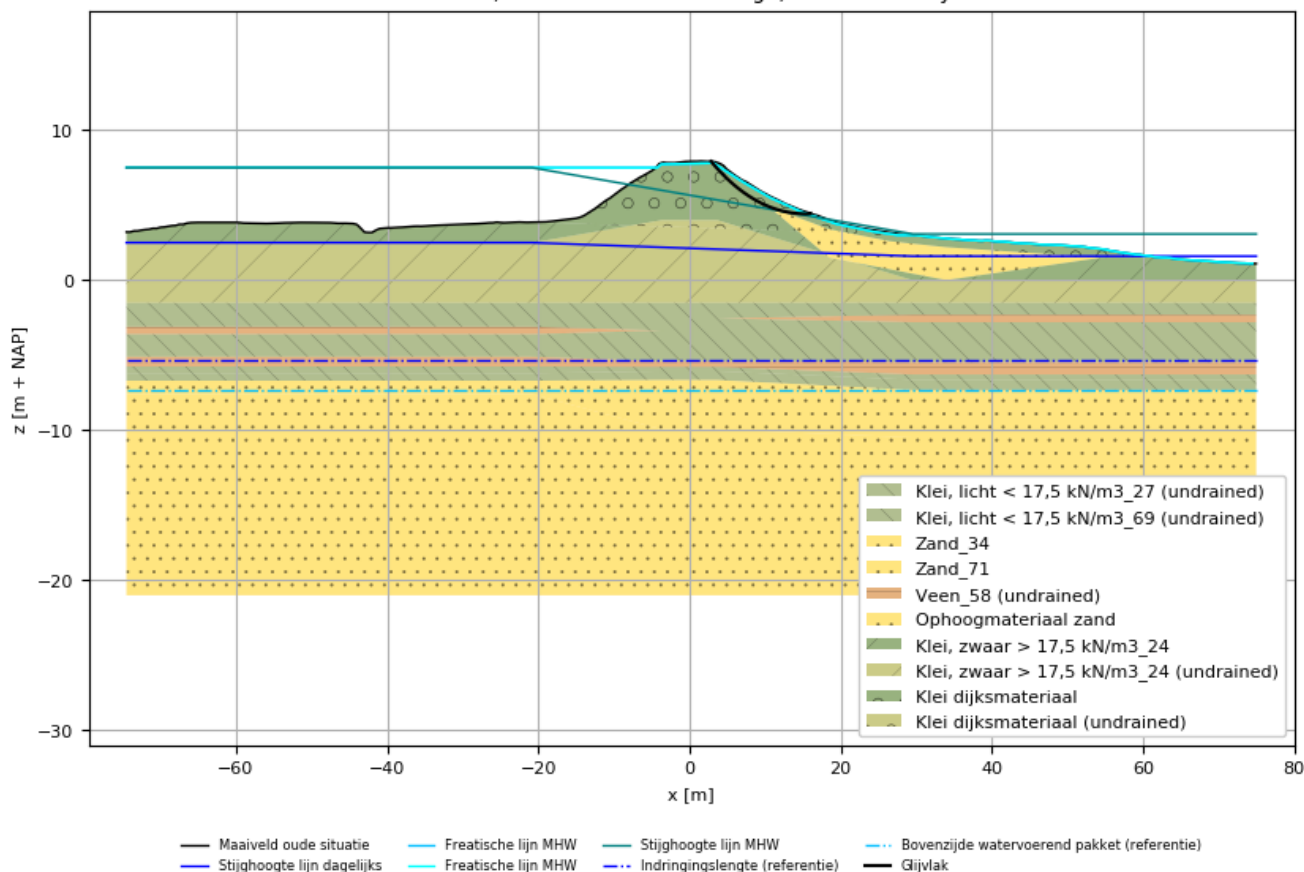


Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_265+000.stix
 DWP 265.0, Fase 3: WBN (diep glijvlak), factor of safety: 2.08

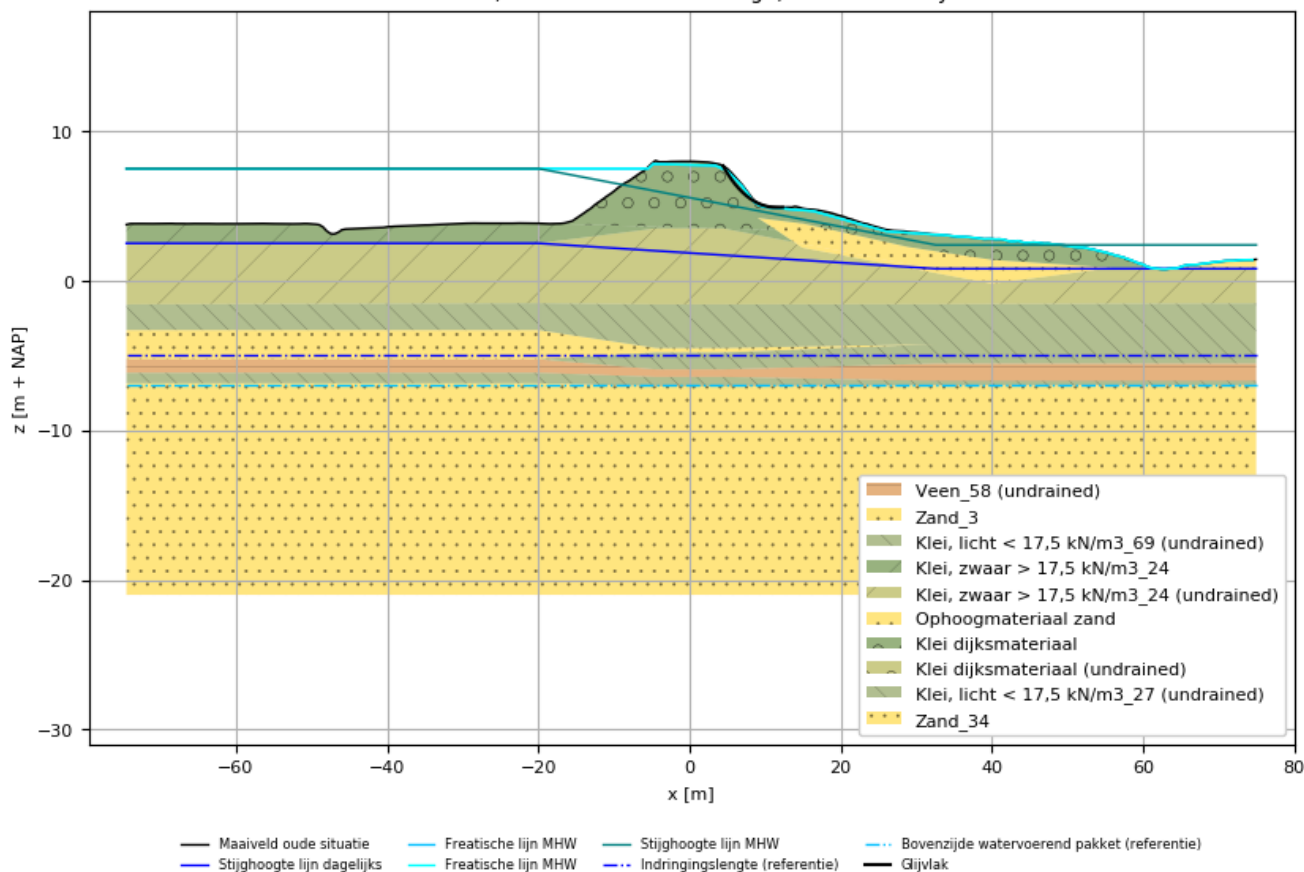


Bestandsnaam: STBI_265+000_verzadigd.stix
 DWP 265.0, Fase 3: MHW + verzadigd, factor of safety: 1.28



Generated by REAL2.0 on 18-12-2020

Bestandsnaam: STBI_267+000_verzadigd.stix
 DWP 267.0, Fase 3: WBN + verzadigd, factor of safety: 0.71



M Schematiseringsfactor piping

Bepaling verschil per scenario ten behoeve van bepaling schematiseringsfactor

Opgesteld door: GBN

Datum: 21-10-2020

Versie: 0.5

Opbarsten											
Scenario	Maaiveld [m NAP]	Deklaag [m]	Waterstand [m NAP]	Stijghoogte Binnenteen [m t.o.v. NAP]	Y_sat [kN/m ³]	Ywater [kN/m ³]	▲φ c,u [m]	▲φ_ob [m]	Fup [-]	Vershil [-]	
Basis scenario DP 204	2,15	7,05	7,45	7,45	17,09	9,81	5,23		2,60	1,02	0,00
Scenario 1 Dikte deklaag -0,5 m	7,50	6,55	7,45	7,45	17,09	9,81	4,86		3,60	0,95	-0,07
Scenario 2 Stijghoogte binnenteen (+0,25 m)	7,50	7,05	7,45	7,45	17,09	9,81	5,23		4,60	0,94	-0,09
Scenario 3 Volumiek gewicht (-1kPa)	7,50	7,05	7,45	7,45	16,09	9,81	4,51		5,60	0,88	-0,14

Heave							
Scenario	Maaiveld [m NAP]	Deklaag [m]	Waterstand [m NAP]	Stijghoogte Binnenteen [m t.o.v. NAP]	i [-]	Fhe [-]	Vershil [-]
Basis scenario DP 227	2,15	8,85	2,15	2,75	0,21	1,43	0,00
Scenario 1 Polderpeil/mv lager (-10%)	1,94	8,85	1,94	3,46	0,23	1,28	-0,16
Scenario 2 Stijghoogte binnenteen (+0,25)	2,15	8,85	2,15	3,71	0,24	1,26	-0,19
Scenario 3 Deklaagdikte kleiner (-0,50 m)	2,15	8,35	2,15	2,75	0,22	1,35	-0,09

Piping																
Scenario	L_aanw [m]	d [m]	D [m]	ΔH [m]	d_70 [μm]	k [m/d]	K* [m ²]	ΔH [m]	Fr	Fs	Fg	Fr*Fs*Fg	ΔHc [m]	L_benodigd [m]	Fpip	Vershil
Basis scenario Dijkpaal 238	105,00	8,95	53,00	5,23	271,00	77,82	1,22E-10	5,23	0,30	0,10	1,11	0,03	2,44	110,10	1,36	0,00
Scenario 1 Deklaag (0,50 m)	105,00	8,45	53,00	5,23	271,00	77,82	1	5,23	0,30	0,10	1,11	0,03	2,44	117,74	1,29	-0,08
Scenario 2 Polderpeil of maaiveld lager (-10%)	105,00	8,95	53,00	5,75	271,00	77,82	2	5,75	0,30	0,10	1,11	0,03	2,44	139,61	1,13	-0,23
Scenario 3 Watervoerend pakket (+20%)	105,00	8,95	63,60	5,23	271,00	77,82	3	5,23	0,30	0,10	1,07	0,03	2,37	117,83	1,32	-0,04
Scenario 4 Kortere kwelweglengte (-10%)	94,50	8,95	53,00	5,23	271,00	77,82	4	5,23	0,30	0,10	1,09	0,03	2,24	113,10	1,25	-0,12

Gele cellen door gebruiker in te vullen!

	waarde	eenheid	bron	toelichting
$1/P_{max}$	10000	[jaar]	OI2014v4	inverse van de maximaal toelaatbare overstromingskans voor het normtraject
Ltraject	32400	[m]	OI2014v4	lengte van het dijktraject waarop de norm van toepassing is
ω	0,24	[--]	defaultwaarde in OI2014v4: 0,24; aanpassen mogelijk	faalkansruimte voor opbarsten, heave en piping
a	0,9	[--]	defaultwaarde in OI2014v4: 0,9 voor bovenrivierengebied, 0,4 elders	fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor opbarsten, heave of piping
b	300	[m]	defaultwaarde in OI2014v4	lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende mechanisme
N	98,20		formule	lengte-effectfactor
$P_{eis, dsn}$	2,44E-07	[1/jaar]	formule	faalkanseis die per doorsnede aan het faalmechanisme wordt gesteld
$\beta_{eis, dsn}$	5,03	[--]	formule	betrouwbaarheidsindex bij $P_{eis, dsn}$
β_{max}	3,72	[--]	formule	betrouwbaarheidsindex bij de maximaal toelaatbare overstromingskans

Opbarsten

x	0,48	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{up}
y	0,46	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{up}
z	0,27	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{up}
γ_{up}	1,78	[--]	formule	veiligheidsfactor voor het deelmechanisme opbarsten

Piping (aangepaste model Sellmeijer)

x	1,04	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{pip}
y	0,37	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{pip}
z	0,43	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{pip}
γ_{pip}	1,35	[--]	formule	veiligheidsfactor voor het deelmechanisme piping

Heave

x	0,37	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{he}
y	0,48	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{he}
z	0,3	[--]	vaste waarde	parameter uit formule veiligheidsfactor γ_{he}
γ_{he}	1,36	[--]	formule	veiligheidsfactor voor het deelmechanisme heave

Gele cellen door gebruiker in te vullen!

Opbarsten bij dikke deklaag >4m (DWP 235)

Ontwerpeis in termen van veiligheidsfactor, γ_{up}	1,78
Betrouwbaarheidsindex bij $P_{eis,dsn}$	5,03
$P_{eis,dsn}$	2,44E-07
Keuze schematiseringsfactor ($\gamma_{b,u}$)	1,05
Eis opbarstfactor in ontwerp (= $\gamma_{up} \cdot \gamma_{b,u}$)	1,87
Corresponderende β	5,14
Corresponderende faalkans	1,40E-07
Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans	1,05E-07

Si: Scenario i
P(Si): kans op voorkomen scenario i
 $\Delta F_{up}(D;Si)$: verschil opbarstfactor tussen basisschematisatie en scenario i

Si	P(Si)	$\Delta F_{up}(D;Si)$	$F_{up}(D; Si)$	β	$P_{sf}(D;Si)$	$P_{sf}(D; Si) \cdot P(Si)$	Omschrijving scenario
1	0,75	0	1,868	5,137	1,40E-07	1,05E-07	Basis scenario DP 204
2	0,05	-0,14	1,732	4,973	3,29E-07	1,65E-08	Scenario 1 Dikte deklaag -0,5 m
3	0,1	-0,16	1,708	4,942	3,86E-07	3,86E-08	Scenario 2 Stijghoogte binnenteen (+0,25 m)
4	0,1	-0,26	1,606	4,808	7,63E-07	7,63E-08	Scenario 3 Volumiek gewicht (-1kPa)
5			1,868	5,137	1,40E-07	0,00E+00	
6			1,868	5,137	1,40E-07	0,00E+00	
7			1,868	5,137	1,40E-07	0,00E+00	
8			1,868	5,137	1,40E-07	0,00E+00	
9			1,868	5,137	1,40E-07	0,00E+00	
10			1,868	5,137	1,40E-07	0,00E+00	
Totale faalkans						2,36E-07	
					dit is	97%	van de toelaatbare kans
							indien dit kleiner dan 100% is, dan is de schematiseringfactor ok
							schematiseringsfactor verhogen tot dit percentage < 100% is

$\Delta F_{up}(D;Si)$ geeft toename van $F_{up}(D)$ tov eis bij aanname van scenario Si

Gele cellen door gebruiker in te vullen!

Heave

Ontwerpeis in termen van veiligheidsfactor, γ_{he}	1,36
Betrouwbaarheidsindex bij $P_{eis,dsn}$	5,03
$P_{eis,dsn}$	2,44E-07
Keuze schematiseringsfactor ($\gamma_{b,he}$)	1,05
Eis veiligheidsfactor in ontwerp (= $\gamma_{he} \cdot \gamma_{b,he}$)	1,42
Corresponderende β	5,13
Corresponderende faalkans	1,43E-07
Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans	1,07E-07

Si: Scenario i
P(Si): kans op voorkomen scenario i
 $opb(D;Si)$: verschil opbarstfactor tussen basisschematisatie en scenario i

Si	P(Si)	$\Delta F_{he}(D;Si)$	$F_{he}(D; Si)$	β	$P_{sf}(D;Si)$	$P_{sf}(D; Si) \cdot P(Si)$	Omschrijving scenario
1	0,75	0	1,424	5,132	1,43E-07	1,07E-07	Basis scenario DP 227
2	0,1	-0,1643348	1,260	4,877	5,39E-07	5,39E-08	Scenario 1 Polderpeil/mv lager (-10%)
3	0,1	-0,1879172	1,236	4,837	6,57E-07	6,57E-08	Scenario 2 Stijghoogte binnenteen (+0.25)
4	0,05	-0,0896057	1,335	4,997	2,91E-07	1,46E-08	Scenario 3 Deklaagdikte kleiner (-0,50 m)
5			1,424	5,132	1,43E-07	0,00E+00	
6			1,424	5,132	1,43E-07	0,00E+00	
7			1,424	5,132	1,43E-07	0,00E+00	
8			1,424	5,132	1,43E-07	0,00E+00	
9			1,424	5,132	1,43E-07	0,00E+00	
10			1,424	5,132	1,43E-07	0,00E+00	
Totale faalkans						2,42E-07	
					dit is	99%	van de toelaatbare kans
							indien dit kleiner dan 100% is, dan is de schematiseringfactor ok
							schematiseringsfactor verhogen tot dit percentage < 100% is

$\Delta F_{he}(D;Si)$ geeft toename van $F_{he}(D)$ tov eis bij aanname van scenario Si

Gele cellen door gebruiker in te vullen!

Piping

Ontwerpeis in termen van veiligheidsfactor, γ_{pip}	1,35
Betrouwbaarheidsindex bij $P_{eis,dsn}$	5,03
$P_{eis,dsn}$	2,44E-07
Keuze schematiseringsfactor ($\gamma_{b,p}$)	1,04
Eis veiligheidsfactor in ontwerp (= $\gamma_{pip} \cdot \gamma_{b,p}$)	1,40
Corresponderende β	5,13
Corresponderende faalkans	1,47E-07
Bijdrage ontwerpschematisering aan faalkans	1,23E-07

Si: Scenario i
P(Si): kans op voorkomen scenario i
 $\Delta F_{opb}(D;Si)$: verschil opbarstfactor tussen basisschematisatie en scenario i

Si	P(Si)	$\Delta F_{pip}(D;Si)$	$F_{pip}(D; Si)$	β	$P_{sf}(D;Si)$	$P_{sf}(D; Si) \cdot P(Si)$	Omschrijving scenario
1	0,84	0,00	1,401	5,128	1,47E-07	1,23E-07	Basis scenario Dijkpaal 238
2	0,05	-0,08	1,325	4,977	3,22E-07	1,61E-08	Scenario 1 Deklaag (0.50 m)
3	0,05	-0,23	1,169	4,638	1,76E-06	8,79E-08	Scenario 2 Polderpeil of maaiveld lager (-10%)
4	0,05	-0,04	1,359	5,046	2,26E-07	1,13E-08	Scenario 3 Watervoerend pakket (+20%)
5	0,01	-0,12	1,286	4,895	4,92E-07	4,92E-09	Scenario 4 Kortere kwelweglengte (-10%)
6			1,401	5,128	1,47E-07	0,00E+00	
7			1,401	5,128	1,47E-07	0,00E+00	
8			1,401	5,128	1,47E-07	0,00E+00	
9			1,401	5,128	1,47E-07	0,00E+00	
10			1,401	5,128	1,47E-07	0,00E+00	
Totale faalkans						2,44E-07	
						dit is	100%

van de toelaatbare kans
indien dit kleiner dan 100% is, dan is de schematiseringfactor ok
schematiseringsfactor verhogen tot dit percentage < 100% is

$\Delta F_{pip}(D;Si)$ geeft toename van $F_{pip}(D)$ tov eis
bij aanname van scenario Si

N Berekeningsresultaten pipinganalyse

Locatie		Locatiespecifieke eigenschappen										Heave en Pijping										Bepaling karakteristieke waarden Pijping																				
Dijkvak	Dijkpaalnr.2	Locatie in profiel	Waterstand zands	Geometrie						te wateroverend pakket				balleerde bodemopbouw de Gemiddeld		Heave				Terugschrijvende erosie				Toetsing STPH				Kwavelengte				Nomraal Ondergrens										
				Maalveid Achterland	Deklaagdikte voorland	Voorland	Dijkbas	Afstand tot rivier	Afstand tot eerste water	Maalveid voorland	Diepte wateroverend pakket	Doortelendheid wateroverend pakket	D70 te WVP	Dikte aquifer	Zand tussenaal	Deklaagdikte	γ gem deklaag	Stijghoogte o.b.v. peilbuisanalyse	Δp_c	Δp_ob_p	Fu	l	Fh	h_exit	K'	ΔhC	F_resista	F_scale	F_gemo	Fp	Opbarsten		Heave	Pijping	toetsing	Kwavelengte	Wet	D70	Doortelendheid aquifer	Vastheid volumiek gewicht cohesieve deklaag	Kwavelengte	Deklaagdikte
9d	203	Binnenleen	7,55	2,45	0,00	0,00	80,00	400,00	70,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	55,10	n.v.t.	4,88	4,83	2,44	1,98	0,33	0,52	2,45	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,68	1,06	0,64	0,68	Voldoet	-48,75	271,00	87,55	80,00	7,45	55,00	2,45			
9d	204	Binnenleen	7,45	2,15	0,00	0,00	80,00	450,00	75,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	55,10	n.v.t.	4,89	5,23	2,74	1,91	0,39	0,77	2,15	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,61	1,02	0,54	0,61	Voldoet	-65,79	271,00	87,55	80,00	7,05	55,70	2,15			
9d	205	Binnenleen	7,46	2,55	0,00	0,00	80,00	500,00	40,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	55,10	n.v.t.	6,05	6,32	2,94	1,94	0,34	0,88	2,55	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,68	1,04	0,61	0,68	Voldoet	-48,33	271,00	87,55	80,00	6,85	55,70	2,55			
9d	206	Binnenleen	7,45	2,75	0,00	0,00	80,00	550,00	215,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	55,10	n.v.t.	7,35	15,46	4,23	1,91	0,37	1,73	2,75	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,68	1,04	0,61	0,68	Voldoet	-48,33	271,00	87,55	80,00	6,85	55,70	2,75			
9d	207	Binnenleen	7,45	2,45	0,00	0,00	80,00	650,00	115,00	5,00	-80,00	45,00	271,00	55,50	0-2 m	6,95	16,63	4,02	4,83	1,57	3,07	0,23	1,33	2,45	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,68	1,64	0,63	0,68	Voldoet	-51,84	271,00	87,55	80,00	6,95	55,50	2,45	
9c	208	Binnenleen	7,45	2,10	0,00	0,00	80,00	650,00	165,00	5,00	-80,00	45,00	271,00	55,00	0-2 m	7,10	16,72	4,02	5,00	1,92	2,67	0,27	1,11	2,10	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,60	1,39	0,78	0,60	Voldoet	-67,57	271,00	87,55	80,00	7,10	55,00	2,10	
9c	209	Binnenleen	7,45	2,95	0,00	0,00	80,00	120,00	650,00	220,00	5,00	-80,00	45,00	271,00	55,00	0-2 m	7,35	16,71	4,02	5,59	1,97	5,21	0,14	2,26	2,95	0,00	2,72	0,31	0,09	1,13	1,28	2,79	1,56	1,28	Voldoet	-29,90	271,00	87,55	120,00	7,35	55,00	2,95
9c	210	Binnenleen	7,50	3,10	1-2	30,00	80,00	650,00	215,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	n.v.t.	8,35	16,72	4,02	5,88	1,67	5,52	0,20	1,50	2,35	0,00	2,54	0,31	0,09	1,11	1,00	1,88	1,05	1,00	Voldoet	-0,62	271,00	87,55	110,00	8,35	54,00	3,10	
9c	211	Binnenleen	7,38	2,10	1-2	30,00	80,00	650,00	150,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	n.v.t.	7,80	16,83	4,02	5,28	1,92	2,75	0,25	1,19	2,10	0,00	2,53	0,31	0,09	1,11	0,84	1,47	0,83	0,84	Voldoet	-25,53	271,00	87,55	110,00	7,80	54,50	2,10	
9c	212	Binnenleen	7,38	2,85	1-2	30,00	80,00	550,00	90,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	n.v.t.	8,35	16,83	3,81	5,80	0,96	6,05	0,11	2,61	2,85	0,00	2,53	0,31	0,09	1,11	1,25	3,24	1,83	1,25	Voldoet	-24,77	271,00	87,55	110,00	8,35	54,50	2,85	
9c	213	Binnenleen	7,33	2,75	1-2	30,00	80,00	650,00	150,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	52,50	0-2 m	10,25	16,74	4,08	7,77	1,37	8,83	0,19	1,55	2,75	0,00	2,53	0,31	0,09	1,12	1,00	3,12	1,92	1,08	Voldoet	-51,72	271,00	87,55	110,00	10,25	52,50	2,75	
9c	214	Binnenleen	7,39	2,75	1-2	30,00	80,00	450,00	40,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	0-2 m	8,75	17,06	3,81	6,47	1,06	6,10	0,12	2,48	2,75	0,00	2,53	0,31	0,09	1,12	1,32	3,27	1,73	1,32	Voldoet	-31,43	271,00	87,55	110,00	8,75	54,50	2,75	
9c	215	Binnenleen	7,38	2,75	1-2	30,00	80,00	450,00	40,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	0-2 m	8,75	16,89	3,81	6,32	1,06	5,96	0,12	2,48	2,75	0,00	2,56	0,31	0,09	1,12	1,32	3,19	1,73	1,32	Voldoet	-31,94	271,00	87,55	110,00	8,75	54,00	2,75	
9c	216	Binnenleen	7,30	3,10	1-2	30,00	80,00	400,00	70,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	n.v.t.	9,10	16,13	4,01	5,12	1,81	6,23	0,22	1,36	2,20	0,00	2,54	0,31	0,09	1,11	1,07	4,42	2,59	1,67	Voldoet	-50,48	271,00	87,55	110,00	9,10	54,00	3,10	
9c	217	Binnenleen	7,34	3,10	1-2	30,00	80,00	400,00	70,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	0-2 m	8,80	16,74	3,81	6,21	0,71	8,75	0,08	3,72	3,10	0,00	2,54	0,31	0,09	1,11	1,58	4,68	2,60	1,58	Voldoet	-46,41	271,00	87,55	110,00	8,80	54,30	3,10	
9c	218	Binnenleen	7,33	2,80	1-2	30,00	80,00	400,00	70,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	53,00	0-2 m	9,80	16,82	4,08	7,01	1,28	5,46	0,13	2,29	2,80	0,00	2,55	0,31	0,09	1,12	1,60	2,92	1,60	1,60	Voldoet	-47,40	271,00	87,55	110,00	9,80	53,00	2,80	
9c	219	Binnenleen	7,33	2,75	1-2	30,00	80,00	400,00	70,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	53,00	0-2 m	9,80	16,82	4,08	7,01	1,28	5,46	0,13	2,29	2,80	0,00	2,55	0,31	0,09	1,12	1,60	2,92	1,60	1,60	Voldoet	-47,40	271,00	87,55	110,00	9,80	53,00	2,80	
9c	220	Binnenleen	7,32	2,20	0,00	0,00	80,00	400,00	400,00	2,40	-80,00	45,00	271,00	53,00	n.v.t.	11,70	16,63	4,08	6,05	1,88	3,21	0,22	1,39	2,20	0,00	1,95	0,31	0,10	1,06	0,78	1,72	0,97	0,78	Voldoet	-29,73	271,00	87,55	110,00	11,70	53,00	2,20	
9a	221	Binnenleen	7,31	2,20	0,00	0,00	80,00	400,00	400,00	2,40	-80,00	45,00	271,00	52,50	0-2 m	11,70	16,39	4,08	6,01	1,88	3,46	0,19	1,55	2,20	0,00	1,95	0,31	0,10	1,06	0,89	1,85	1,08	0,88	Voldoet	-13,54	271,00	87,55	80,00	9,70	52,50	2,20	
9a	222	Binnenleen	7,31	2,35	0,00	0,00	80,00	400,00	400,00	2,40	-80,00	45,00	271,00	52,50	0-2 m	9,85	16,40	4,08	6,51	1,73	3,82	0,18	1,71	2,35	0,00	1,95	0,31	0,10	1,06	0,98	2,04	1,19	0,98	Voldoet	-3,46	271,00	87,55	80,00	9,85	52,50	2,35	
9a	223	Binnenleen	7,29	2,75	0,00	0,00	80,00	300,00	300,00	2,40	-80,00	45,00	271,00	54,50	n.v.t.	10,25	16,39	4,08	4,57	1,86	4,98	0,20	1,45	2,30	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,94	1,43	1,01	0,94	Voldoet	-7,37	271,00	87,55	80,00	10,25	54,50	2,75	
9a	224	Binnenleen	7,28	2,25	0,00	0,00	80,00	250,00	250,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,50	0-2 m	7,75	16,11	4,46	4,98	2,21	2,67	0,21	1,45	2,75	0,00	1,94	0,31	0,10	1,05	0,94	1,21	0,74	0,71	Voldoet	-40,89	271,00	87,55	80,00	7,75	54,50	2,25	
8	225	Binnenleen	7,29	2,20	0,00	0,00	85,00	150,00	150,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	n.v.t.	4,50	15,93	4,01	5,12	1,81	6,23	0,22	1,36	2,20	0,00	2,54	0,31	0,10	1,07	0,79	1,61	0,87	0,78	Voldoet	-29,69	271,00	87,55	85,00	4,50	54,00	2,20	
8	226	Binnenleen	7,26	2,15	0,00	0,00	85,00	100,00	35,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	53,30	n.v.t.	8,85	15,72	4,01	5,33	1,86	2,88	0,21	1,43	2,15	0,00	2,08	0,31	0,10	1,07	0,83	1,54	1,00	0,83	Voldoet	-21,81	271,00	87,55	15,72	85,00	8,85	53,30	2,15
7c	227	Binnenleen	7,26	1,70	0,00	0,00	85,00	100,00	35,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	53,50	>2 m	8,20	16,88	4,05	5,91	2,35	2,51	0,29	1,05	1,70	0,00	2,05	0,31	0,10	1,07	0,86	1,34	0,73	0,66	Voldoet	-54,88	271,00	87,55	16,88	85,00	8,20	53,50	1,70
7c	228	Binnenleen	7,26	1,95	0,00	0,00	85,00	100,00	35,00	3,00	-80,00	45,00	271,00	54,00	>2 m	8,20	16,88	4,05	5,93	2,35	2,51	0,29	1,05	1,70	0,00	2,05	0,31	0,10	1,07	0,86	1,34	0,73	0,66	Voldoet	-54,88	271,00	87,55	16,88	85,00	8,20	53,50	1,70
7c	229	Binnenleen	7,25	1,80	0,00	0,00	85,00	50,00	50,00	3,00	-80,00	40,00	271,00	53,70	>2 m	8,10	17,19	4,05	6,09	2,25	2,70	0,28	1,08	1,80	0,00	2,13	0,31	0,11	1,07	0,71	1,45	0,76	0,71	Voldoet								

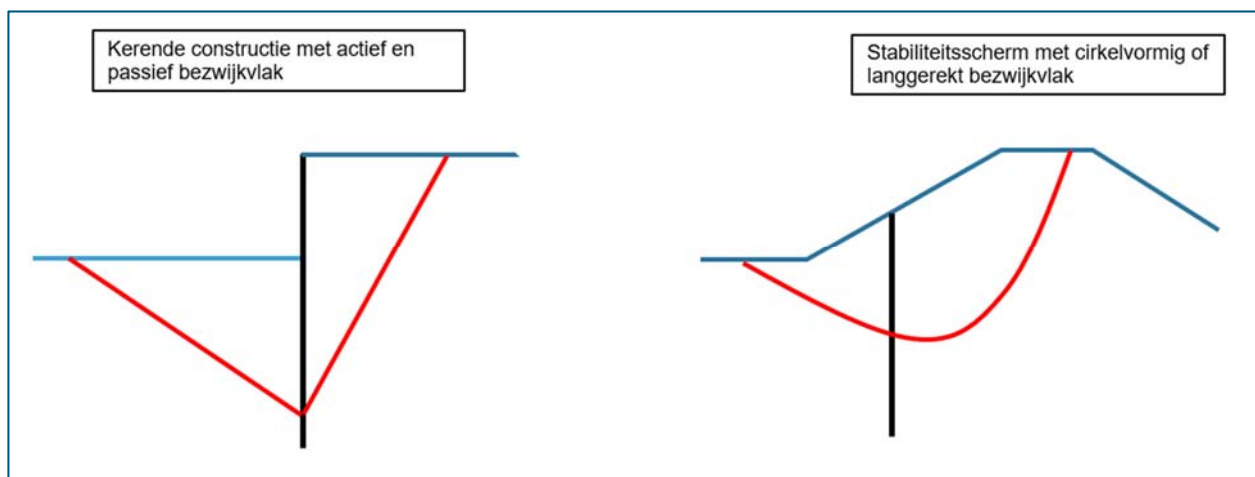
Locatie		Locatiespecifieke eigenschappen										Watervanpak										Heave en Pijping										Bepaling karakteristieke waarden Pijping																		
		Geometrie					1e waterverend pakket					2de waterverend pakket					Effectieve laagdikte					Opbarsten					Toetsing SFPH					Lognormale					Lognormale													
Dijkvak	Dijkpakket	locatie in profiel	Waterstand 2012	Waterspiegel	Maaiwijdte	Deklaagte voorland	Voorland	Dijkbasis	Diepte waterverend pakket	Doortastende d waterverend pakket	D70 te WVP	Dikte aquifer	Zand tussenlaag	Deklaagte b orend	deklaagte c	Rekeninghouden met kwelstroom	Alaand binnen het waterpak	Breedte sloot op maaiwijdte	Breedte sloot op blootdozen	bodemniveau	Taludhelling	H1	H2	H3	Deff	Stijghoogte o.b.v. peilanalyse	Δφcu	Δφ ₀₋₂₀	Fu	Fh	h _{ext}	K*	ΔHC	F _{resist}	scale	F _{geom}	Fp	Opbarsten	Heave	Pijping	total	Kwefwieling teort	D70	Doortastende diep	Voorland cohesieve deklaag	Kwefwieling	Deklaagdikte	Diak sequit	Waterstand benedenzij	
9d	203 Kopsloot	7.55	1.20	2.45	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 n.v.t.			7.45	16.17	Ja	9.00	1.50		0.70	1.50	7.45	5.70	7.45	4.90	4.83	2.44	1.98	0.33	0.92	2.45	1.37E-10	2.12	0.31	0.10	1.07	0.74	1.06	0.64	0.74	Voorket	-39.73	271.00	87.55	16.17	89.00	7.45	55.00	2.45	
9d	204 Langsloot	7.43	1.20	2.15	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.16 n.v.t.			7.35	17.39	Ja	60.00	1.50		0.70	1.50	7.35	5.00	7.35	4.90	5.23	2.74	1.91	0.36	0.77	2.15	1.37E-10	3.11	0.31	0.09	1.16	0.97	1.02	0.54	0.97	Voorket	-5.79	271.00	87.55	17.39	140.00	7.43	55.10	2.15	
9d	205 Langsloot	7.46	1.20	2.46	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.70 n.v.t.			6.85	16.32	Ja	60.00	1.50		0.70	1.50	6.85	5.00	6.85	4.88	4.55	2.04	1.94	0.34	0.88	2.56	1.37E-10	2.93	0.31	0.10	1.06	0.83	1.04	0.61	0.83	Voorket	-26.87	271.00	87.55	16.32	102.00	7.46	55.70	2.46	
9d	206 Langsloot	7.45	1.20	2.70	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 n.v.t.			7.70	16.26	Ja	117.00	1.50		0.70	1.50	7.70	5.70	7.70	4.02	5.06	1.32	3.82	0.27	1.17	2.70	1.37E-10	4.20	0.31	0.08	1.25	1.72	2.05	1.22	1.72	Voorket	90.13	271.00	87.55	16.26	197.00	7.45	55.00	2.70	
9d	207 Langsloot	7.46	1.20	2.46	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 n.v.t.			6.95	16.83	Ja	60.00	1.50		0.70	1.50	6.95	5.00	6.95	4.92	4.61	1.87	1.88	0.34	0.88	2.46	1.37E-10	2.72	0.31	0.09	1.16	0.88	1.04	0.61	0.88	Voorket	-55.13	271.00	87.55	16.83	112.00	7.46	55.00	2.46	
9c	208 Waterpartij	7.45	1.20	2.10	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 > 2 m	7.10	16.72	Ja	7.10	16.72	Ja	0.00	58.00	45.00	2.25	1.50	7.10	7.25	7.25	4.02	5.11	1.92	2.66	0.17	1.13	2.10	1.37E-10	1.40	0.31	0.10	1.05	0.81	1.02	0.79	0.81	Voorket	-60.18	271.00	87.55	16.72	80.00	7.45	55.00	2.10
9c	209 Waterpartij	7.48	1.20	2.16	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 n.v.t.			7.38	16.74	Ja	2.28	1.50	45.00	2.28	1.50	7.38	7.28	7.28	4.98	5.08	1.97	1.78	0.34	0.88	2.16	1.37E-10	2.72	0.31	0.09	1.16	0.87	1.04	0.61	0.87	Voorket	-10.08	271.00	87.55	16.74	120.00	7.48	55.00	2.16	
9b	210 Langsloot	7.38	1.20	2.35	1-2	30.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 n.v.t.			8.35	16.72	Ja	17.00	1.50		0.70	1.50	8.35	6.00	8.35	4.02	5.88	1.67	3.52	0.20	1.50	2.35	1.37E-10	2.73	0.31	0.09	1.13	1.08	1.88	1.05	1.08	Voorket	6.41	271.00	87.55	16.72	120.00	7.38	54.00	2.35	
9b	211 Langsloot	7.38	1.20	2.10	1-2	30.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.50 n.v.t.			7.60	16.83	Ja	17.00	1.50		0.70	1.50	7.60	6.20	7.60	4.02	5.88	1.67	3.52	0.26	1.18	2.30	1.37E-10	2.68	0.31	0.09	1.14	0.95	1.47	0.83	0.95	Voorket	-6.53	271.00	87.55	16.83	127.00	7.38	54.50	2.10	
9b	212 Kopsloot	7.38	1.20	4.05	1-2	30.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.50 n.v.t.			8.35	16.83	Ja	2.00	1.50		0.70	1.50	8.35	6.20	8.35	4.02	5.80	1.17	4.05	0.14	2.13	2.85	1.37E-10	2.97	0.31	0.09	1.12	1.27	2.65	1.49	1.27	Voorket	-5.77	271.00	87.55	16.83	112.00	7.38	54.50	4.05	
9b	214 Kopsloot	7.39	1.20	2.75	1-2	36.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.00 > 2 m			8.75	17.06	Ja	22.00	1.50		0.70	1.50	8.75	6.70	8.75	3.81	6.47	1.06	6.10	0.12	2.48	2.75	1.37E-10	3.08	0.31	0.09	1.16	1.53	3.27	1.73	1.53	Voorket	53.43	271.00	87.55	17.06	138.00	7.39	54.00	2.75	
9b	215 Kopsloot	7.38	1.20	2.75	1-2	36.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.00 > 2 m			8.75	16.99	Ja	30.00	1.50		0.70	1.50	8.75	6.70	8.75	3.81	6.32	1.06	5.96	0.12	2.48	2.75	1.37E-10	3.24	0.31	0.08	1.16	1.61	3.19	1.73	1.61	Voorket	61.94	271.00	87.55	16.99	146.00	7.38	54.00	2.75	
9b	216 Kopsloot	7.38	1.20	3.10	1-2	36.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	50.00 > 2 m			9.10	16.13	Ja	46.00	1.50		0.70	1.50	9.10	6.70	9.10	3.81	5.86	0.91	6.25	0.08	3.48	3.10	1.37E-10	3.47	0.31	0.08	1.20	2.28	3.42	2.28	2.28	Voorket	56.47	271.00	87.55	16.13	158.00	7.38	54.00	3.10	
9b	217 Kopsloot	7.34	1.20	3.10	1-2	30.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.30 > 2 m			8.80	16.74	Ja	105.00	1.50		0.70	1.50	8.80	6.40	8.80	3.81	6.21	0.71	6.75	0.08	3.72	3.10	1.37E-10	3.55	0.31	0.07	1.28	2.64	4.68	2.60	2.84	Voorket	151.40	271.00	87.55	16.74	215.00	7.34	54.00	3.10	
9a	218 Kopsloot	7.28	1.20	2.80	1-2	30.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	53.00 n.v.t.			8.00	16.82	Ja	30.00	1.50		0.70	1.50	8.00	7.00	8.00	4.02	7.01	1.28	6.46	0.13	2.29	2.80	1.37E-10	3.09	0.31	0.08	1.12	1.60	2.92	1.60	1.60	Voorket	47.28	271.00	87.55	16.82	110.00	7.28	54.00	2.80	
9a	219 Kopsloot	7.33	1.20	2.75	1-2	30.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	52.50 > 2 m			10.25	17.24	Ja	0.00	1.50		0.70	1.50	10.25	8.20	10.25	4.08	7.77	1.33	5.83	0.13	2.31	2.75	1.37E-10	3.55	0.31	0.09	1.12	1.70	3.12	1.62	1.70	Voorket	51.71	271.00	87.55	17.24	110.00	7.33	54.00	2.75	
9a	220 Kopsloot	7.28	1.20	2.25	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	53.50 n.v.t.			8.70	16.83	Ja	14.00	1.50		0.70	1.50	8.70	7.00	8.70	4.08	6.65	1.86	2.25	0.21	1.39	2.25	1.37E-10	2.93	0.31	0.10	1.09	0.91	1.72	0.87	0.91	Voorket	-6.73	271.00	87.55	16.83	120.00	7.28	54.00	2.25	
9a	221 Kopsloot	7.31	1.20	2.20	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	52.50 > 2 m			9.70	16.39	Ja	2.00	1.50		0.70	1.50	9.70	6.20	9.70	4.08	6.51	1.88	3.48	0.19	1.55	2.20	1.37E-10	3.29	0.31	0.10	1.06	0.91	1.85	1.08	0.91	Voorket	-11.51	271.00	87.55	16.39	82.00	7.31	54.00	2.20	
9a	224 Langsloot	7.29	1.20	2.75	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.50 > 2 m			8.25	16.24	Ja	15.00	1.50		0.70	1.50	8.25	6.20	8.25	4.46	4.67	1.71	2.67	0.21	1.45	2.75	1.37E-10	3.24	0.31	0.10	1.08	1.08	1.43	1.01	1.08	Voorket	-7.62	271.00	87.55	16.24	85.00	7.29	54.00	2.75	
9a	225 Langsloot	7.29	1.20	2.25	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.50 > 2 m			7.75	16.11	Ja	15.00	1.50		0.70	1.50	7.75	6.20	7.75	4.46	4.98	2.21	2.25	0.29	1.50	2.25	1.37E-10	3.24	0.31	0.10	1.08	0.82	1.21	0.74	0.82	Voorket	-15.89	271.00	87.55	16.11	95.00	7.29	54.00	2.25	
8	228 Kopsloot	7.28	1.20	2.20	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.00 n.v.t.			8.20	16.93	Ja	40.00	1.50		0.70	1.50	8.20	6.70	8.20	4.01	5.12	1.81	2.83	0.22	1.38	2.20	1.37E-10	2.83	0.31	0.09	1.14	1.09	1.52	0.95	1.09	Voorket	-10.31	271.00	87.55	16.93	125.00	7.28	54.00	2.20	
8	227 Kopsloot	7.28	1.20	2.15	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	54.00 n.v.t.			8.85	16.72	Ja	11.00	1.50		0.70	1.50	8.85	6.00	8.85	4.01	5.33	1.86	2.88	0.21	1.43	2.15	1.37E-10	2.27	0.31	0.10	1.09	0.92	1.54	1.00	0.92	Voorket	-15.4	271.00	87.55	16.72	96.00	7.28	53.30	2.15	
8	228 Kopsloot	7.28	1.20	1.70	0.00	0.00	80.00	-50.00	45.00	271.00	53.50 > 2 m			8.20	16.88	Ja	0.00	1.50		0.70	1.50	8.20	6.20	8.20	4.58	5.91	2.35	2.51	0.22																					

O Uitgangspunten damwandberekening verholen inundatiesluis

In deze bijlage worden de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij de beoordeling van de damwand nader toegelicht.

Berekeningsmethode

De buitenwaartse stabiliteit van het dijkgedeelte nabij de inundatiesluis wordt verzorgd door een verankerde damwand (zie Figuur 5—2). Stabiliteitsverhogende langsconstructies in primaire waterkeringen dienen berekend te worden conform de POVM publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies, versie 1.1, 16 oktober 2019 (kortweg ook wel PPL genoemd). In het geval van een stabiliteitsverhogende langsconstructie is de damwand primair bedoeld om de macrostabiliteit van een dijklichaam te verhogen. Het dominante bezwijkpatroon is dan niet het ontstaan van een actieve en passieve wig, maar een cirkelvormig of langgerekt glijvlak. Het verschil tussen beide situaties is hieronder weergegeven in figuur 6.1.



Figuur 6—1: Verschil in bezwijkvlak tussen kerende constructie en stabiliteitsverhogende constructie

De damwand ter plaatse van de inundatiesluis heeft alleen een grondkerende functie en geen stabiliteitsverhogende functie. Deze damwand valt hiermee buiten het kader van de PPL. Op basis van deze beschouwing kan de damwand worden berekend met het rekenprogramma DSHEET-Piling.

Veiligheidsfilosofie

Om het benodigde veiligheidsniveau van de damwand te bepalen wordt eerst de faalkans van het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit bepaald.

$$P_{eis;dsn;STBU} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N \cdot P_{f;inst}} \quad \text{Vergelijking 6.1}$$

Waarin:

$P_{eis;dsn;STBU}$:	Faalkanseis op doorsnedeniveau buitenwaartse macrostabiliteit [1/jaar]
P_{max} :	Faalkanseis op trajectniveau [1/jaar]
ω :	Faalkansruimte voor het betreffende faalmechanisme [-]
N :	Lengte-effectfactor [-]
$P_{f;inst}$:	Kans op falen gegeven een instabiliteit [-]

De damwand is een puntconstructie waarbij de strekkingslengte dusdanig beperkt is dat er geen sprake is van een lengte-effect van de damwand zelf. Volgens “Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken” [26] kan voor de lengte effectfactor voor constructief falen een waarde van 3 worden gehanteerd.

Voor de kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies ($P_{f,inst}$) wordt uitgegaan van een factor 0,1 conform OI2014v4 [27].

De gevonden faalkans per jaar dient omgerekend te worden naar een faalkans voor de levensduur van de damwand. Hiervoor wordt conform Leidraad Kunstwerken [28] een referentieperiode van 50 jaar gehanteerd, een faalruimtefactor van 0,01 en een maximale levensduurfactor van 10.

$$P_{eis;dsn;STBU}[1/50\text{ jaar}] = \frac{P_{eis;dsn;STBU}[1/jaar]}{\xi_c \cdot f_N} \quad \text{Vergelijking 6.2}$$

Waarin:

ξ_c : Faalruimtefactor [-]
 f_N : Levensduurfactor [-]

Tabel 6.2 geeft een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten voor het bepalen van de faalkans voor het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts ter plaatse van de damwand.

Tabel 6-6: Uitgangspunten voor het bepalen van de faalkans voor het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts ter plaatse van de damwand

Naam	Standaard	Eenheid
Maximaal toelaatbare overstromingskans normtraject 44-1	1/10.000	1/jaar
Faalkansbudget voor het faalmechanisme macrostabiliteit	4	%-
Lengte-effectfactor	3	-
Kans op falen gegeven een instabiliteit	0,1	-
Faalruimtefactor	0,01	-
Levensduurfactor	10	-

Na invulling van de formule wordt een faalkanseis op doorsnedeniveau verkregen van $1,33 \times 10^{-4}$ gedurende de levensduur van 50 jaar.

De damwand constructie kan op verschillende manieren falen. Daarom is de faalkans op doorsnedeniveau verder onderverdeeld in faalscenario's conform OI2014v4 [27]. Hieruit kan de geëiste betrouwbaarheidsindex per faalmechanisme worden bepaald.

Tabel 6-7: Bepaling betrouwbaarheidsindex faalmechanismen damwand

Faalscenario	Verdeling [%]	Faalkans [1/50 jaar]	Betrouwbaarheidsindex β [-]
Constructief falen door vloeien wandelementen	40	$5,33 \times 10^{-5}$	3,87
Constructief falen door bezwijken ankerlichaam	40	$5,33 \times 10^{-5}$	4,40
Constructief falen ankerstaaf, ankerbevestiging, gording	10	$1,33 \times 10^{-6}$	4,69
Geotechnisch falen door glijvlakken onder de constructie door	10	$1,33 \times 10^{-6}$	4,69

De geëiste betrouwbaarheidsindex voor constructief falen van de damwand bedraagt 3,87. Deze is juist hoger dan veiligheidsklasse RC2 conform CUR-publicatie 166 Damwandconstructies met een betrouwbaarheidsindex van 3,8. De damwand dient daarom getoetst te worden met een conform veiligheidsklasse RC3 met een betrouwbaarheidsindex van 4,3. De stabiliteitsfactor behorende bij deze betrouwbaarheidsindex bedraagt $\gamma_{n;GEO-1} = 1,7$.

Kenmerken damwandconstructie

De damwandconstructie bestaat uit een damwand in combinatie met groutankers met een hart op hart afstand van 1,05. Achter de damwand bevindt zich, ten behoeve van de drainage, een grindkist op een niveau van NAP + 4,0 m tot NAP + 1,0 m. In de damwand zijn daarom ook drainagesleuven aangebracht met een hart op hart afstand van 6,30 m. De damwand is aan de bovenzijde voorzien van een deksloof met gewapend beton. De eigenschappen van de damwand en de ankers staan beschreven in onderstaande tabellen.

Tabel 6-8: Eigenschappen damwand nabij verholen inundatiesluis

Eigenschappen	Waarde	Eenheid
Type	Hoesch 175	-
Staalkwaliteit [S510]	510	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus [E]	2.10×10^{10}	kN/m ²
Traagheidsmoment [I]	4.42×10^{-4}	m ⁴ /m ¹
Weerstandsmoment [W]	2.60×10^{-3}	m ³ /m ¹
Buigstijfheid [EI]	92820	kNm ² /m ¹
Opneembaar elastisch moment [$M_{max;el}$]	1326 / 1021 (met corrosie)	kNm/m ¹
Breedte [b]	0.525	m
Hoogte [h]	0.34	m
Doorsnede	223	cm ² / m ¹
Wanddikte	14	mm
Lengte [L]	17.0	m
Bovenkant damwand	+ 5.0	m tov NAP
Onderkant damwand	-12.0	m tov NAP

Tabel 6-9: Eigenschappen anker

Eigenschappen	Waarde	Eenheid
Type anker	Groutanker	-
Type ankerstang	dywidag	-
Diameter ankerstang [Ø]	32	mm
Elasticiteitsmodulus [E]	2.10 ^E +08	kN/m ²
Maximaal toelaatbare trekkracht [F]	350	kN/m ¹
Diameter groutlichaam [Ø] (niet bekend) Gangbare diameter 0,1 – 0,18	0,1 (aanname)	m
Niveau	+ 3.5	m tov NAP
Helling	45	°
Lengte (niet bekend)	25 (aanname)	m

Corrosie van stalen damwanden wordt meegenomen in de berekening conform de richtlijn “Nieuwe methode bepaling corrosietoetslag bij stalen damwanden in waterkeringen”, 1 december 2015, programmabureau HWBP-2, RWS.

Het traagheids- en weerstandsmoment van de damwand worden gereduceerd, waarbij de volgende waarden zijn gehanteerd:

- 1,4 mm per zijde na 100 jaar, schoon zoet water, onder en boven de waterlijn (CUR-publicatie 166);
- 2,2 mm per zijde na 100 jaar, boven het niveau van vaste grondslag als bodem geroerd is geweest of boven het laagste grondwaterniveau (RWS);
- 1,2 mm per zijde na 100 jaar, niet geroerde bodem onder het laagste grondwaterniveau zonder bodemverontreiniging (RWS).

Voor de damwand ter plaatse van de inundatiesluis geldt een maximale corrosie van 3,6 mm voor beide zijden samen en voor een levensduur van 100 jaar (1,4 mm aan de waterzijde en 2,2 mm aan de grondzijde). Als conservatief uitgangspunt wordt deze waarde toegepast voor de gehele lengte van de damwand.

De damwand is in circa 1986 aangebracht waarbij het zichtjaar 2073 is. Dit is een totale levensduur van 90 jaar. De corrosie bedraagt hiermee $(87/100) \times 3,6 \text{ mm} = 3,2 \text{ mm}$.

De afname van het traagheidsmoment en het weerstandsmoment van de damwand kan lineair met de afname van de wanddikte worden gesteld. Bij een wanddikte van 14 mm wordt de reductiefactor als gevolg van corrosie $(14-3,2)/14 = 0,77$.

Voor het anker wordt een conservatieve corrosie van 2,2 mm per 100 jaar aangehouden. Dit resulteert in een ankerdiameter na corrosie van $32 \text{ mm} - 2 \times 2,2 \text{ mm} \times (87/100) = 28,2 \text{ mm}$ met bijbehorende reductiefactor van 0,77. Dit leidt tot een maximaal toelaatbare trekkracht van $350 \text{ kN/m} \times 0,77 = 270 \text{ kN/m}$

Bodemopbouw

Direct achter de damwand is sondering DP244+120_DKMP2_BUT beschikbaar. Deze sondering is opgenomen in [5]. Op basis van deze sondering is de bodemopbouw geschematiseerd. Deze bodemopbouw is zowel aan de actieve als de passieve kant van de damwand gehanteerd.

Tabel 6-10: Bodemopbouw ter plaatse van damwand

Grondsoort	B.k. laag [m + NAP]	Laagdikte
Toplaag Klei	5,0	1,0
Zand	4,0	5,0
Klei, zandig	-1,0	0,4
Leem	-1,4	0,5
Klei, zandig	-1,9	1,0
Klei, licht	-2,9	2,0
Klei, zandig	-4,9	0,5
Leem	-5,4	0,5
Zand	-5,9	

Waterstanden

Voor de buitenwaterstand is een maatgevende laag waterstand aangehouden NAP +1,5 m op basis van het oorspronkelijke ontwerp. Het waterniveau in de Lek wordt gestuurd bij het stuw- en sluizencomplex Hagestein op een stuwpeil van NAP +3,0 m gehouden conform de betrekkinglijnen voor de Lek [14]. De maatgevend laag waterstand die is aangehouden bij het ontwerp is in dit geval zeer conservatief.

De damwand is voorzien van drainagesleuven (gaten in de damwand) met hierachter een grindkist. Door de drainerende werking van deze voorzieningen is een (groot) waterstandsverschil over de damwand niet mogelijk. Als conservatieve waarde wordt een maximaal verval van 0,5 m gehanteerd.

Verticale draagkracht damwand

Voor de berekening van de rekenwaarde van de maximale verticale draagkracht van de damwand en de toetsing van de UGT volgens 7.6.2.3 van NEN 9997-1 zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 2.
- De stijfheid van de constructie is niet in rekening gebracht. Volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 is voor de factoren ξ_3 en ξ_4 een waarde van 1,39 gehanteerd.
- De conusweerstand aan de lage zijde van de damwand is gereduceerd.
- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren/afmetingen aangehouden;
 - $A_{verf} = 1,495$ m per zijde per m
 - $A_{punt} = 0,0223$ m² per m
 - $\alpha_p = 1,0$
 - $\alpha_s = 0,0042$ (incl. reductiefactor van 0,7 voor trillend inbrengen in zand)
 - $\beta = 1,0$
 - $s = 0,62$
- Bij de draagkrachtberekeningen wordt conform PPL geen negatieve kleef in rekening gebracht.

De berekening is uitgevoerd met het programma D-Foundations, versie 19.1. De berekeningsresultaten zijn opgenomen in bijlage P.

Grondparameters

Voor de damwandberekeningen zijn representatieve waarden voor de relevante grondparameters bepaald aan de hand van interpretatie van het beschikbare grondonderzoek, de voor CUB opgestelde proevenverzameling [11], tabel 2.b van NEN 9997-1 en CUR-publicatie 166.

Tabel 6-11: Karakteristieke waarden grondparameters

Grondsoort	γ_d/γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	δ' [°]	$k_{h,1}$ [kN/m ³]	$k_{h,2}$ [kN/m ³]	$k_{h,3}$ [kN/m ³]
Klei (toplaag)	18/18	22,5	5	15,0	4.0E+03	2.0E+03	8.0E+02
Zand	18/20	30,0	0	20,0	1.2E+04	6.0E+03	3.0E+03
Klei, licht	15,5/15,5	22,5	0	15,0	4.0E+03	2.0E+03	8.0E+02
Zand (pleistoceen)	18/20	32,5	0	21,7	1.6E+04	8.0E+03	4.0E+03

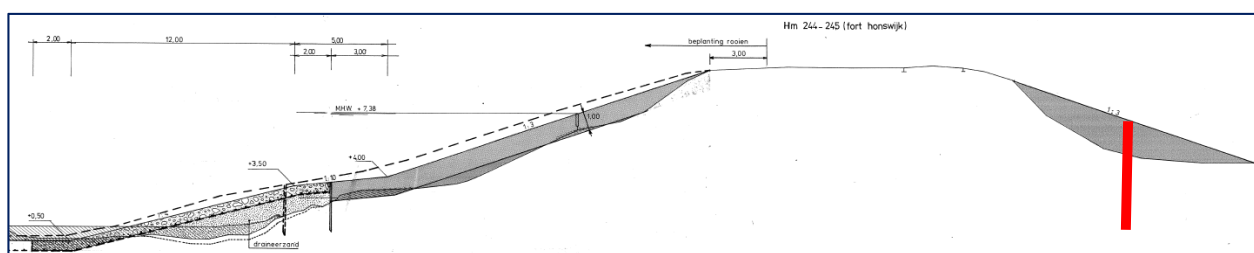
Damwand binnentalud grondwal

Bij de vorige dijkversterking in de jaren 80 is het binnentalud van de grondwal verflauwd. Omdat aan de kopse kant van het Fort een deur aanwezig is, kon hier het talud niet worden verflauwd. Hiervoor is een damwand aangebracht. Deze damwand heeft een grondkerende functie.



Figuur 6—2: Binnentalud grondwal met locatie damwand 2

In voorgaande beoordeling is de binnenwaartse stabiliteit van de grondwal van Fort Honswijk niet beoordeeld. Uit de beschikbare dwarsprofielen in paragraaf 5.2.3 en 5.2.4 en figuur 6—3 blijkt dat deze damwand zich op grote afstand (ca. 20 m) van de buitenkruin van de waterkering bevindt. De breedte van de waterkering is dusdanig groot dat bij een eventueel falen van deze damwand de waterkerende functie niet wordt ondermijnd.



Figuur 6—3: Locatie damwand ter plaatse van binnentalud grondwal

Op basis van deze beschouwing kan de damwand als voldoende worden beoordeeld.

Tabel 6—12: Eigenschappen damwand 2 ter plaatse van binnentalud grondwal

Eigenschappen	Waarde	Eenheid
Type	Hoesch 95	-
Staalkwaliteit (niet bekend)	240 (conservatief)	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus [E]	2.10E ⁺⁰⁸	kN/m ²
Traagheidsmoment [I]	7.13E ⁻⁰³	m ⁴ /m ¹
Weerstandsmoment [W]	7.50E ⁻⁰⁴	m ³ /m ¹
Buigstijfheid [EI]	14973	kNm ² /m ¹
Opneembaar elastisch moment [M _{max;el}]	180	kNm/m ¹
Breedte [b]	0.525	m
Hoogte [h]	0.190	m
Doorsnede	121	cm ² / m ¹
Wand dikte	8	mm
Lengte [L]	7.5	m
Bovenkant damwand	+ 7.0	m tov NAP
Onderkant damwand	- 0.5	m tov NAP

P Damwandberekening verholen inundatiesluis

Report for D-Sheet Piling 19.3

Design of Diaphragm and Sheet Pile Walls
Developed by Deltares

Date of report: 7/22/2020
Time of report: 2:04:31 PM
Report with version: 19.3.2.28346

Date of calculation: 7/22/2020
Time of calculation: 10:18:04 AM
Calculated with version: 19.3.2.28346

File name: Veiligheidsanalyse BWC_Fort Honswijk_Laag water

Project identification: Fort Honswijk
Damwand innundatiesluis
Beoordeling nadere veiligheidsanalyse

Verification according to National Annex of Eurocode 7 in the Netherlands (NEN 9997-1:2016)

1 Summary

1.1 Overview per Stage and Test

Stage nr.	Verification type	Displacement [mm]	Moment [kNm]	Shear force [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. resistance [%]	Vertical balance
1	EC7(NL)-Step 6.3		-55,90	-16,36	0,0	14,9	Upwards
1	EC7(NL)-Step 6.4		-55,14	-16,36	0,0	15,1	Upwards
1	EC7(NL)-Step 6.5	0,0	0,00	0,00	0,0	9,2	Sufficient
1	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,350		0,00	0,00			
2	EC7(NL)-Step 6.3		-47,32	-27,72	16,9	18,7	Not sufficient
2	EC7(NL)-Step 6.4		-40,59	-27,31	16,8	18,7	Not sufficient
2	EC7(NL)-Step 6.5	-8,4	36,33	21,21	11,1	12,1	Not sufficient
2	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,350		49,04	28,64			
3	EC7(NL)-Step 6.3		198,34	87,44	26,0	29,5	Not sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.4		181,57	83,18	26,4	30,3	Not sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.5	17,8	117,39	57,63	16,8	19,4	Not sufficient
3	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,350		158,48	77,80			
4	EC7(NL)-Step 6.3		286,81	113,98	31,4	35,8	Not sufficient
4	EC7(NL)-Step 6.4		264,11	108,53	31,9	36,7	Not sufficient
4	EC7(NL)-Step 6.5	29,8	176,83	79,48	19,9	23,2	Not sufficient
4	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,350		238,72	107,29			
5	EC7(NL)-Step 6.3		400,58	164,28	37,8	42,8	Not sufficient
5	EC7(NL)-Step 6.4		372,53	157,73	38,1	43,6	Not sufficient
5	EC7(NL)-Step 6.5	45,5	234,90	109,20	22,8	26,6	Not sufficient
5	EC7(NL)-Step 6.5 * 1,350		317,12	147,42			
Max		45,5	400,58	164,28	38,1	43,6	Not sufficient

1.2 Anchors and Struts

Stage nr.	Verification type	Anchor/strut Groutanker NAP +3,5 m	
		Force [kN]	State
2	EC7(NL)-Step 6.3	30,00	Elastic
2	EC7(NL)-Step 6.4	30,00	Elastic
2	EC7(NL)-Step 6.5 x 1,350	40,50	Elastic
3	EC7(NL)-Step 6.3	130,48	Elastic
3	EC7(NL)-Step 6.4	124,46	Elastic
3	EC7(NL)-Step 6.5 x 1,350	115,85	Elastic
4	EC7(NL)-Step 6.3	168,03	Elastic
4	EC7(NL)-Step 6.4	160,31	Elastic
4	EC7(NL)-Step 6.5 x 1,350	157,56	Elastic
5	EC7(NL)-Step 6.3	258,79	Elastic
5	EC7(NL)-Step 6.4	249,54	Elastic
5	EC7(NL)-Step 6.5 x 1,350	232,20	Elastic
Max		258,79	

Due to multiplication of the representative value a force bigger than yield or buckling force may be present.

1.3 Overall Stability per Stage

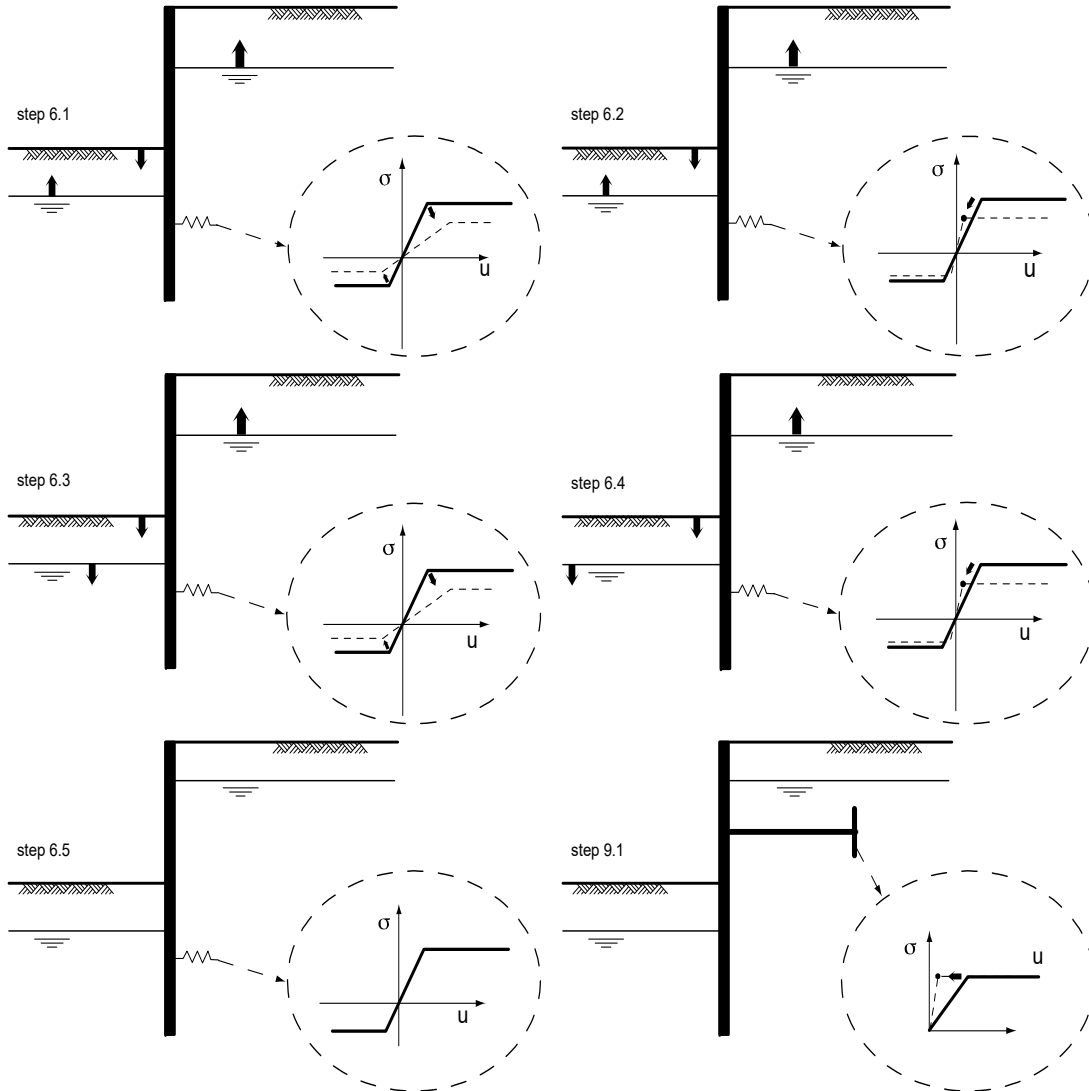
Stage name	Stability factor [-]
Bouwfase	10000,00
Anker met voorspanning	5,88
Dagelijkse situatie NAP +3,0 m	2,85

Stage name	Stability factor [-]
Laagwater NAP +1,5 m	2,38
Laagwater + 20 kN/m ²	2,07

1.4 Warnings

- * Vertical balance: The resultant vertical friction force is directed upward in stage 1 because the friction force on the passive side exceeds that on the active side. This might be prevented by reducing the friction angle Delta on the passive side.

1.5 CUR Verification Steps



End of Report

Report for D-Foundations 19.1

Design and Verification according to Eurocode 7 of Bearing/Tension Piles and Shallow Foundations
Developed by Deltares

Date of report: 22-7-2020
Time of report: 09:58:10
Report with version: 19.1.1.23780

Date of calculation: 22-7-2020
Time of calculation: 09:58:00
Calculated with version: 19.1.1.23780

File name: C:\..\04_Draagkracht\CUB Fort Honswijk - verticale draagkracht damwand

Project identification: CUB Fort Honswijk
Verticale draagkracht damwand Hoesch 175
D-Foundations CUB Fort Honswijk - verticale draagkracht damwand

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Input Data	3
2.1 General Input Data	3
2.2 General Report Data	3
2.3 Application Area Model Bearing Piles	3
2.4 Superstructure	3
2.5 General CPT Data	3
2.5.1 View of CPT's in Foundation Plan	3
2.6 Pile Types	4
2.6.1 Pile type : Hoesch 175	4
2.7 Foundation Plan	4
2.7.1 View of Foundation Plan	5
2.8 Excavation Data	5
2.9 Overruled Parameters	6
2.10 Model Options	6
2.11 Model Options	6
3 Bearing Piles (EC7-NL): Results Preliminary Design, Bearing capacity at fixed pile tip levels	7
3.1 Errors and Warnings	7
3.2 Remarks	7
3.3 Calculation Parameters	7
3.3.1 Pile Factors	7
3.3.2 Pile type : Hoesch 175	7
3.4 Results for pile type : Hoesch 175	8
3.5 Summary Net Bearing Capacity in kN	8

2 Input Data

2.1 General Input Data

Model Bearing Piles (EC7-NL)

2.2 General Report Data

Geotechnical consultant : MIL/JHX
Design engineer superstructure :
Principal :
Title 1 : CUB Fort Honswijk
Title 2 : Verticale draagkracht damwand Hoesch 175
Title 3 : D-Foundations CUB Fort Honswijk - verticale draagkracht damwand
Number of project :
Location of project :

2.3 Application Area Model Bearing Piles

The verifications performed by the model BEARING PILES of D-FOUNDATIONS concern pile foundations on which axial static or quasi-static loads cause pressures in the piles. The calculations of pile forces and pile displacements are based on Cone Penetration Tests. Possible rise of (tension-)piles and horizontal displacements of piles and/or pile groups are not taken into account.

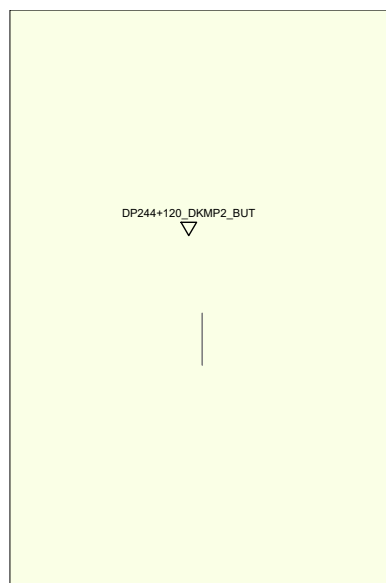
2.4 Superstructure

Rigidity of the superstructure : Non-Rigid

2.5 General CPT Data

Number of CPT's : 1
Timing of CPT's : Install - Excavation - CPT

2.5.1 View of CPT's in Foundation Plan



Legend
| Hoesch 175 (Ed
▽ Hoesch 175 (Mid
CPT

Name CPT	Pile tip level [m R.L.]	Top of pos. friction zone [m R.L.]	Bottom of neg. friction zone [m R.L.]	X-coor- dinate [m]	Y-coor- dinate [m]
DP244+120_..	-12,00	-6,53	6,00	139267,62	442753,21

2.6 Pile Types

2.6.1 Pile type : Hoesch 175

Pile type : User defined (vibrating)

Note: This user defined pile type is considered not to be of a in place formed type.

Hence the characteristic value of the friction angle at the pile shaft (δ) will be taken as $0.75 \cdot \phi$.

Pile type for determination of execution factor α_s in sand/gravel:

User defined

α_s Sand : 0,0042

Evidence to support chosen α_s should be provided.

Pile type for determination of execution factor α_s in clay/loam/peat:

α_s clay/loam/peat according to table 7.f, art. 7.6.2.3 (i)

NEN 9997-1:2016

Note : α_s depends on the soiltype and relative depth.

Pile type for determination of pile class factor α_p :

User defined

α_p : 1,0000

Evidence to support chosen α_p should be provided.

Pile type for use in load/settlement curve :

Materialtype for pile : Steel

Slip layer : None

Pile shape : Section

β (user defined : Pile tip, shape factor) : 1,00

s (user defined : factor for the influence of the shape of the crosssection of the pile base) : 0,62

Pile dimensions :

Smallest side pile tip [m] : 0,015

Largest side pile tip [m] : 1,495

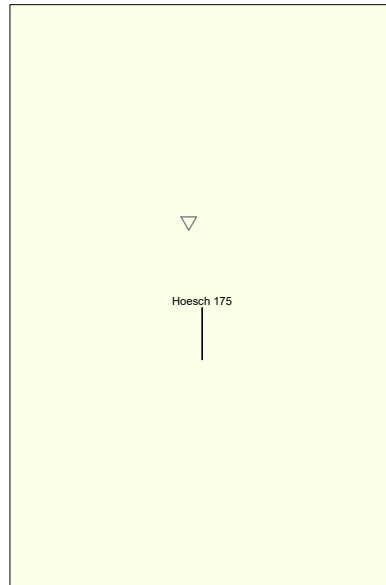
2.7 Foundation Plan

Number of piles : 1

Number of collaborating piles* : 1

* : 0 = not defined, 1 = non rigid superstructure, >1 = rigid superstructure

2.7.1 View of Foundation Plan

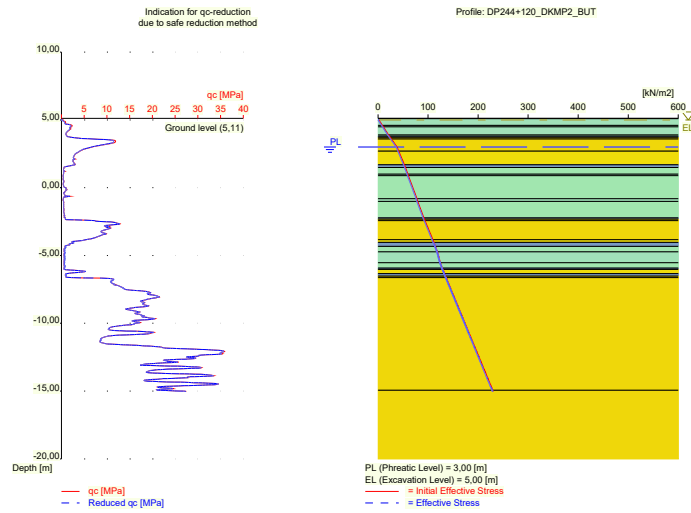


Legend
 | Hoesch 175 (Edg
 ↓ Hoesch 175 (Mid
 ▽ CPT

Pile nr/name	X-coordinate [m]	Y-coordinate [m]	Fc;d (EQU/STR/GEO) [kN]	Fc;d (SLS) [kN]	P0 [kN/m2]	Pile head level [m R.L.]
1: Hoesch 1...	139268,00	442750,00	0,00	0,00	0,00	5,00

2.8 Excavation Data

Excavation level in [m. reference level] : 5,00
 Reduction model : Safe (NEN)



2.9 Overruled Parameters

User defined Factor xi3 [-] :	1,39
User defined Factor xi4 [-] :	1,39
User defined gamma;b [-] :	1,20
User defined gamma;s [-] :	1,20
User defined gamma;f;nk [-] :	1,20

2.10 Model Options

- Suppress pile group (for negative skin friction)
- Do not create intermediate results file
- Use reduction for continuous flight auger piles (standard)
- Suppress the influence of excavations.

2.11 Model Options

Selected pile types :
 -Hoesch 175

Selected profiles :
 -DP244+120_DKMP2_BUT

3 Bearing Piles (EC7-NL): Results Preliminary Design, Bearing capacity at fixed pile tip level

3.1 Errors and Warnings

Warning : The factor ξ_3 (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor ξ_4 (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor γ_{b} (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor γ_{s} (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor $\gamma_{\text{f;nk}}$ (NEN 9997-1:2016 art. 7.3.2.2) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Pile Type Hoesch 175:

Warning : the ratio between the smallest (a) and the largest (b) side of the crosssection of the pile base does not comply with the criterium set in NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(e): $b \leq 1.5a$. Following NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(e) D_{eq} is set to a ($D_{\text{eq}} = a$).

Pile Type Hoesch 175: Warning : The factor Beta (NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(g)) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Pile Type Hoesch 175: Warning : The factor s (NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(h)) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The depth of the CPT's does not meet the requirements as set by NEN 9997-1:2016 art. 3.2.3.

3.2 Remarks

When checking the survey and testing of soil according to NEN 9997-1:2016 art. 3.2.3 section (e), the program uses the provided CPT test level. It does NOT take into account possible different pile tip levels. When different pile tip levels are used in this calculation, the user itself must check for possibly required additional survey and testing of soil.

Note : The calculations performed are based on a single pile for limit state EQU/STR/GEO (= ultimate limit state). Due to the nature of preliminary design, a single pile is always assumed. A possible pileplan is disregarded when using the preliminary design option. Hence a non rigid superstructure is assumed and pile group effects are not considered.

3.3 Calculation Parameters

3.3.1 Pile Factors

γ_{b} (Limit State EQU/STR/GEO, user defined) :	1,20
γ_{s} (Limit State EQU/STR/GEO, user defined) :	1,20
ξ_3 (user defined) :	1,39
ξ_4 (user defined) :	1,39

Note: The excavation(s) is not taken into account in the calculation!

3.3.2 Pile type : Hoesch 175

Pile type : User defined (vibrating)
 Note: This user defined pile type is considered not to be of a in place formed type.
 Hence the characteristic value of the friction angle at the pile shaft (δ) will be taken as $0.75 \cdot \phi$.

Pile type for determination of execution factor α_{s} in sand/gravel:
 User defined
 α_{s} Sand : 0,0042
 Evidence to support chosen α_{s} should be provided.

Pile type for determination of execution factor α_{s} in clay/loam/peat:
 α_{s} clay/loam/peat according to table 7.f, art. 7.6.2.3 (i)
 NEN 9997-1:2016
 Note : α_{s} depends on the soiltype and relative depth.

Pile type for determination of pile class factor alpha_p :

User defined

alpha_p : 1,0000

Evidence to support chosen alpha_p should be provided.

Pile type for use in load/settlement curve :

1

Materialtype for pile :

Steel

Slip layer :

None

Pile shape :

Section

beta (user defined : Pile tip, shape factor) :

1,00

s (user defined : factor for the influence of the shape of the crosssection of the pile base) :

0,62

Pile dimensions :

Smallest side pile tip [m] :

0,015

Largest side pile tip [m] :

1,495

Number/Name CPT	Alpha_s Sand/ Gravel	Alpha_s Clay/Loam Peat	Alpha_p
0:DP244+12..	0,0042	--	1,0000

3.4 Results for pile type : Hoesch 175

Number/Name CPT	Level [m R.L.]	Groundlevel [m R.L.]	Rb;cal;max [kN]	Rs;cal;max [kN]	Rc;cal;max [kN]	Rc;d [kN]	F;nsf;k [kN]	Fnsf;d [kN]
0:DP244...	-12,00	5,11	336	895	1232	738	0	0

3.5 Summary Net Bearing Capacity in kN

Number/Name CPT	Groundlevel [m R.L.]	Level [m R.L.]	Hoesch 175 Rc;net;d [kN]
0:DP244+12..	5,11	-12,00	738,00

End of Report

Report for D-Foundations 19.1

Design and Verification according to Eurocode 7 of Bearing/Tension Piles and Shallow Foundations
Developed by Deltares

Date of report: 24-7-2020
Time of report: 07:45:22
Report with version: 19.1.1.23780

Date of calculation: 24-7-2020
Time of calculation: 07:45:04
Calculated with version: 19.1.1.23780

File name: C:\.\CUB Fort Honswijk - verticale draagkracht damwand (qc reductie)

Project identification: CUB Fort Honswijk
Verticale draagkracht damwand Hoesch 175
D-Foundations CUB Fort Honswijk - verticale draagkracht damwand (qc reductie)

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Input Data	3
2.1 General Input Data	3
2.2 General Report Data	3
2.3 Application Area Model Bearing Piles	3
2.4 Superstructure	3
2.5 General CPT Data	3
2.5.1 View of CPT's in Foundation Plan	3
2.6 Pile Types	4
2.6.1 Pile type : Hoesch 175	4
2.7 Foundation Plan	4
2.7.1 View of Foundation Plan	5
2.8 Excavation Data	5
2.9 Overruled Parameters	6
2.10 Model Options	6
2.11 Model Options	6
3 Bearing Piles (EC7-NL): Results Preliminary Design, Bearing capacity at fixed pile tip levels	7
3.1 Errors and Warnings	7
3.2 Remarks	7
3.3 Calculation Parameters	7
3.3.1 Pile Factors	7
3.3.2 Pile type : Hoesch 175	7
3.4 Results for pile type : Hoesch 175	8
3.5 Summary Net Bearing Capacity in kN	8

2 Input Data

2.1 General Input Data

Model Bearing Piles (EC7-NL)

2.2 General Report Data

Geotechnical consultant : MIL/JHX
Design engineer superstructure :
Principal :
Title 1 : CUB Fort Honswijk
Title 2 : Verticale draagkracht damwand Hoesch 175
Title 3 : D-Foundations CUB Fort Honswijk - verticale draagkracht damwand (qc reductie)
Number of project :
Location of project :

2.3 Application Area Model Bearing Piles

The verifications performed by the model BEARING PILES of D-FOUNDATIONS concern pile foundations on which axial static or quasi-static loads cause pressures in the piles. The calculations of pile forces and pile displacements are based on Cone Penetration Tests. Possible rise of (tension-)piles and horizontal displacements of piles and/or pile groups are not taken into account.

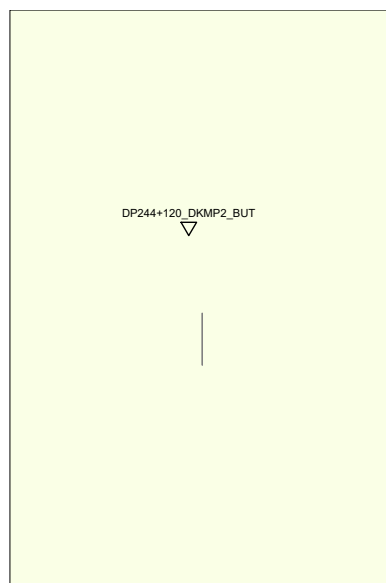
2.4 Superstructure

Rigidity of the superstructure : Non-Rigid

2.5 General CPT Data

Number of CPT's : 1
Timing of CPT's : Install - CPT - Excavation

2.5.1 View of CPT's in Foundation Plan



Legend
| Hoesch 175 (Edt
▽ Hoesch 175 (Mid
CPT

Name CPT	Pile tip level [m R.L.]	Top of pos. friction zone [m R.L.]	Bottom of neg. friction zone [m R.L.]	X-coor- dinate [m]	Y-coor- dinate [m]
DP244+120_..	-12,00	-6,53	6,00	139267,62	442753,21

2.6 Pile Types

2.6.1 Pile type : Hoesch 175

Pile type : User defined (vibrating)

Note: This user defined pile type is considered not to be of a in place formed type.

Hence the characteristic value of the friction angle at the pile shaft (δ) will be taken as $0.75 * \phi$.

Pile type for determination of execution factor α_s in sand/gravel:

User defined

α_s Sand : 0,0042

Evidence to support chosen α_s should be provided.

Pile type for determination of execution factor α_s in clay/loam/peat:

α_s clay/loam/peat according to table 7.f, art. 7.6.2.3 (i)

NEN 9997-1:2016

Note : α_s depends on the soiltype and relative depth.

Pile type for determination of pile class factor α_p :

User defined

α_p : 1,0000

Evidence to support chosen α_p should be provided.

Pile type for use in load/settlement curve :

Materialtype for pile : Steel

Slip layer : None

Pile shape : Section

β (user defined : Pile tip, shape factor) : 1,00

s (user defined : factor for the influence of the shape of the crosssection of the pile base) : 0,62

Pile dimensions :

Smallest side pile tip [m] : 0,015

Largest side pile tip [m] : 1,495

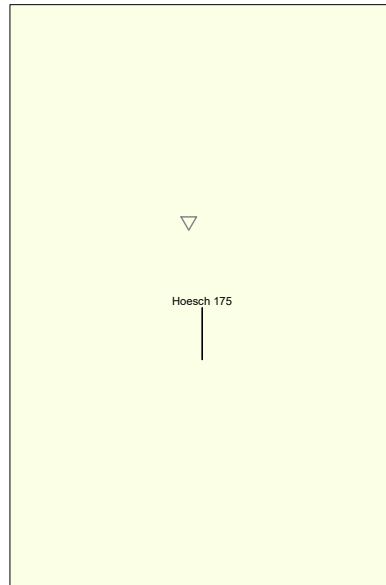
2.7 Foundation Plan

Number of piles : 1

Number of collaborating piles* : 1

* : 0 = not defined, 1 = non rigid superstructure, >1 = rigid superstructure

2.7.1 View of Foundation Plan



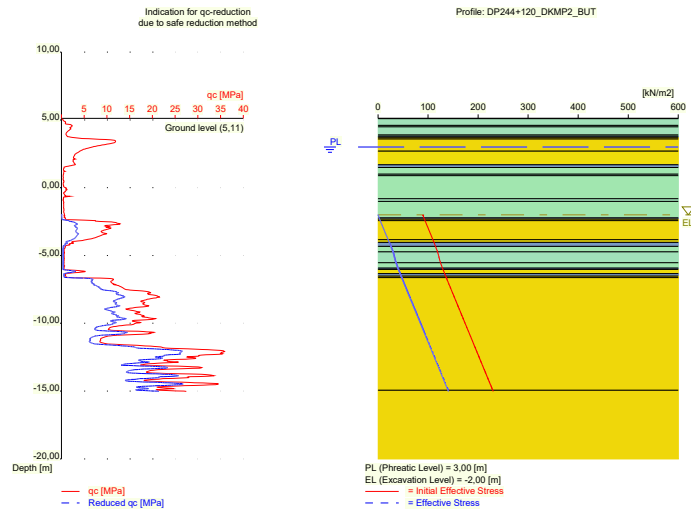
Legend
 | Hoesch 175 (Edg
 ↓ Hoesch 175 (Mid
 ▽ CPT

Pile nr/name	X-coordinate [m]	Y-coordinate [m]	Fc;d (EQU/STR/GEO) [kN]	Fc;d (SLS) [kN]	P0 [kN/m2]	Pile head level [m R.L.]
1: Hoesch 1...	139268,00	442750,00	0,00	0,00	0,00	5,00

2.8 Excavation Data

Excavation level in [m. reference level] :
 Reduction model :

-2,00
 Safe (NEN)



2.9 Overruled Parameters

User defined Factor xi3 [-] :	1,39
User defined Factor xi4 [-] :	1,39
User defined gamma;b [-] :	1,20
User defined gamma;s [-] :	1,20
User defined gamma;f;nk [-] :	1,20

2.10 Model Options

- Suppress pile group (for negative skin friction)
- Do not create intermediate results file
- Use reduction for continuous flight auger piles (standard)
- Use the influence of excavations (standard).

2.11 Model Options

- Selected pile types :
 - Hoesch 175
- Selected profiles :
 - DP244+120_DKMP2_BUT

3 Bearing Piles (EC7-NL): Results Preliminary Design, Bearing capacity at fixed pile tip level

3.1 Errors and Warnings

Warning : The factor ξ_3 (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor ξ_4 (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor γ_{b} (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor γ_{s} (NEN 9997-1:2016) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The factor $\gamma_{f;nk}$ (NEN 9997-1:2016 art. 7.3.2.2) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Pile Type Hoesch 175:

Warning : the ratio between the smallest (a) and the largest (b) side of the crosssection of the pile base does not comply with the criterium set in NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(e): $b \leq 1.5a$. Following NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(e) Deq is set to a ($Deq = a$).

Pile Type Hoesch 175: Warning : The factor Beta (NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(g)) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Pile Type Hoesch 175: Warning : The factor s (NEN 9997-1:2016 art. 7.6.2.3(h)) is user defined. Evidence to support this from the NEN deviating value has to be provided.

Warning : The depth of the CPT's does not meet the requirements as set by NEN 9997-1:2016 art. 3.2.3.

3.2 Remarks

When checking the survey and testing of soil according to NEN 9997-1:2016 art. 3.2.3 section (e), the program uses the provided CPT test level. It does NOT take into account possible different pile tip levels. When different pile tip levels are used in this calculation, the user itself must check for possibly required additional survey and testing of soil.

Note : The calculations performed are based on a single pile for limit state EQU/STR/GEO (= ultimate limit state). Due to the nature of preliminary design, a single pile is always assumed. A possible pileplan is disregarded when using the preliminary design option. Hence a non rigid superstructure is assumed and pile group effects are not considered.

3.3 Calculation Parameters

3.3.1 Pile Factors

γ_{b} (Limit State EQU/STR/GEO, user defined) :	1,20
γ_{s} (Limit State EQU/STR/GEO, user defined) :	1,20
ξ_3 (user defined) :	1,39
ξ_4 (user defined) :	1,39

3.3.2 Pile type : Hoesch 175

Pile type : User defined (vibrating)

Note: This user defined pile type is considered not to be of a in place formed type.

Hence the characteristic value of the friction angle at the pile shaft (δ) will be taken as $0.75 * \phi$.

Pile type for determination of execution factor α_s in sand/gravel:

User defined

α_s Sand : 0,0042

Evidence to support chosen α_s should be provided.

Pile type for determination of execution factor α_s in clay/loam/peat:

α_s clay/loam/peat according to table 7.f, art. 7.6.2.3 (i)

NEN 9997-1:2016

Note : α_s depends on the soiltype and relative depth.

Pile type for determination of pile class factor α_p :

User defined
 alpha_p : 1,0000
 Evidence to support chosen alpha_p should be provided.

Pile type for use in load/settlement curve : 1
 Materialtype for pile : Steel
 Slip layer : None
 Pile shape : Section
 beta (user defined : Pile tip, shape factor) : 1,00
 s (user defined : factor for the influence of the shape of the crosssection of the pile base) : 0,62

Pile dimensions :
 Smallest side pile tip [m] : 0,015
 Largest side pile tip [m] : 1,495

Number/Name CPT	Alpha_s Sand/ Gravel	Alpha_s Clay/Loam Peat	Alpha_p
0:DP244+12..	0,0042	--	1,0000

3.4 Results for pile type : Hoesch 175

Number/Name CPT	Level [m R.L.]	Groundlevel [m R.L.]	Rb;cal;max [kN]	Rs;cal;max [kN]	Rc;cal;max [kN]	Rc;d [kN]	F;nsf;k [kN]	Fnsf;d [kN]
0:DP244...	-12,00	5,11	334	689	1023	613	0	0

3.5 Summary Net Bearing Capacity in kN

Number/Name CPT	Groundlevel [m R.L.]	Level [m R.L.]	Hoesch 175 Rc;net;d [kN]
0:DP244+12..	5,11	-12,00	613,00

End of Report

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

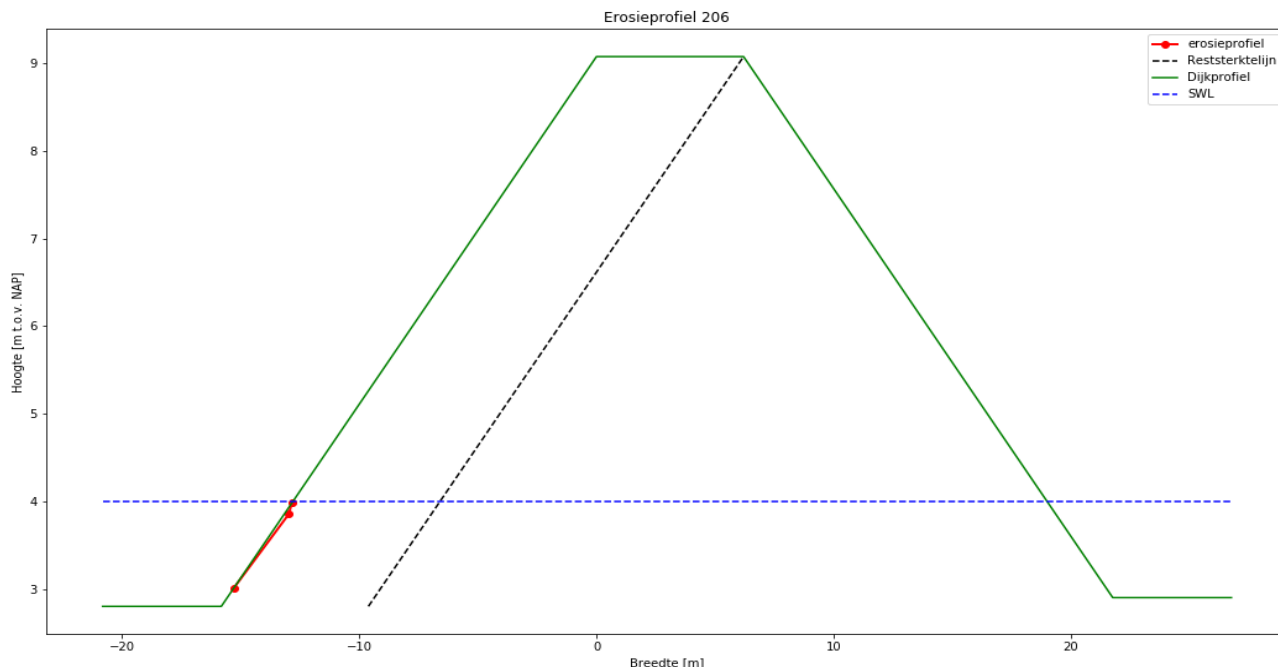
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.58 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.10 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 12.45 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 2.55 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.09 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 0.99 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 2.75 [-]
Br Restbreedte 6.01 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.19 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.07 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

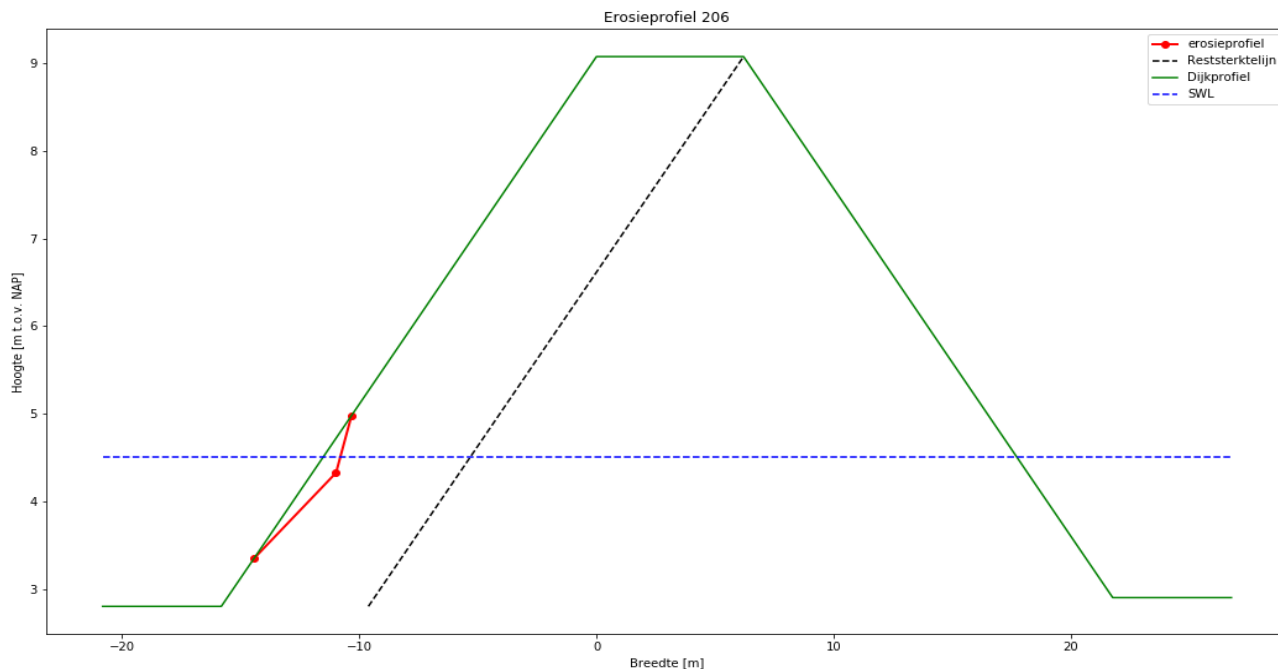
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.70 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.51 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 8.24 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 6.76 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.81 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.15 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.53 [-]
Br Restbreedte 5.21 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.99 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.37 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

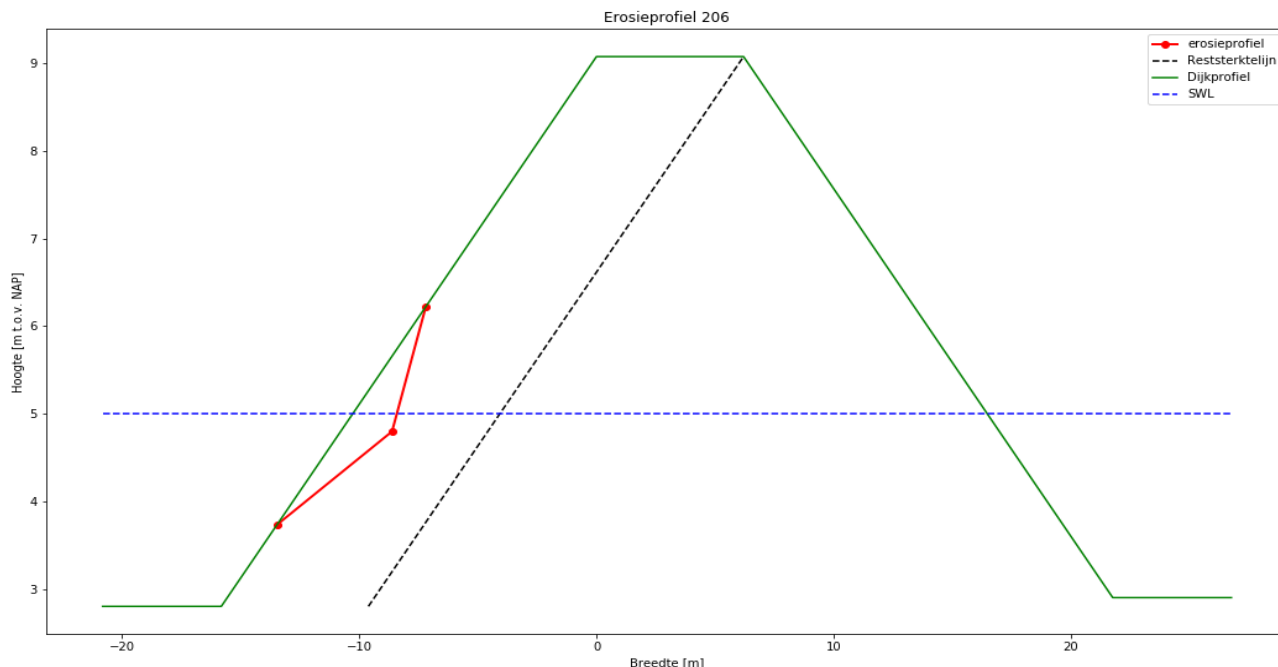
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.81 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.92 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 5.00 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.00 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.70 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.27 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.55 [-]
Br Restbreedte 4.03 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.17 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.80 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

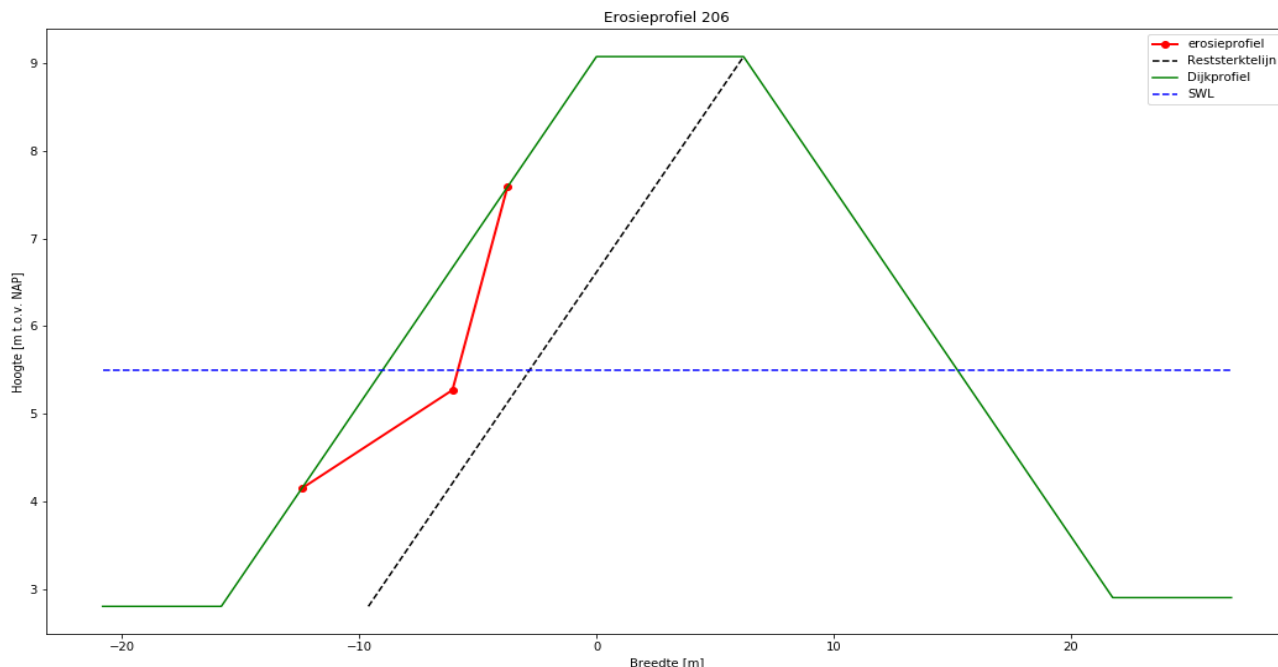
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.92 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.32 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.45 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.55 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 6.05 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.35 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.66 [-]
Br Restbreedte 2.68 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.52 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.30 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

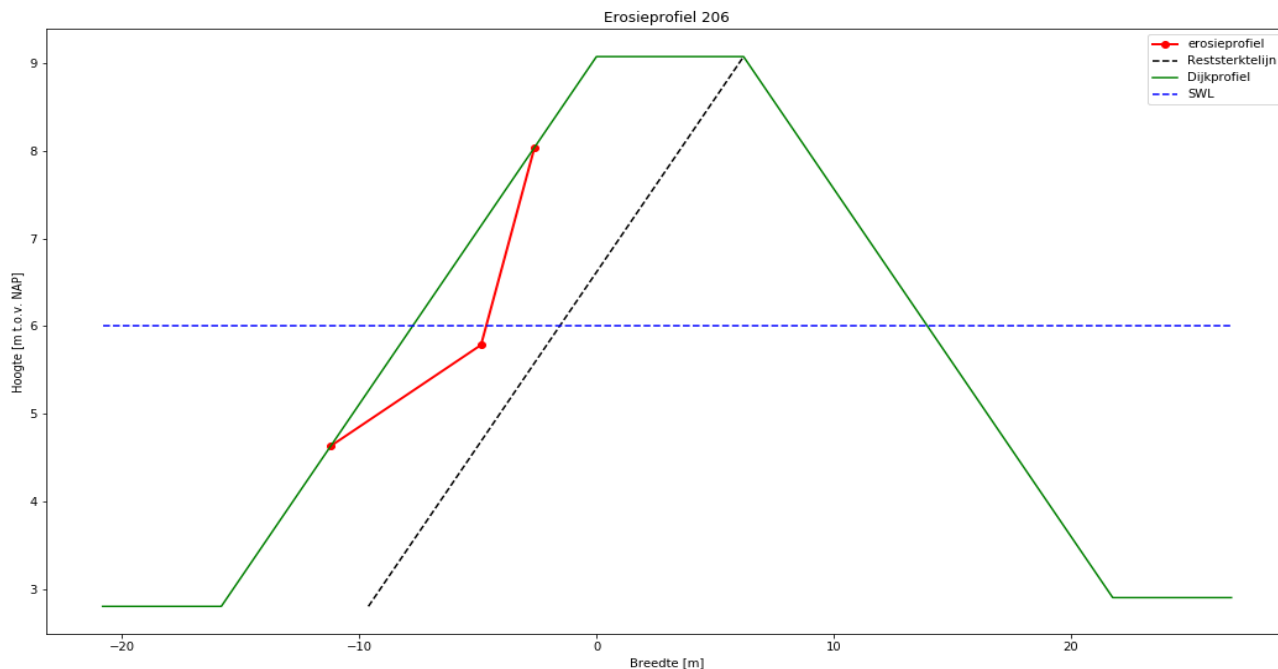
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.86 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.60 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 3.78 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.22 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.84 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.37 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.49 [-]
Br Restbreedte 2.77 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.43 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.26 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

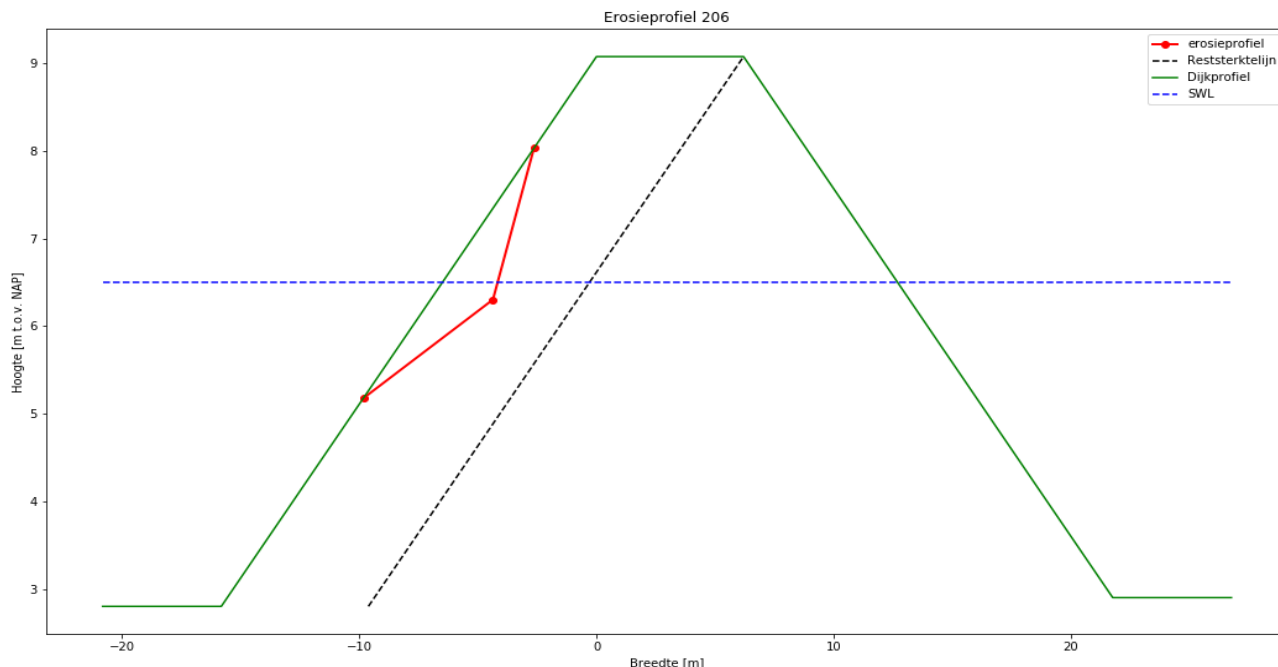
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.79 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.44 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 5.51 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 9.49 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 3.75 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.32 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.85 [-]
Br Restbreedte 3.57 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.63 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.97 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

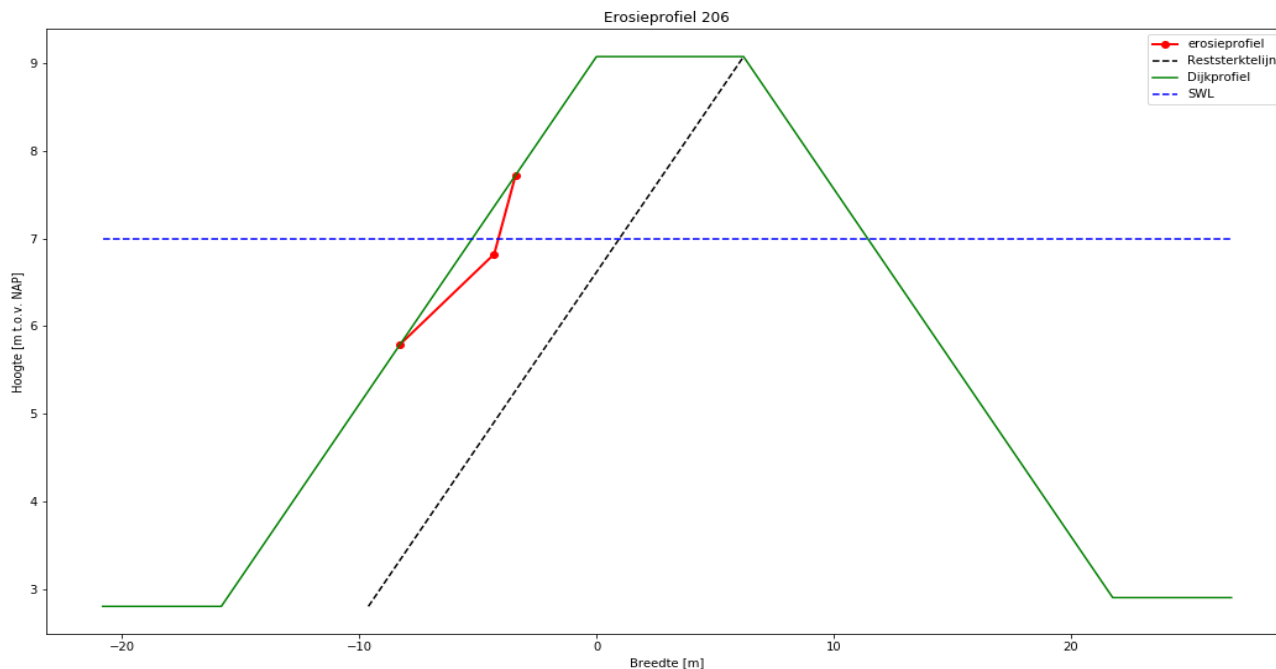
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.71 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.86 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.81 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.19 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.52 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.7 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 7.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 9.075 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.9 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.32 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.21 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.85 [-]
Br Restbreedte 4.83 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.37 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.51 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

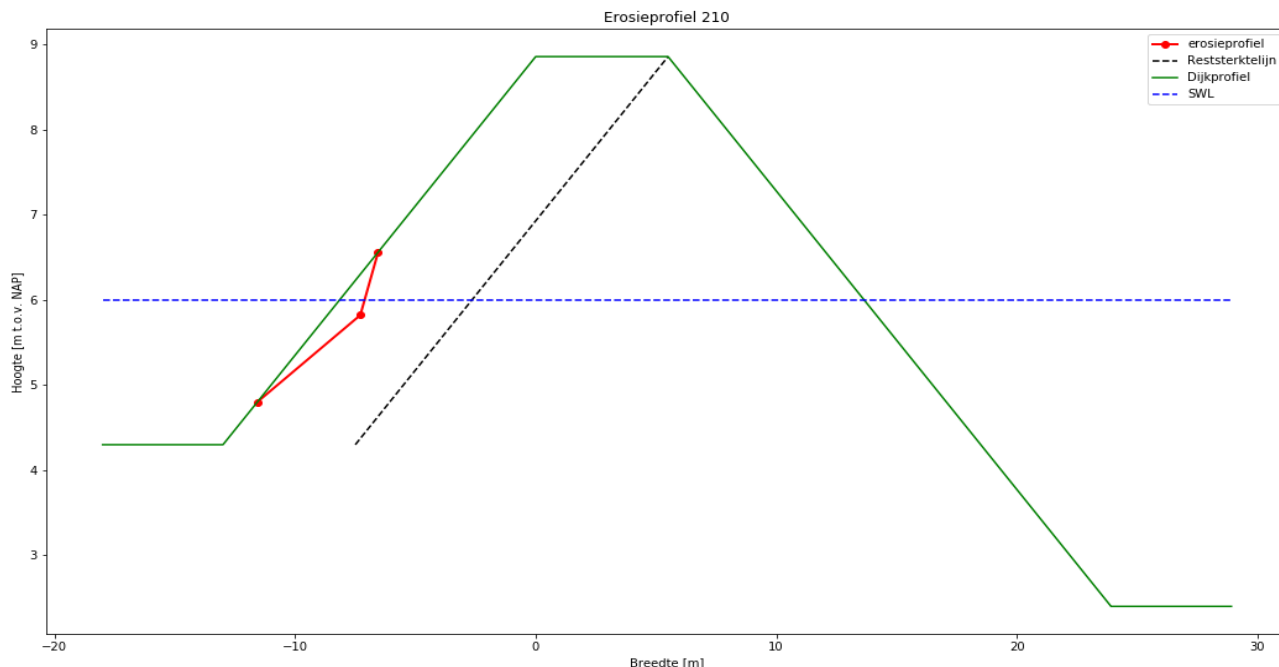
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.71 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.04 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.93 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.07 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.85 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.37 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.86 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.4 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.20 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.20 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.19 [-]
Br Restbreedte 4.13 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.37 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.45 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

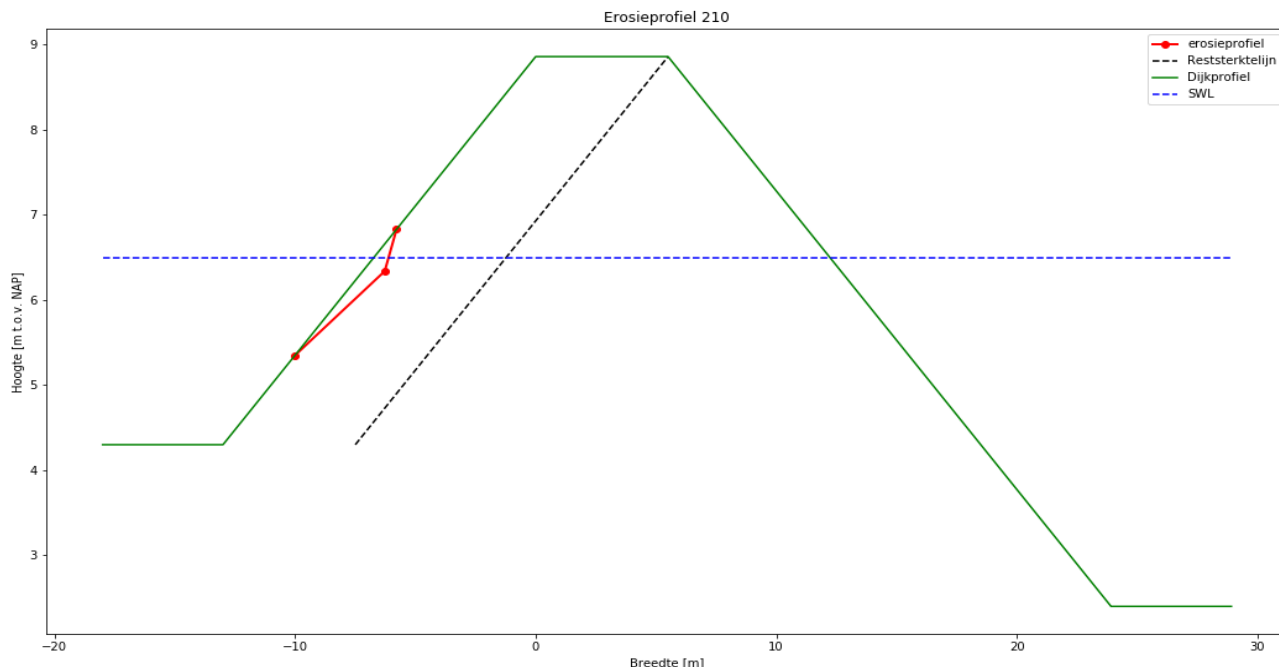
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.64 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.15 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 10.13 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 4.87 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.85 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.37 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.86 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.4 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.68 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.15 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.77 [-]
Br Restbreedte 4.59 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.91 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.30 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

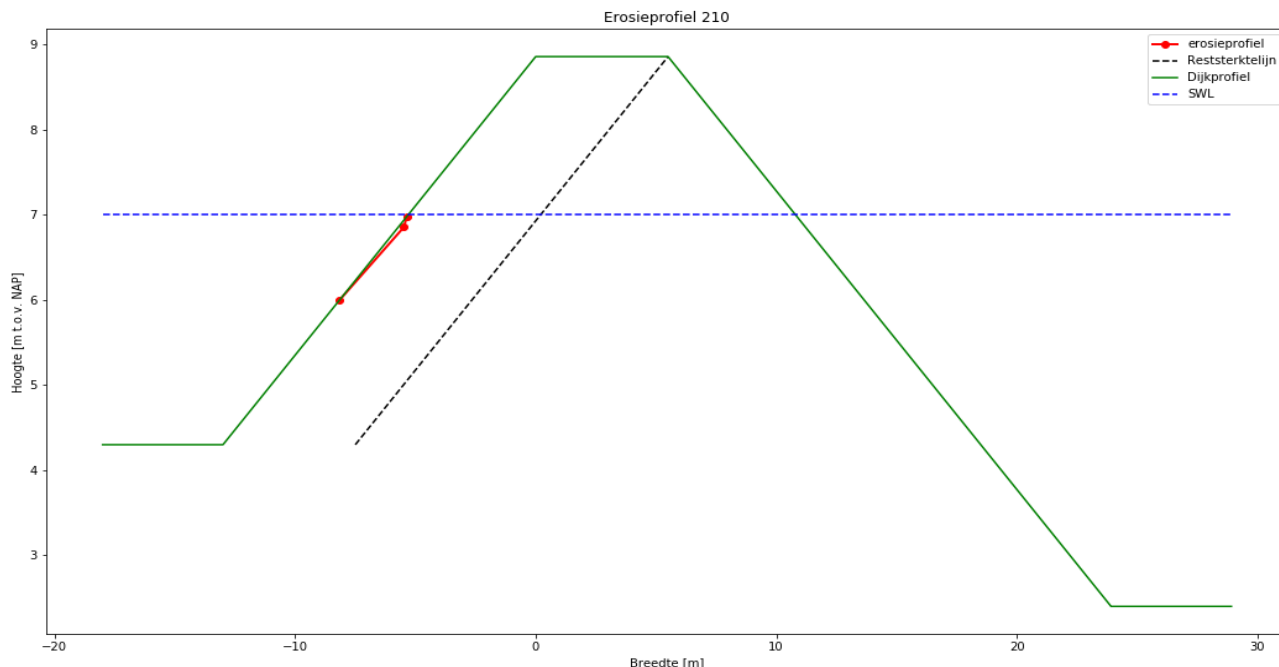
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.58 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.60 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 12.72 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 2.28 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.85 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.37 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 7.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.86 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.4 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.11 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.01 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.12 [-]
Br Restbreedte 5.27 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.23 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.08 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

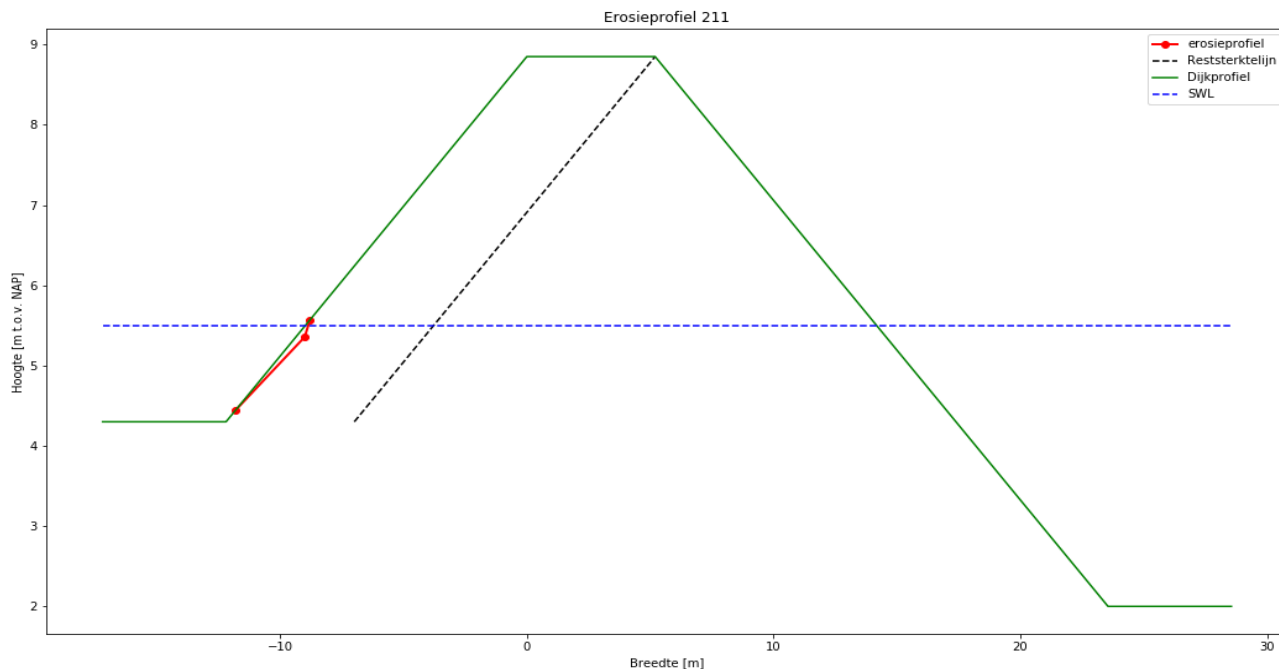
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.57 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.27 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 13.09 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 1.91 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.68 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.85 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.85 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.20 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.05 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.07 [-]
Br Restbreedte 4.84 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.36 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.12 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

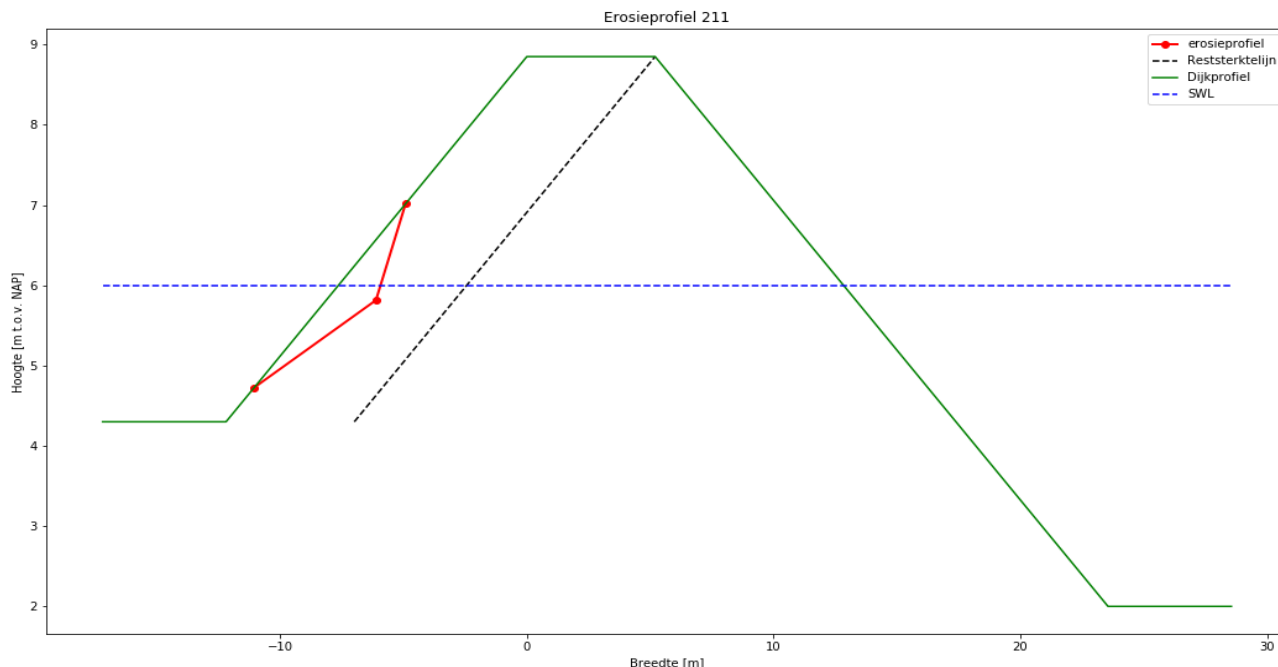
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.74 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.39 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.03 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.97 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.68 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.85 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.85 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.31 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.27 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.53 [-]
Br Restbreedte 3.18 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.02 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.71 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

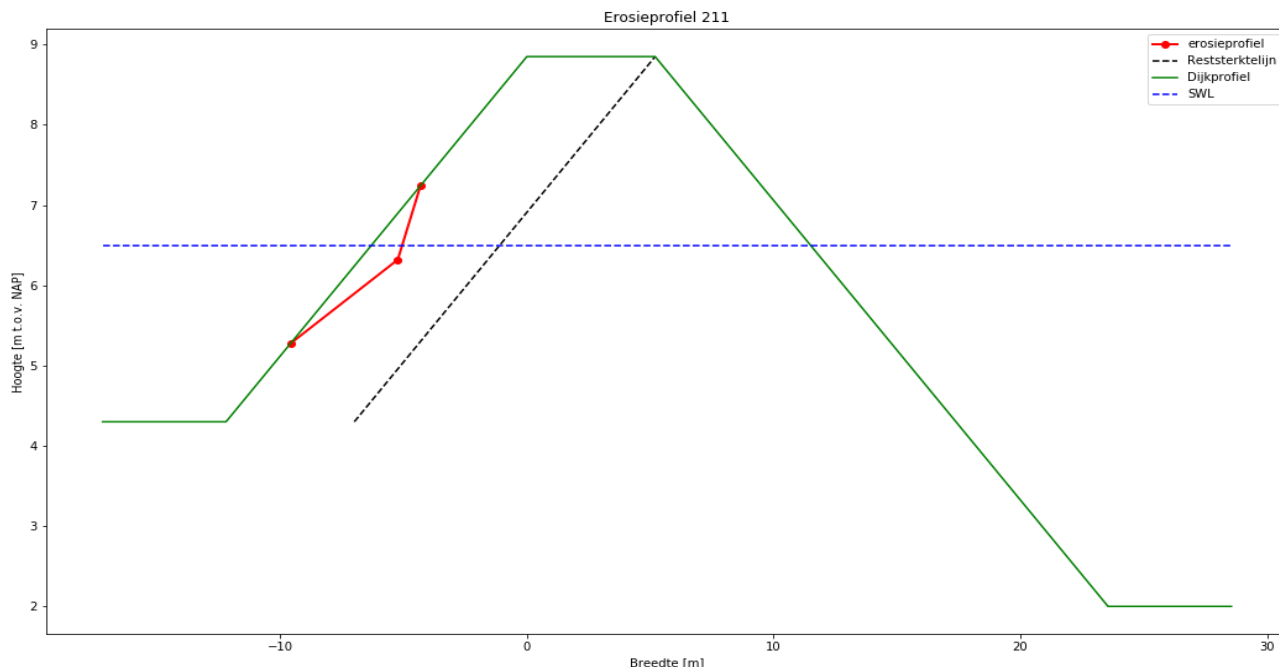
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.72 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.06 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.57 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.43 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.68 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.85 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.85 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.52 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.22 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.16 [-]
Br Restbreedte 3.65 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.55 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.54 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

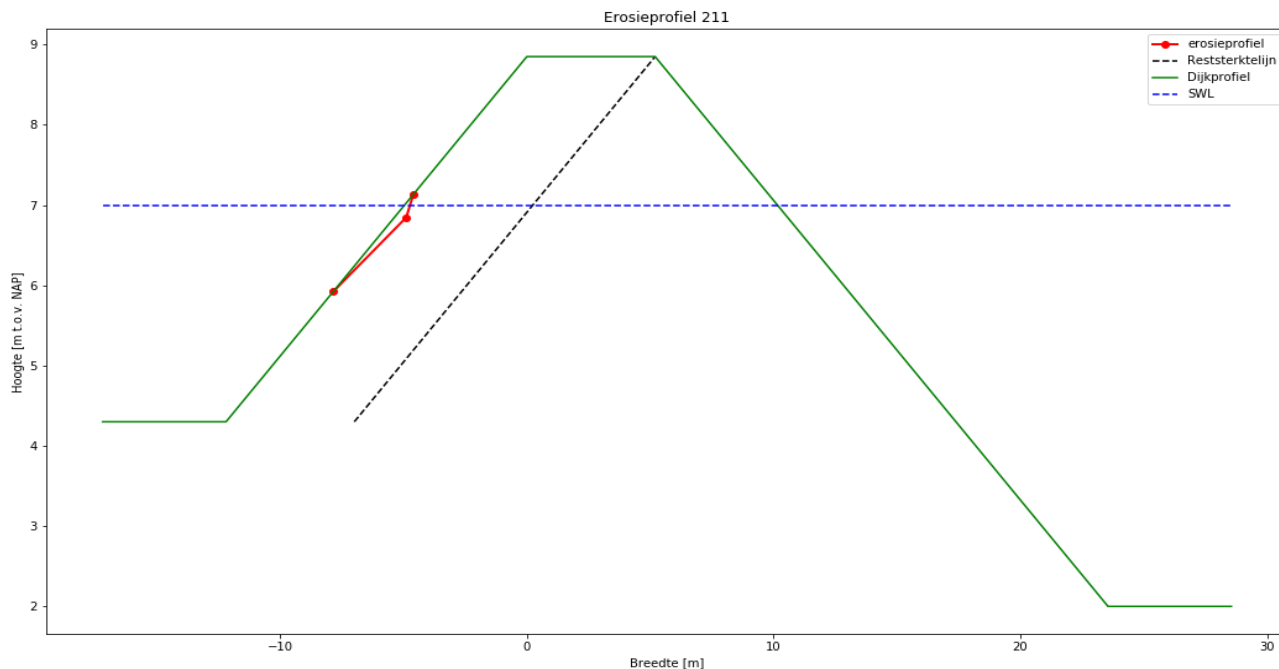
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.61 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.65 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 11.29 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 3.71 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.68 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.85 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 7.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.85 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.2 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 4.3 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.29 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.08 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.20 [-]
Br Restbreedte 4.72 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.48 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.17 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

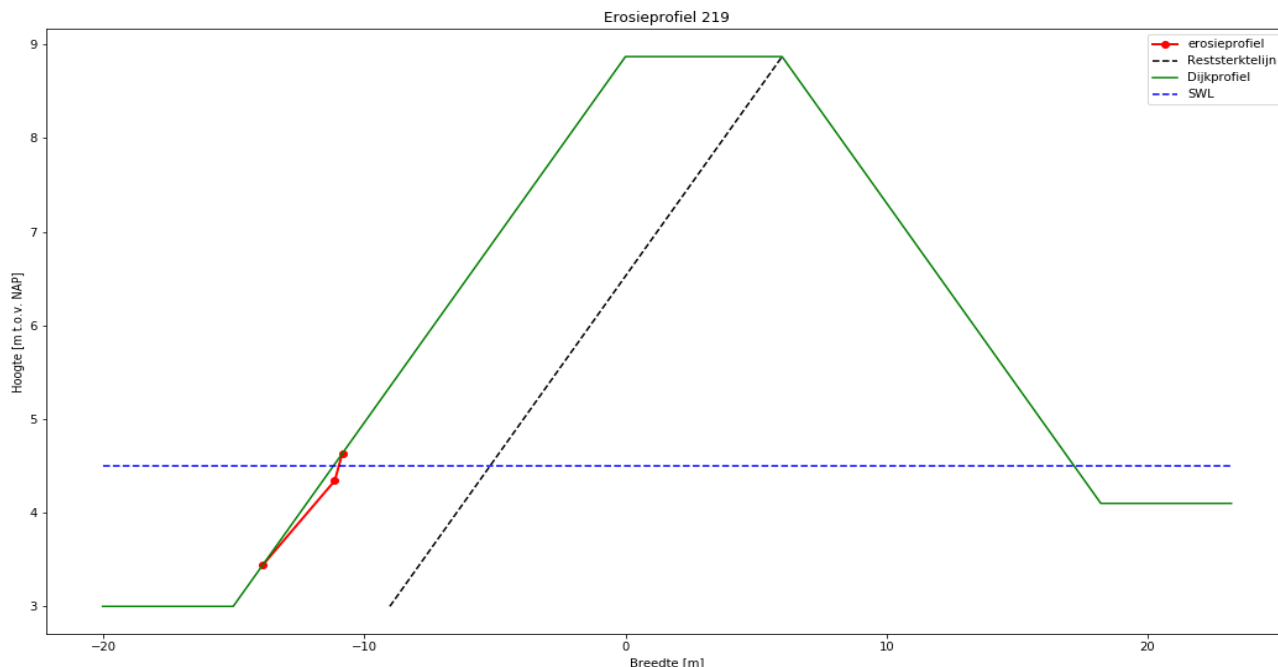
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.63 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.24 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 10.46 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 4.54 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.56 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.07 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.87 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.0 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 4.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.27 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.06 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.06 [-]
Br Restbreedte 5.54 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.46 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.17 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

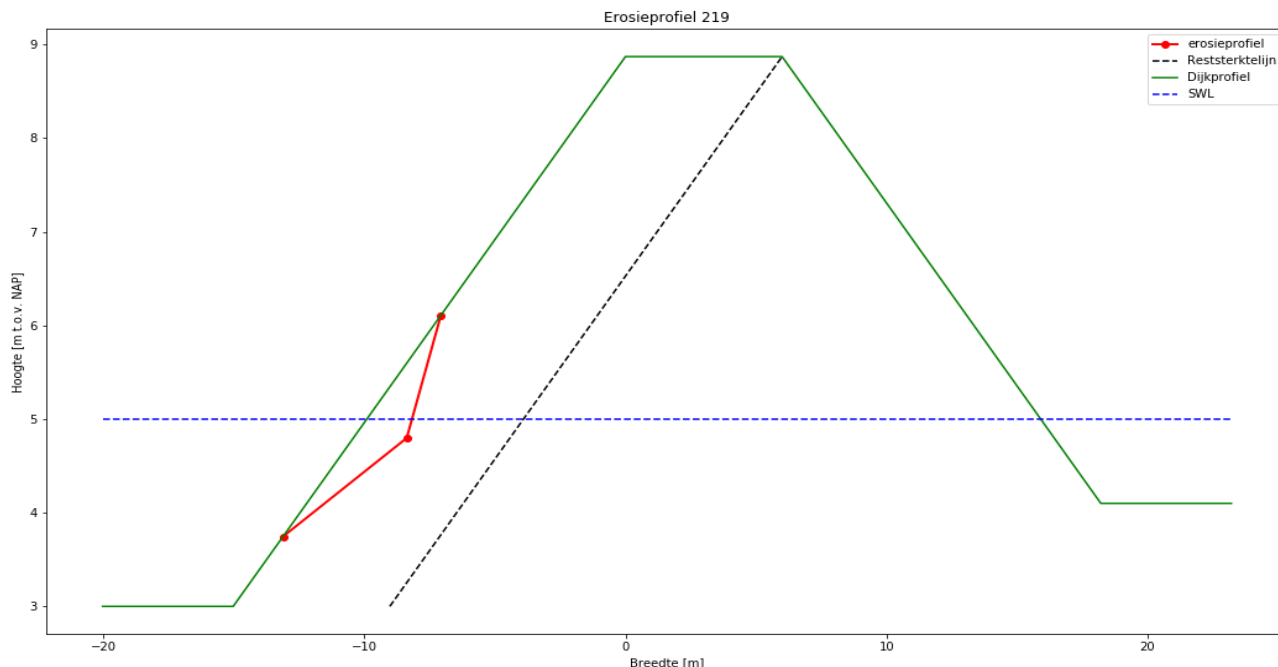
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.81 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.86 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 5.12 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 9.88 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.56 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.07 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.87 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.0 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 4.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.42 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.25 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.50 [-]
Br Restbreedte 3.96 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.04 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.74 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

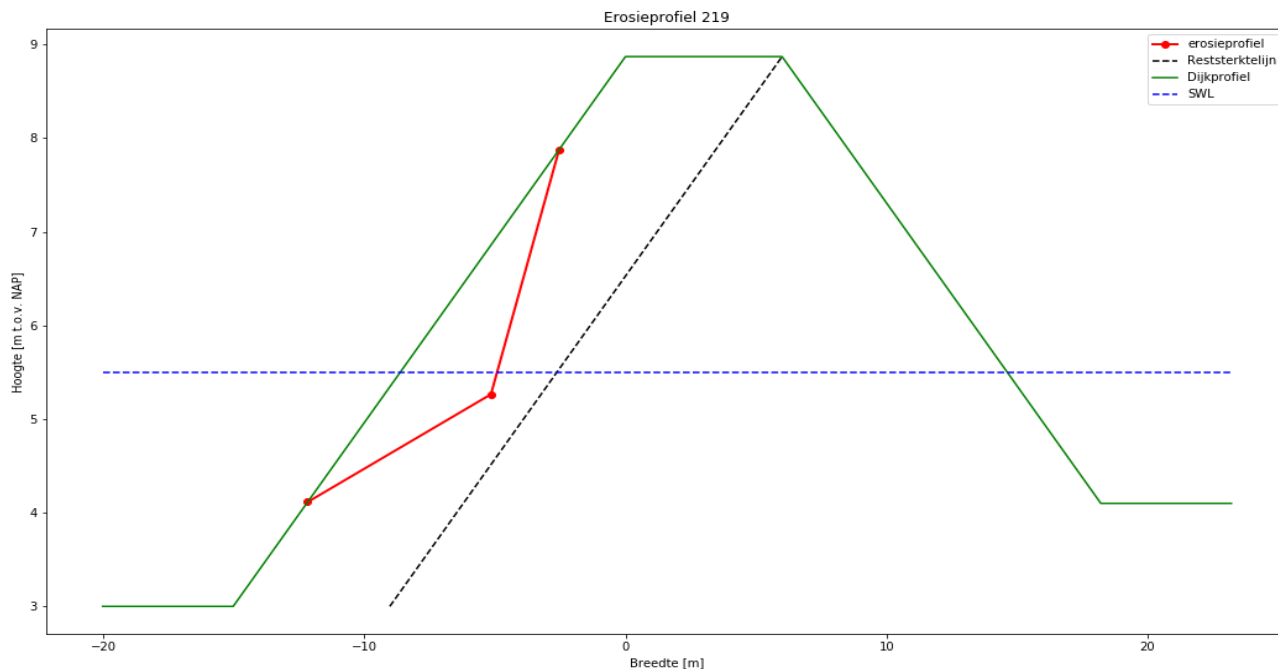
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.94 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.60 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.07 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.93 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.56 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.07 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.87 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.0 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 4.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 7.67 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.39 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.10 [-]
Br Restbreedte 1.92 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.08 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.48 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

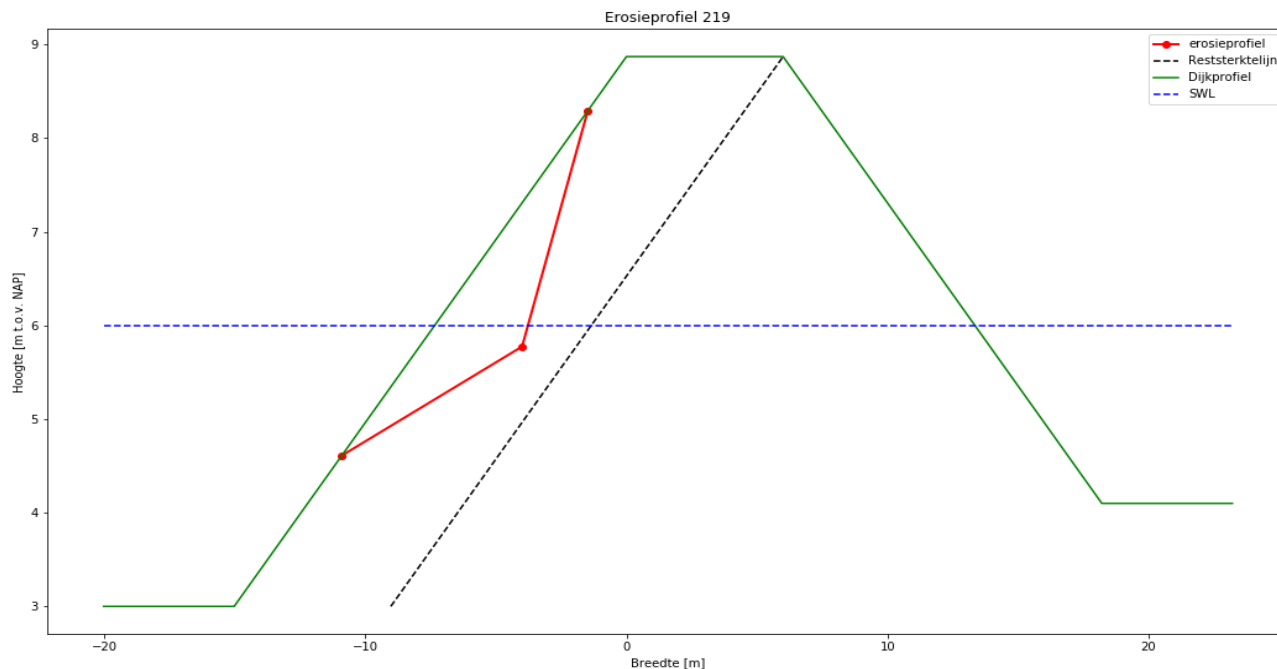
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.90 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.72 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.88 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.12 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.56 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.07 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.87 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.0 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 4.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 7.23 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.39 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.93 [-]
Br Restbreedte 2.07 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.93 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.43 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

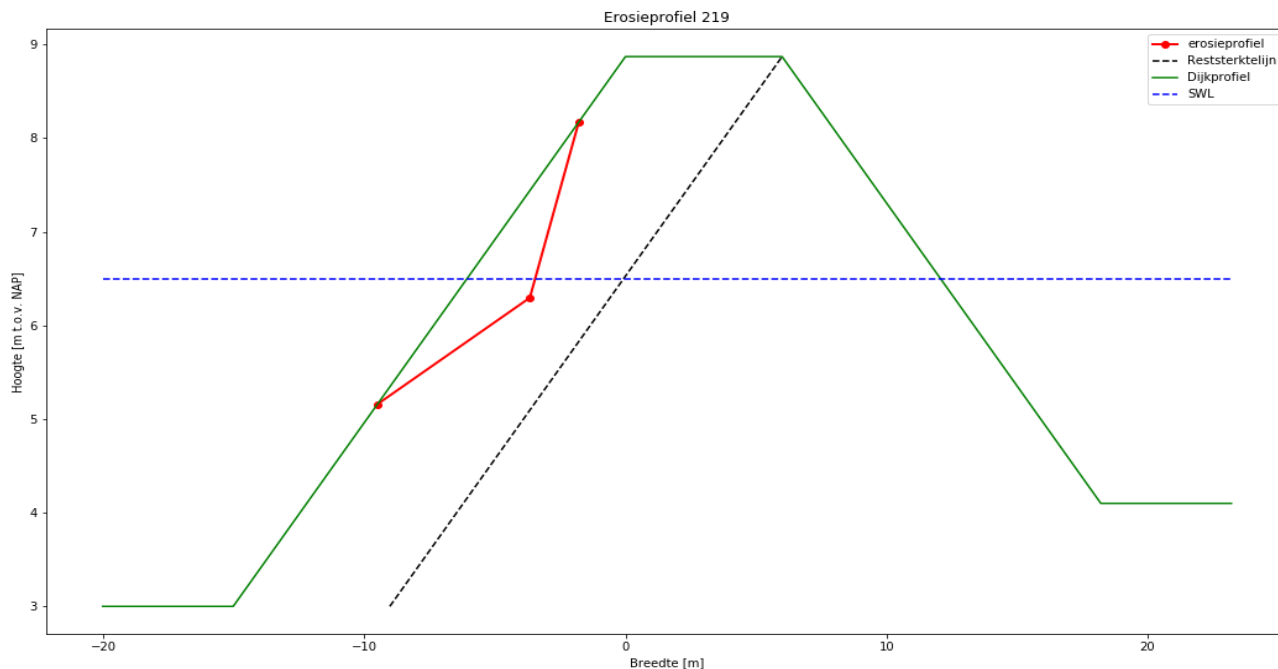
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.82 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.53 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.88 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.12 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.56 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.07 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.87 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.0 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 4.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 4.41 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.34 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.14 [-]
Br Restbreedte 3.07 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.93 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.07 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

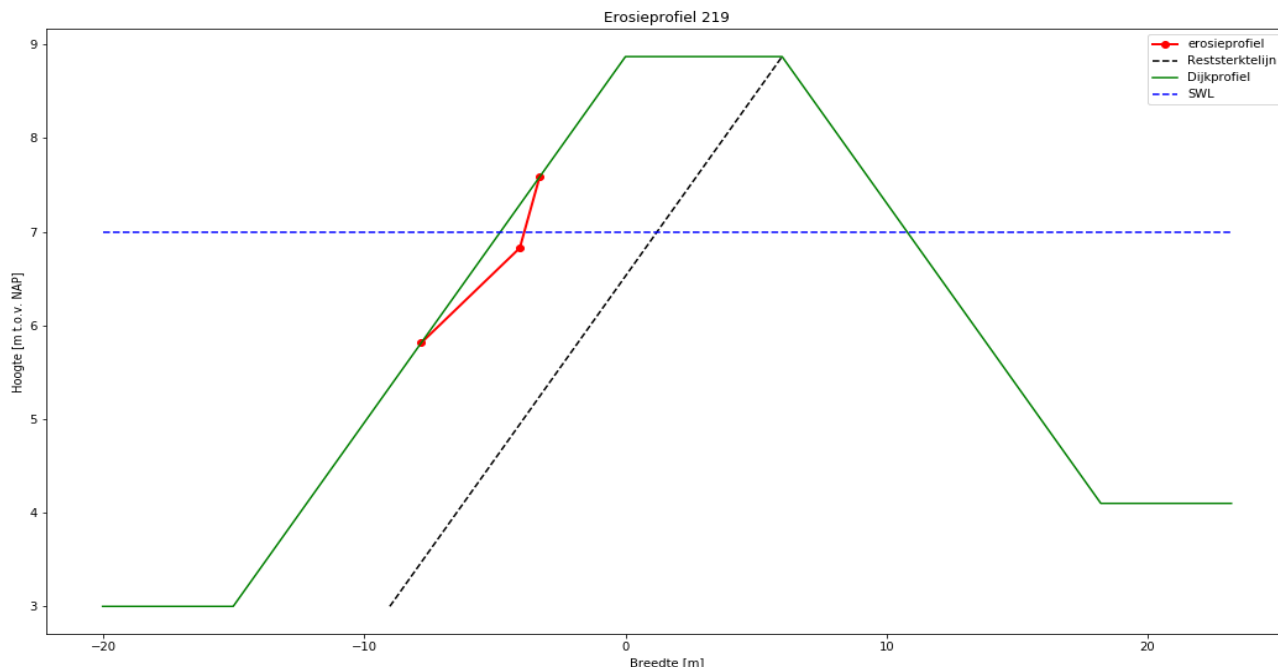
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.69 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.84 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 8.47 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 6.53 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.56 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.07 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 7.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.87 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.0 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 4.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.05 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.19 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.73 [-]
Br Restbreedte 4.82 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.18 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.43 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

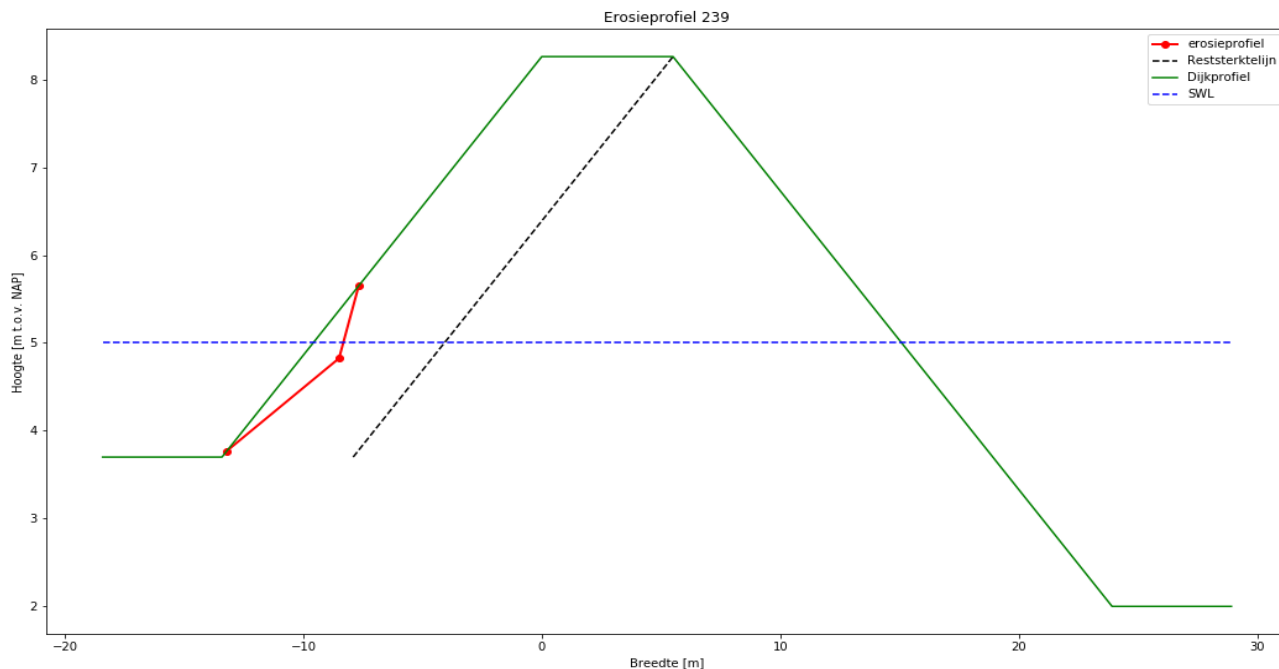
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.70 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.45 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 8.22 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 6.78 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.94 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.26 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.50 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.23 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.46 [-]
Br Restbreedte 3.90 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.60 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.52 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

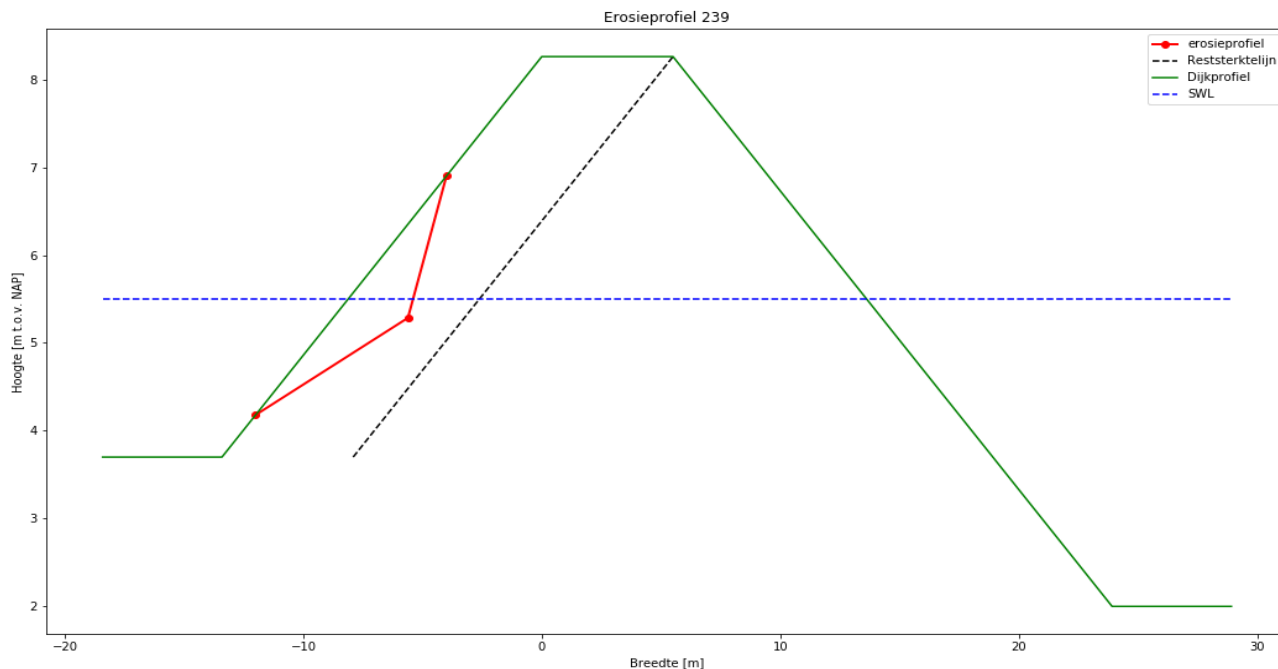
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.86 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.54 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 3.89 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.11 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.94 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.26 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 4.27 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.32 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.78 [-]
Br Restbreedte 2.37 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.13 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.01 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

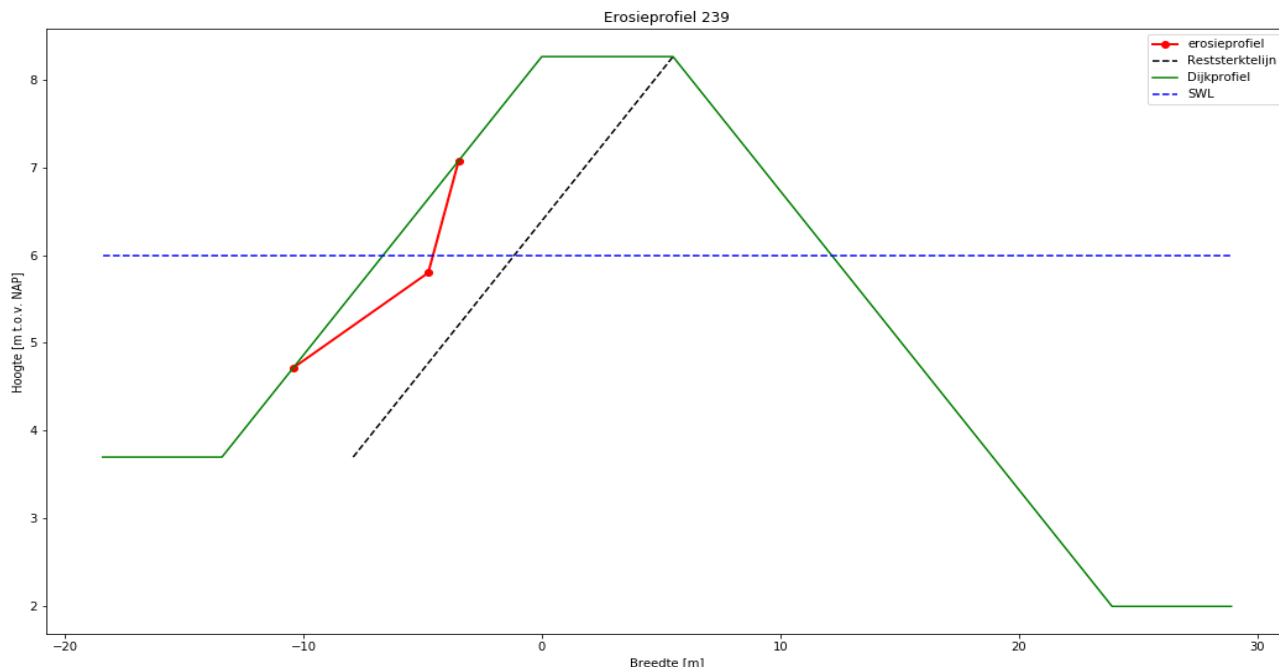
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.80 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.40 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 5.25 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 9.75 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.94 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.26 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.92 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.28 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.23 [-]
Br Restbreedte 3.02 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.48 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.80 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

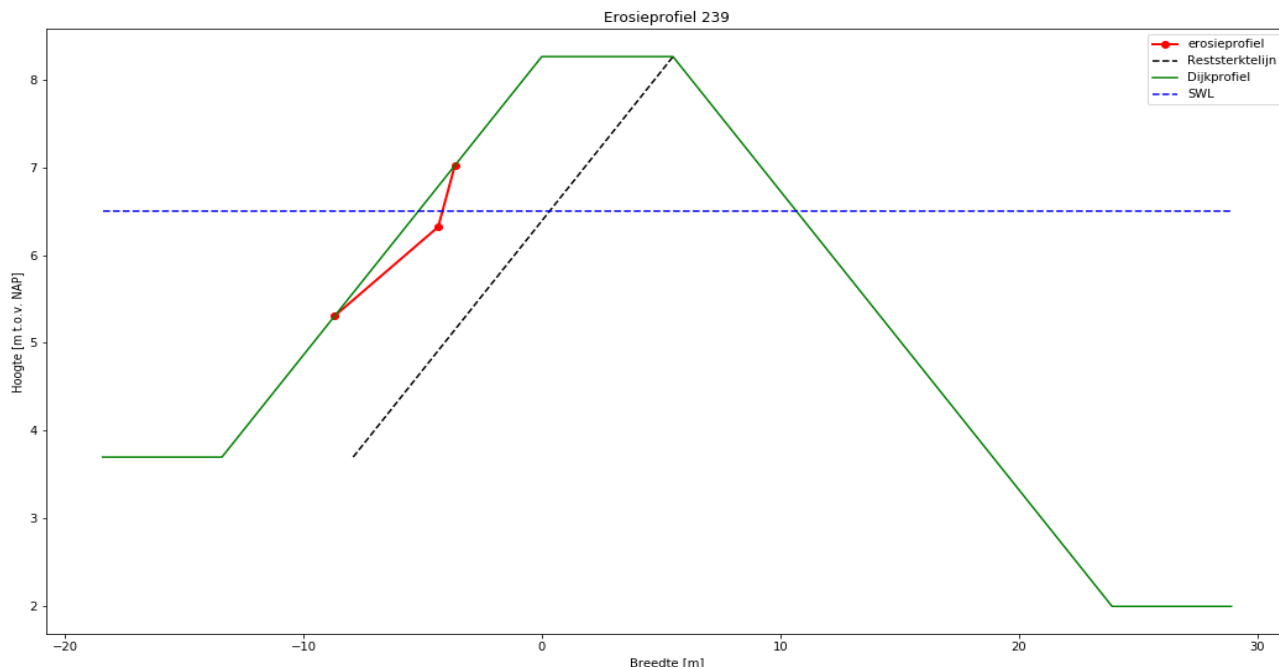
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.72 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.01 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.74 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.26 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.94 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.26 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 5.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.0 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.16 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.19 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.28 [-]
Br Restbreedte 4.14 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.36 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.44 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

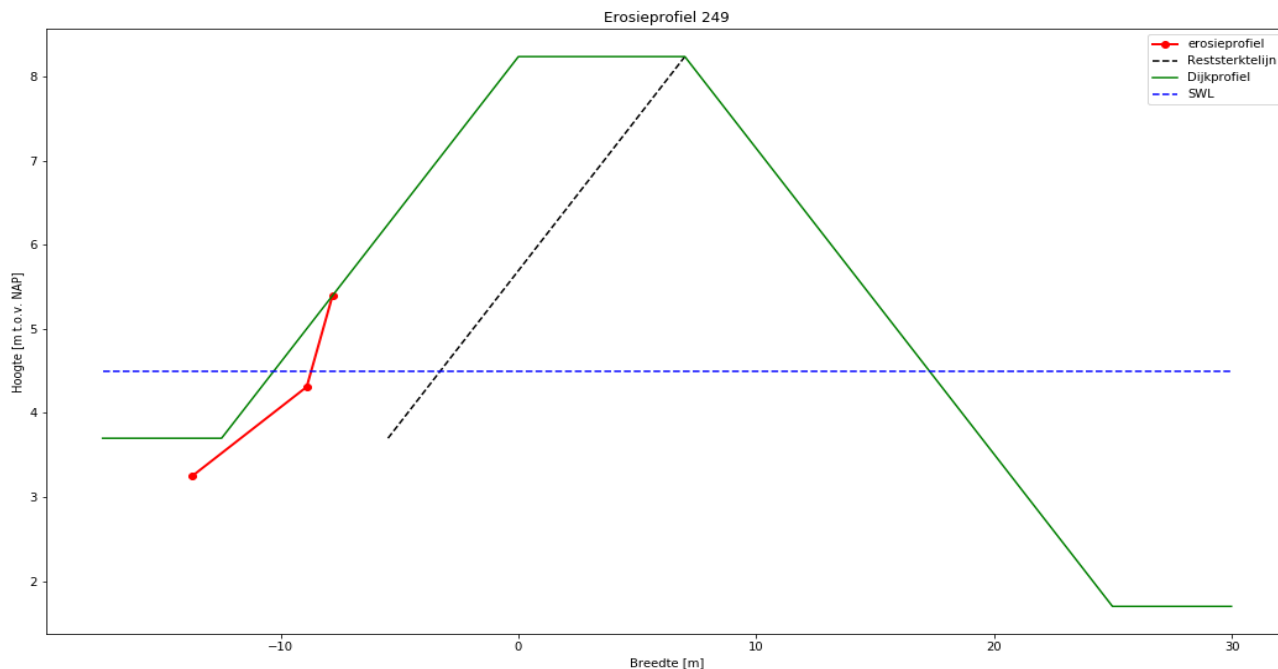
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.75 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.17 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 6.58 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 8.42 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.75 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 3.39 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.24 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.7 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.04 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.25 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.54 [-]
Br Restbreedte 5.10 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.90 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.65 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

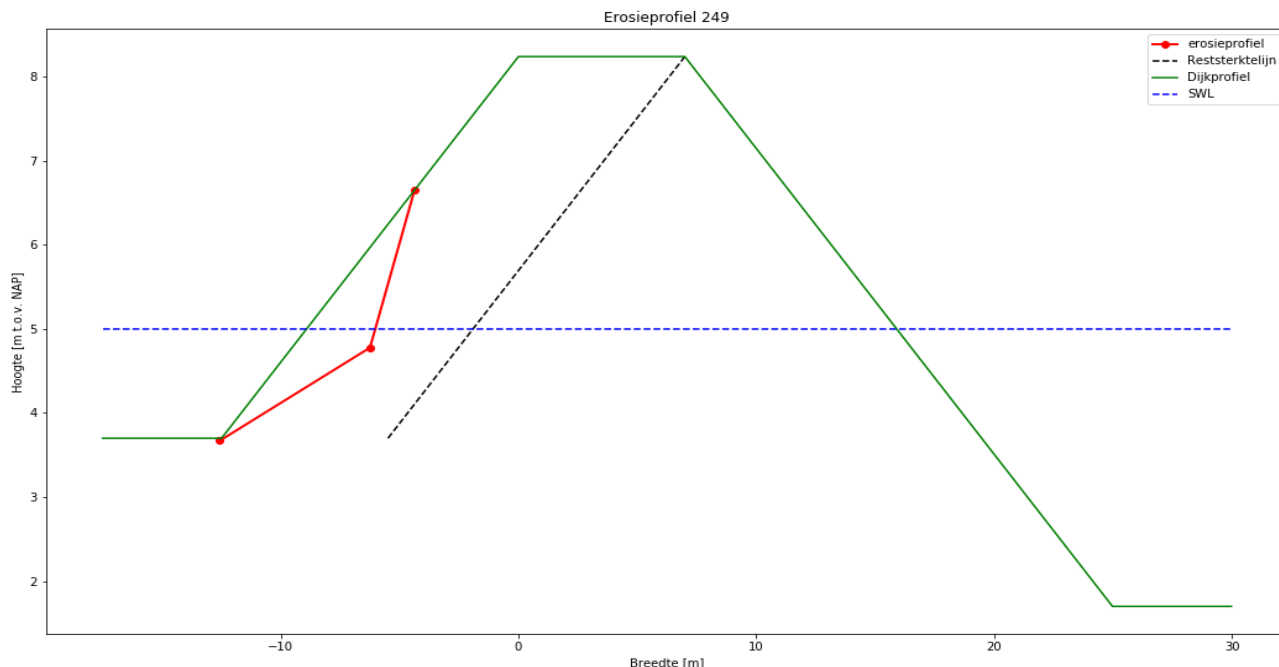
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.89 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.40 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 3.21 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.79 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.75 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 3.39 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.24 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.7 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 4.89 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.33 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.71 [-]
Br Restbreedte 3.72 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.28 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.12 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

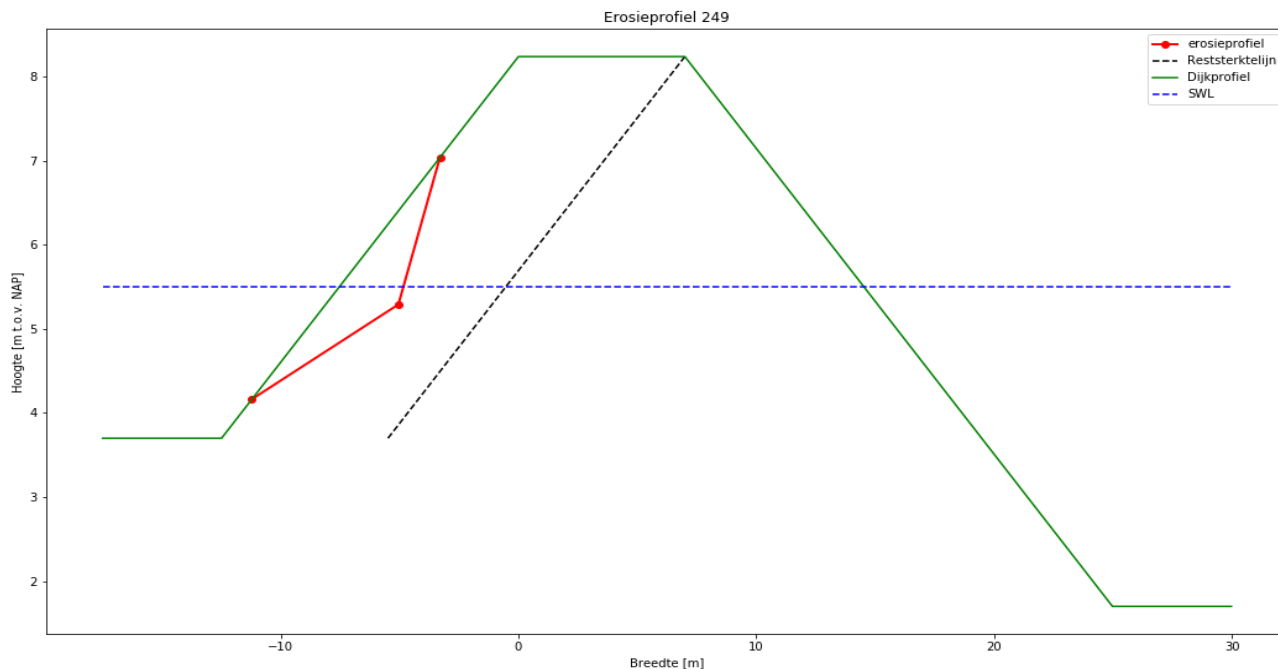
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.83 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.59 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.50 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.50 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.75 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 3.39 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.24 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.7 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 4.40 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.33 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.47 [-]
Br Restbreedte 3.94 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.06 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.05 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

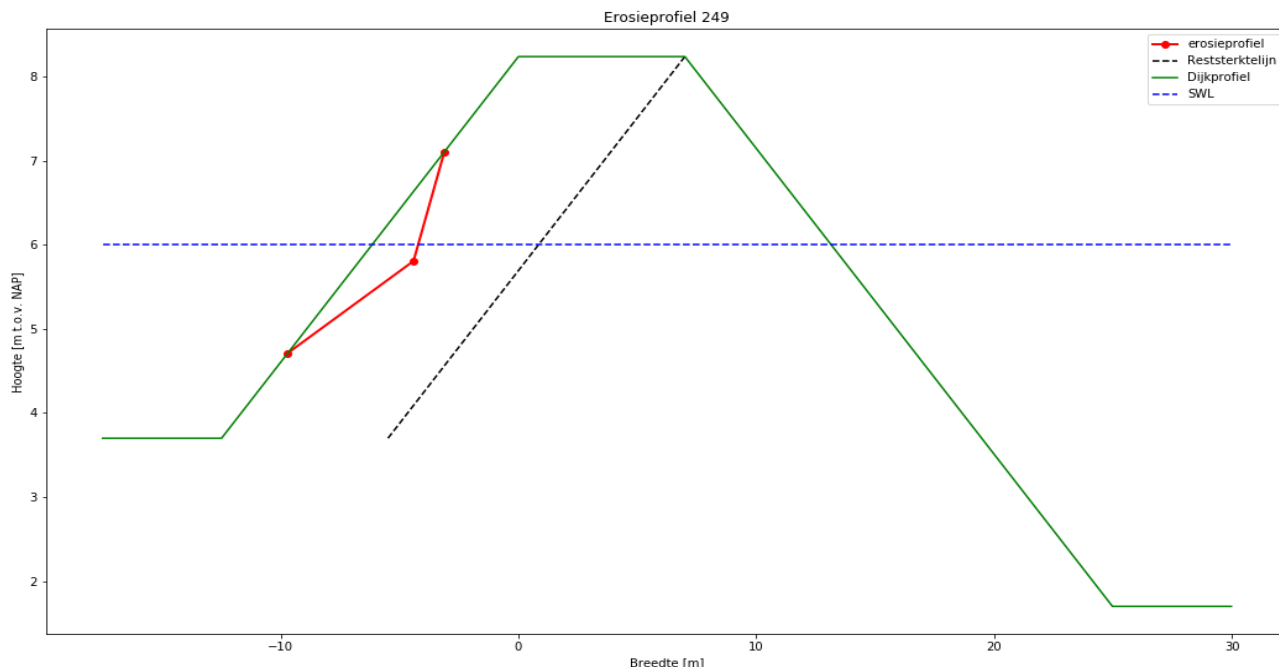
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.77 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.42 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 6.20 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 8.80 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.75 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 3.39 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.24 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.7 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.72 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.29 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.83 [-]
Br Restbreedte 4.72 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.28 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.78 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

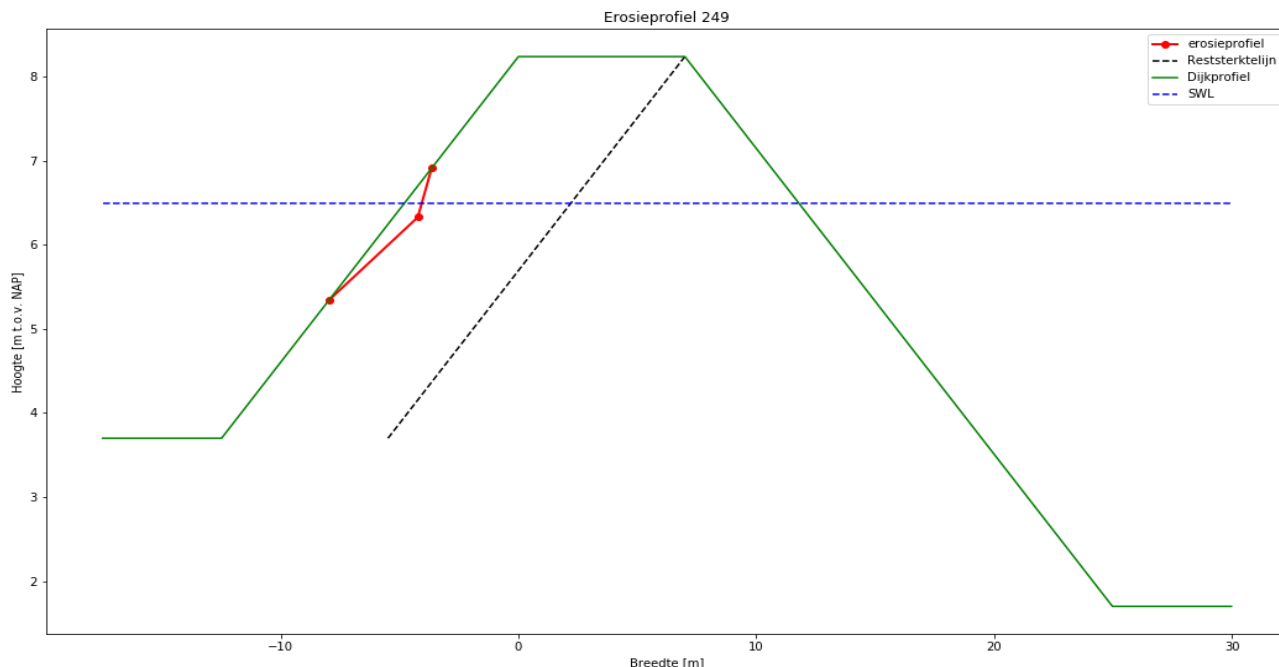
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.68 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.80 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 8.77 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 6.23 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.75 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 3.39 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.24 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.7 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.7 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.80 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.16 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.79 [-]
Br Restbreedte 5.98 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.02 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.35 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

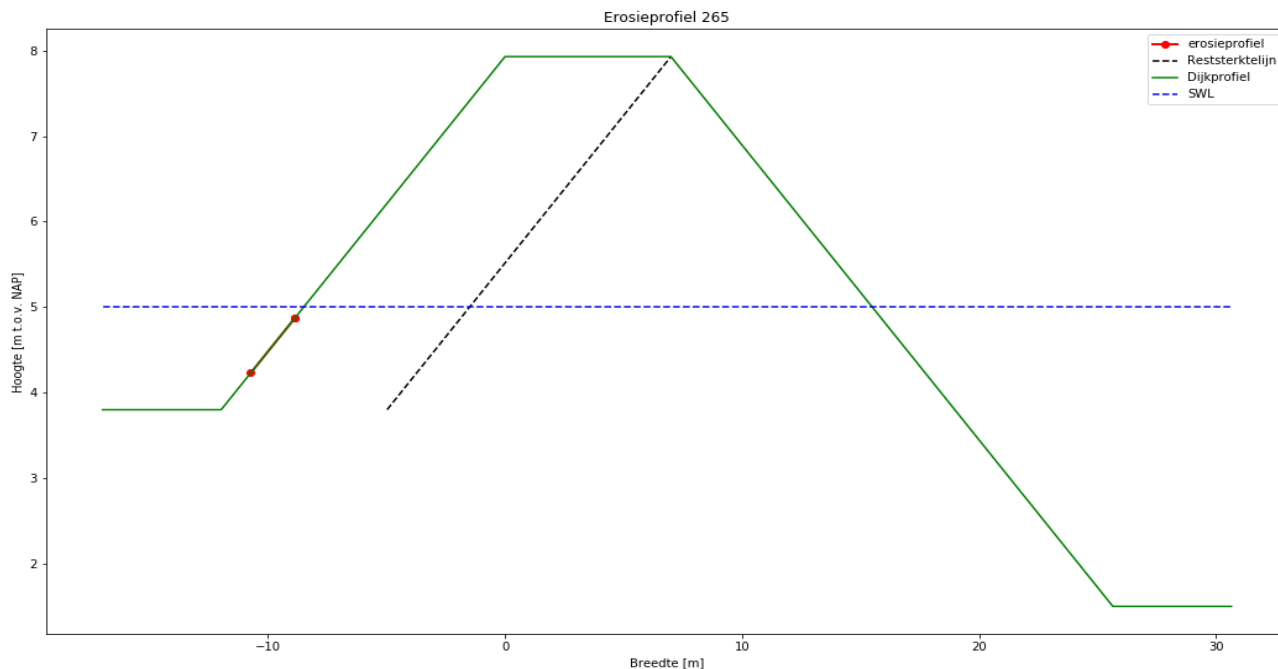
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.53 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.94 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 15.00 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 0.00 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.9 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.84 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.93 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.00 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 0.77 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 2.90 [-]
Br Restbreedte 7.00 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.00 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.00 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

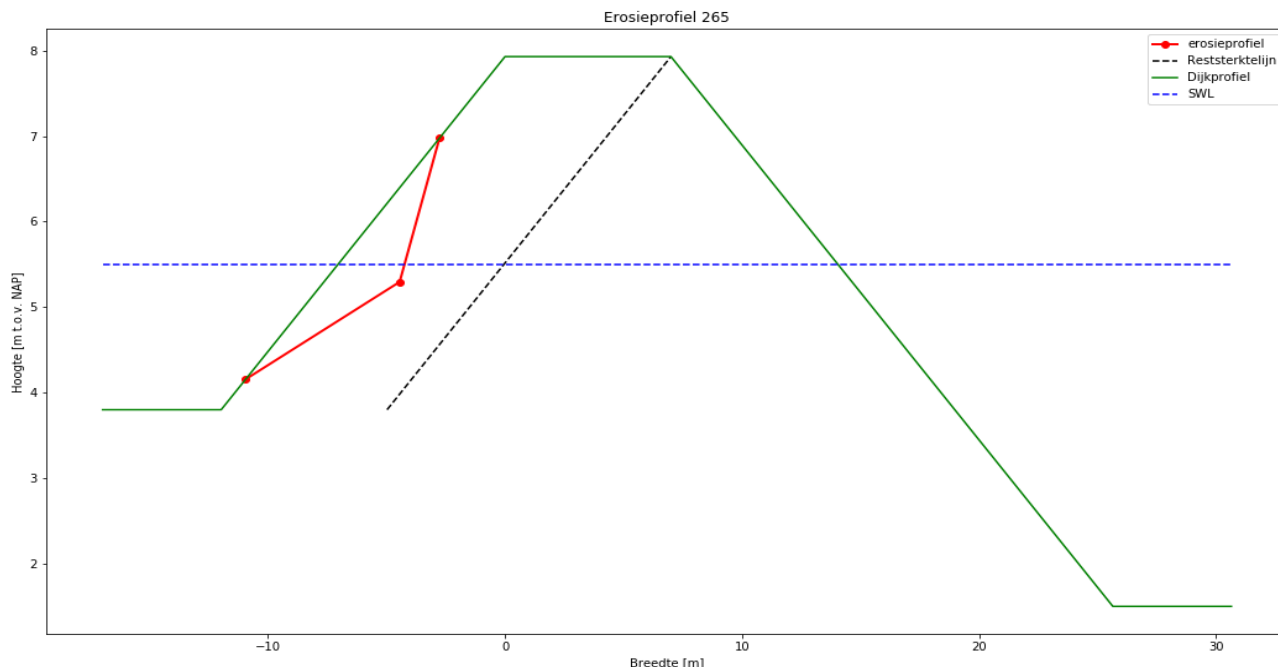
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.82 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.85 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.84 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.16 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.9 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.84 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.93 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 4.50 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.34 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.71 [-]
Br Restbreedte 3.81 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.19 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.04 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

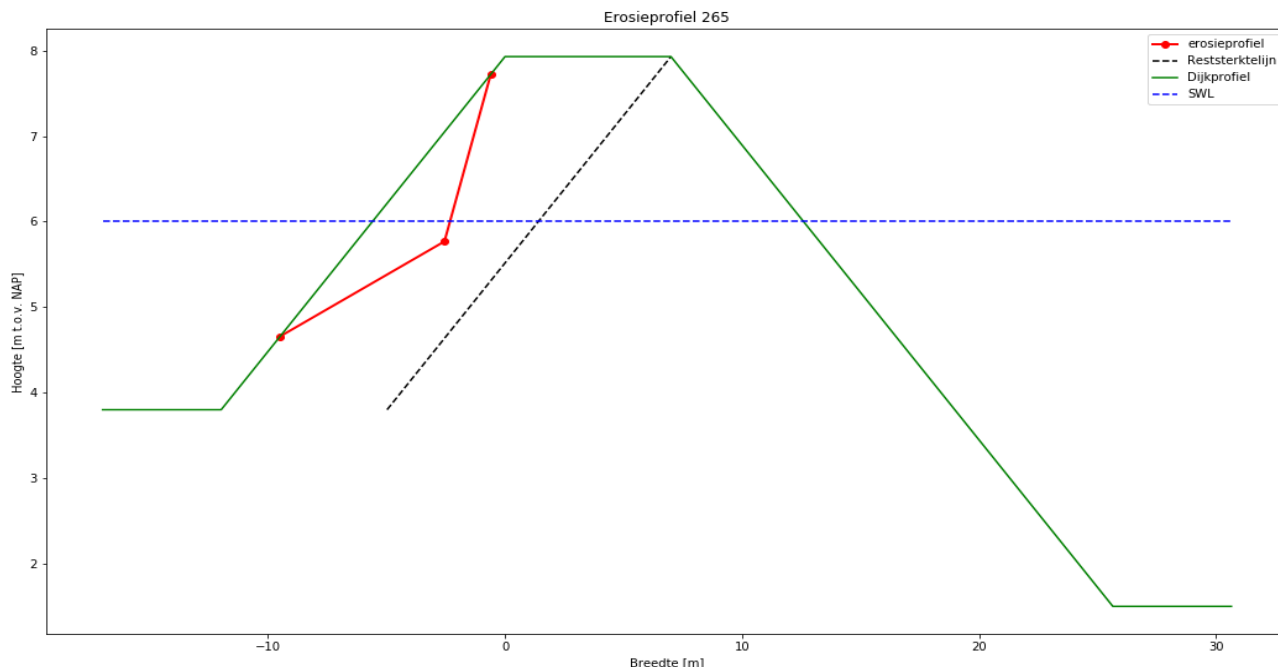
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.93 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.54 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.40 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.60 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.9 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.84 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.93 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.69 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.34 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.24 [-]
Br Restbreedte 3.29 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.71 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.21 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

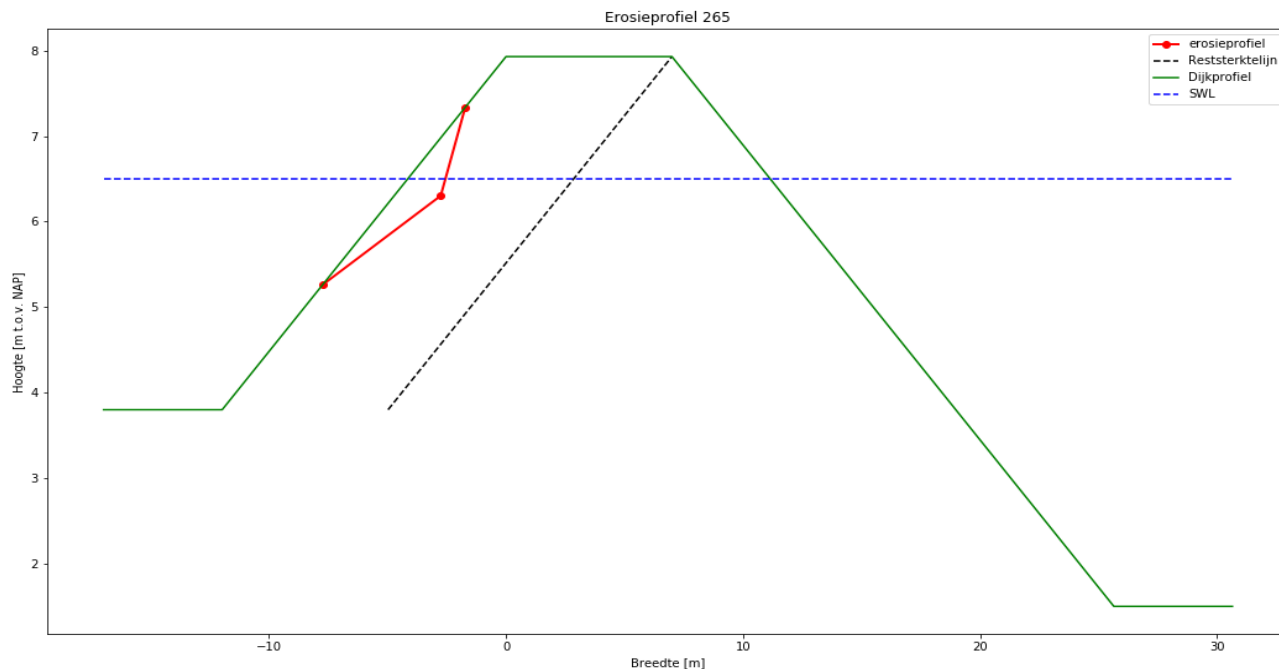
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.79 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.05 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 5.68 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 9.32 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.9 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.84 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.93 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.04 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.24 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.79 [-]
Br Restbreedte 5.04 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.96 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.64 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

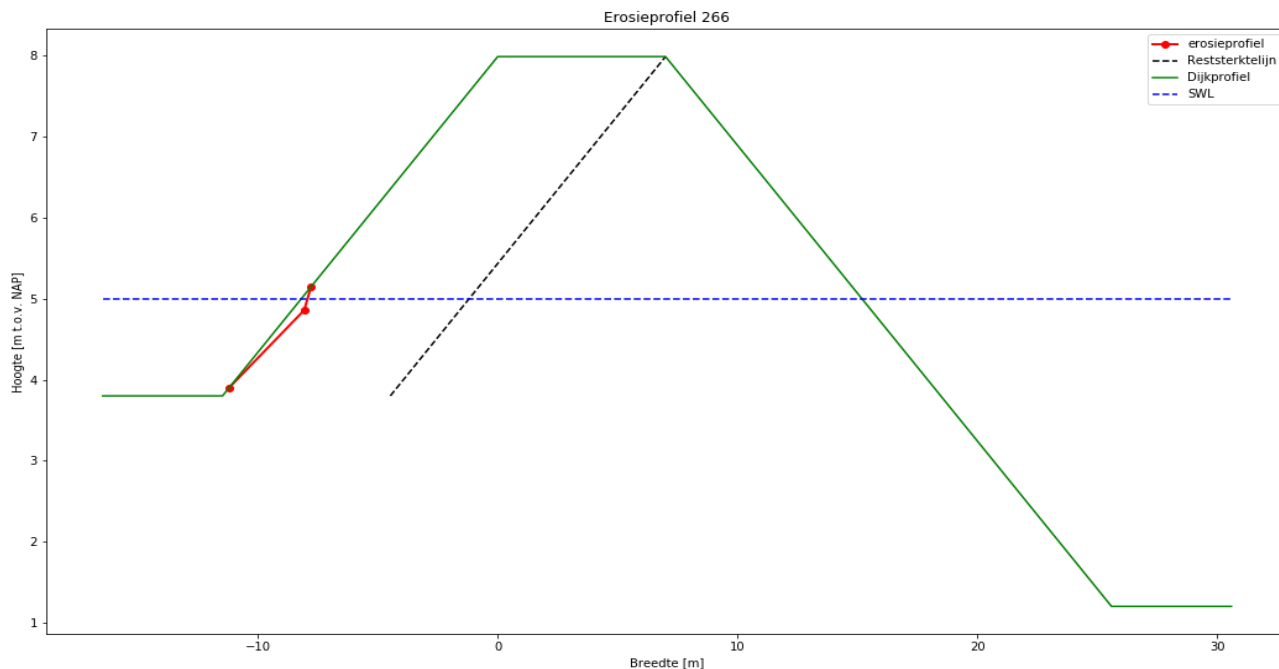
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.57 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.87 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 13.09 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 1.91 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.74 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.4 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.99 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.2 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.32 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.10 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.27 [-]
Br Restbreedte 6.49 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.51 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.17 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

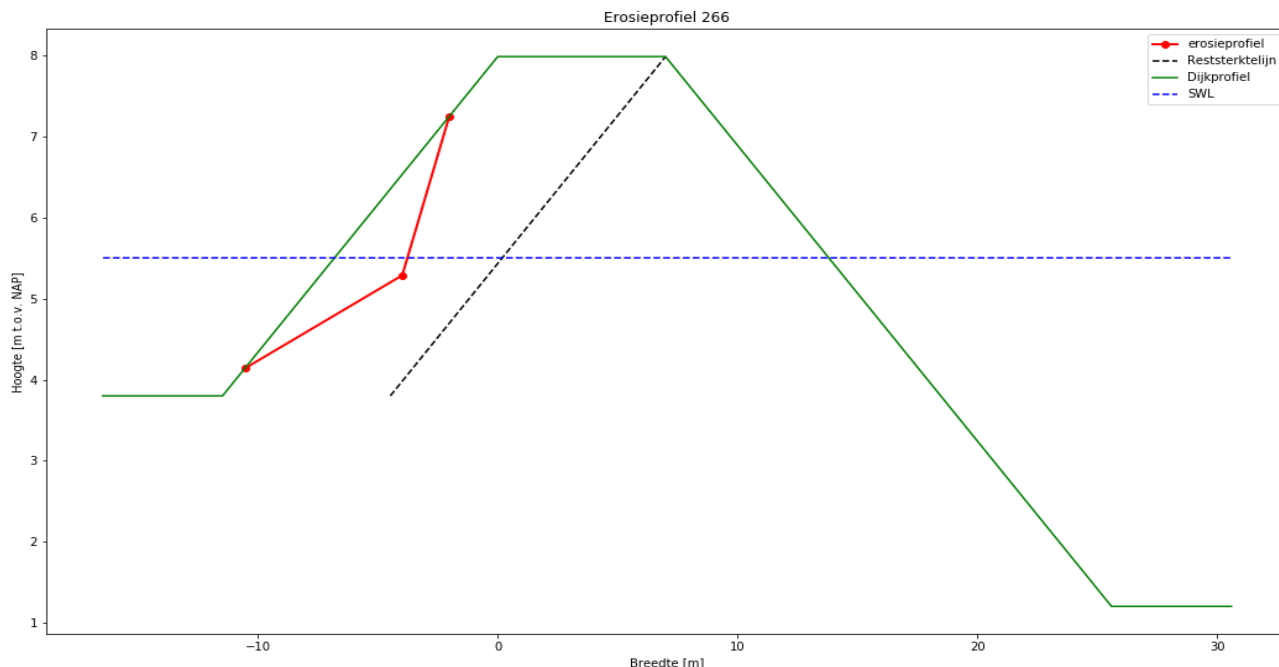
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.84 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.79 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.24 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.76 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.74 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.4 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.99 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.2 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.32 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.36 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.71 [-]
Br Restbreedte 3.58 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.42 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.17 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

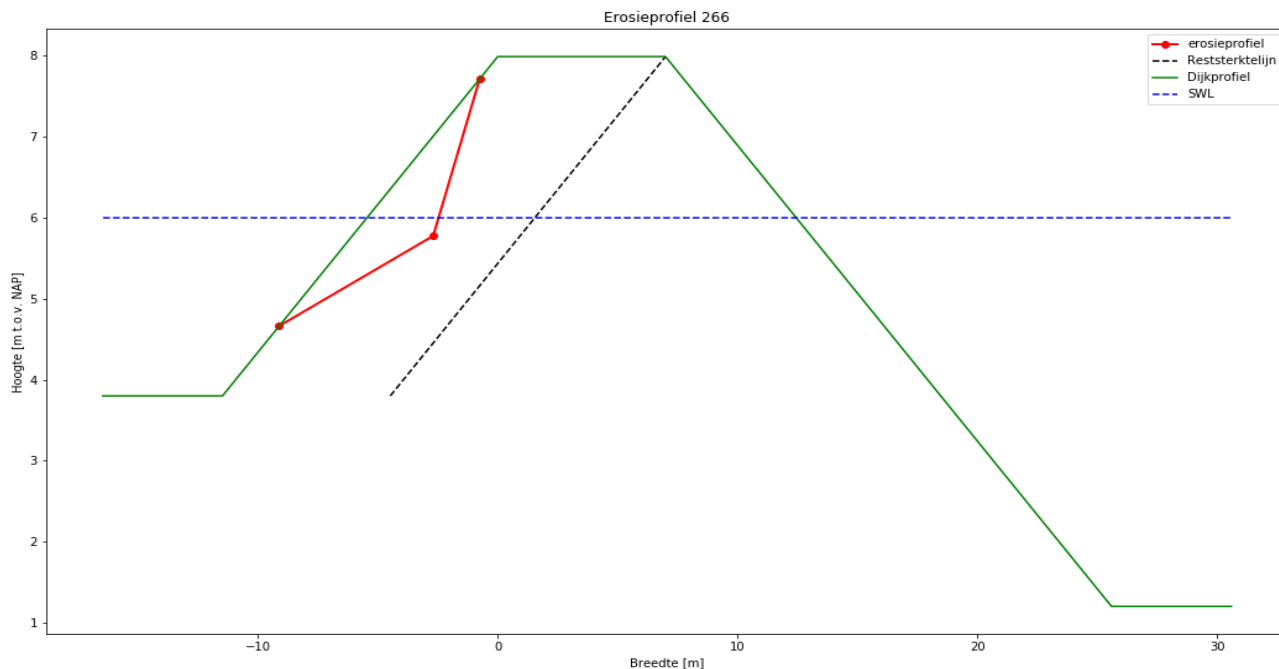
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.90 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.43 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 3.05 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.95 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.74 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.4 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.99 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.2 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.15 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel 1.34 [m]
en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras
 α t Hellingshoek van het terras 5.77 [-]
Br Restbreedte 3.63 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.37 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.16 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

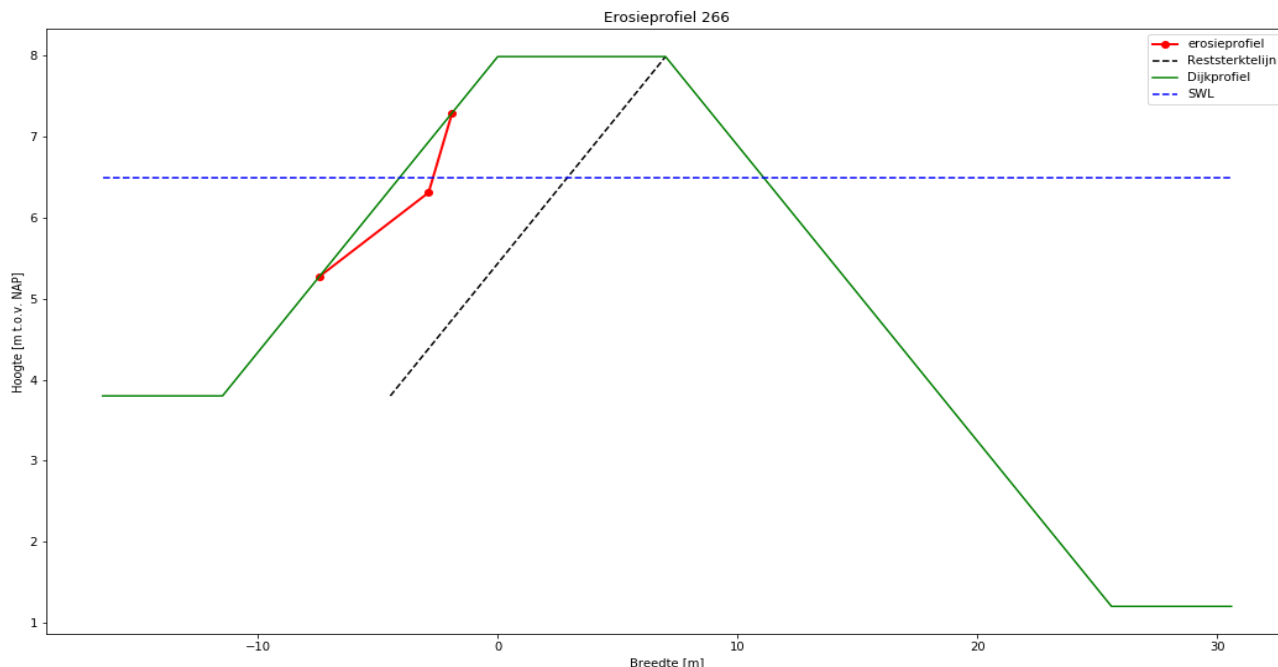
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.76 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.97 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 6.50 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 8.50 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.74 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.4 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.99 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.8 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.2 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.74 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.23 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.39 [-]
Br Restbreedte 5.28 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.72 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.59 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

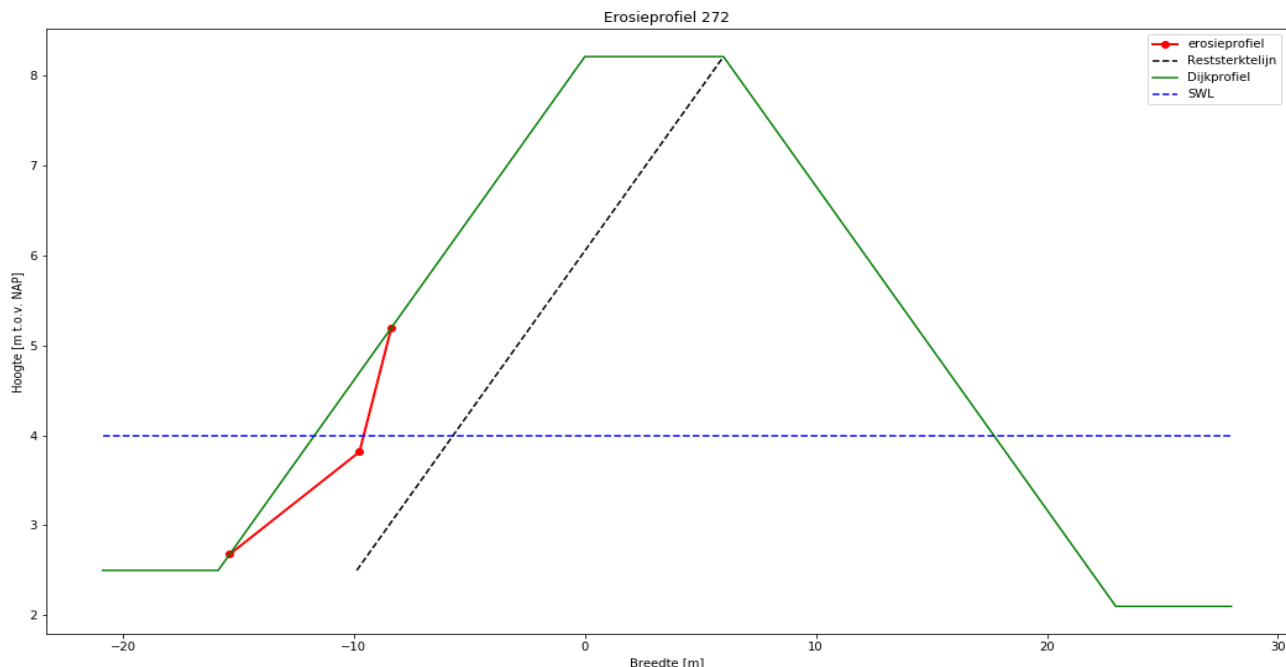
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.73 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.98 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.30 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.70 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.78 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.49 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.21 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.5 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 3.09 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.32 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.94 [-]
Br Restbreedte 3.55 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.45 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.83 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

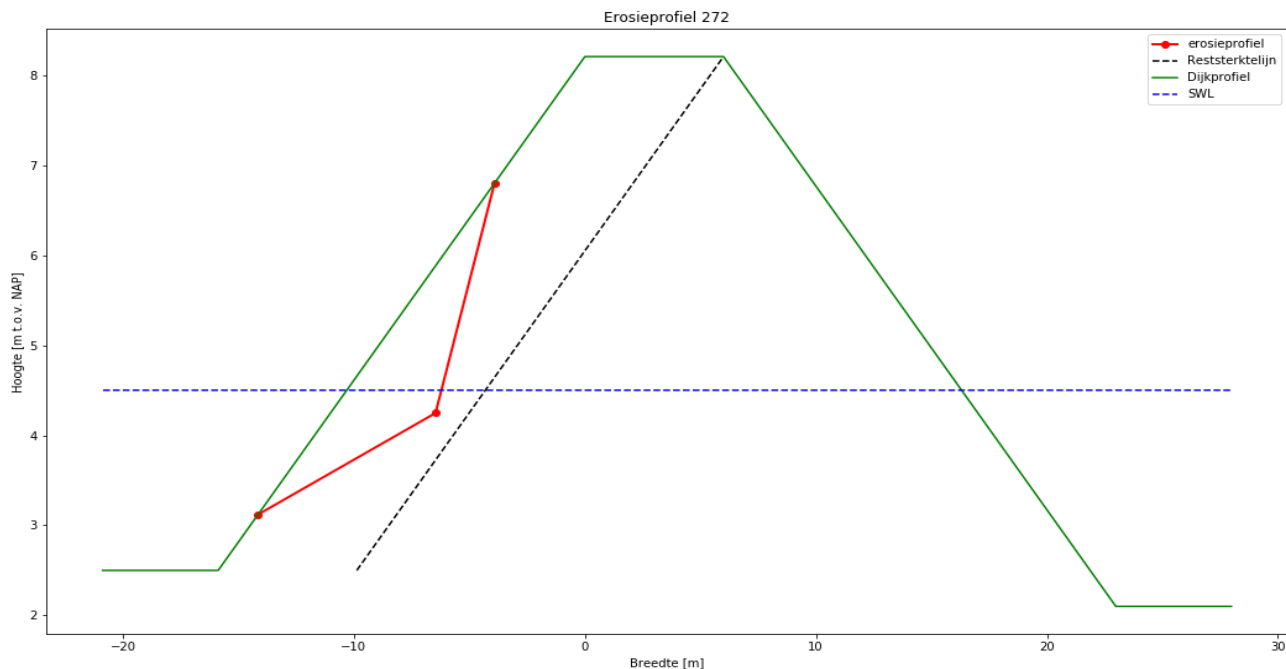
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 1.00 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.64 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 0.83 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 14.17 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.78 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.49 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.21 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.5 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 8.37 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.38 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.81 [-]
Br Restbreedte 1.45 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.55 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.54 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

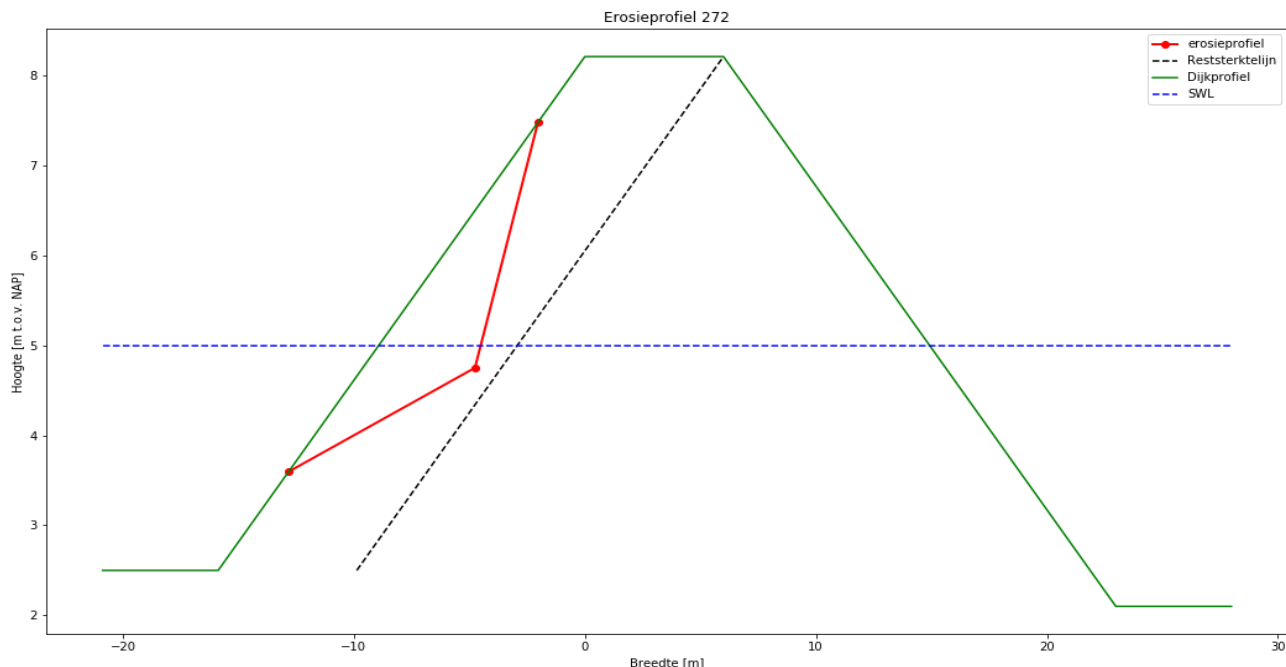
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.99 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.88 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 1.04 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 13.96 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.78 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.49 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.21 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.5 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 9.43 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.40 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.99 [-]
Br Restbreedte 1.14 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.86 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.64 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

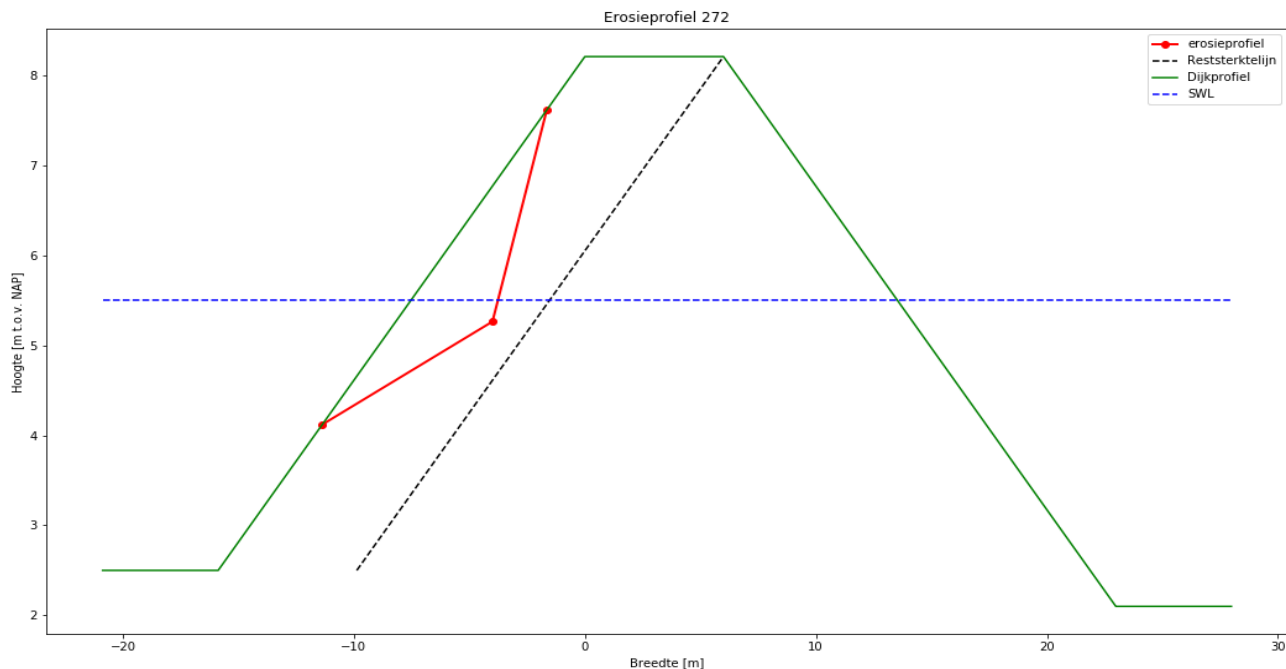
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.94 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.75 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.15 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.85 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.78 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.49 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.21 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.5 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 7.32 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.38 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.44 [-]
Br Restbreedte 1.81 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.19 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.42 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

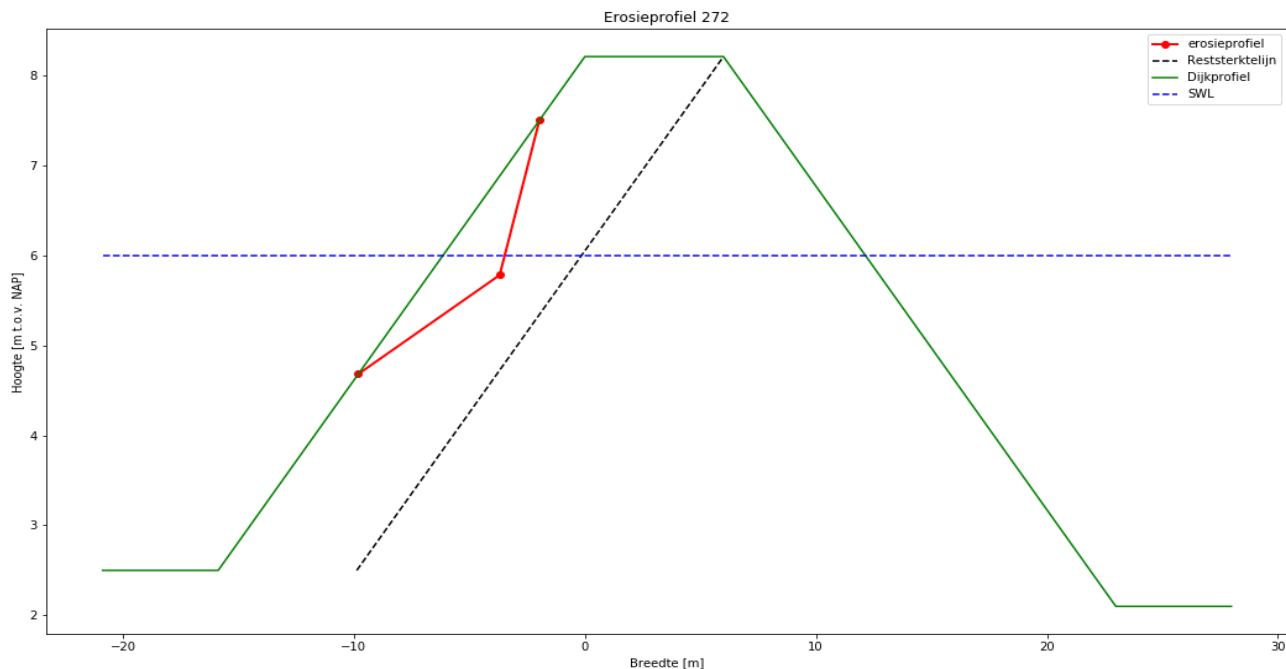
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.87 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.36 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 3.62 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.38 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.78 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.49 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.21 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.5 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 4.32 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.32 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.56 [-]
Br Restbreedte 2.94 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.06 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.04 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

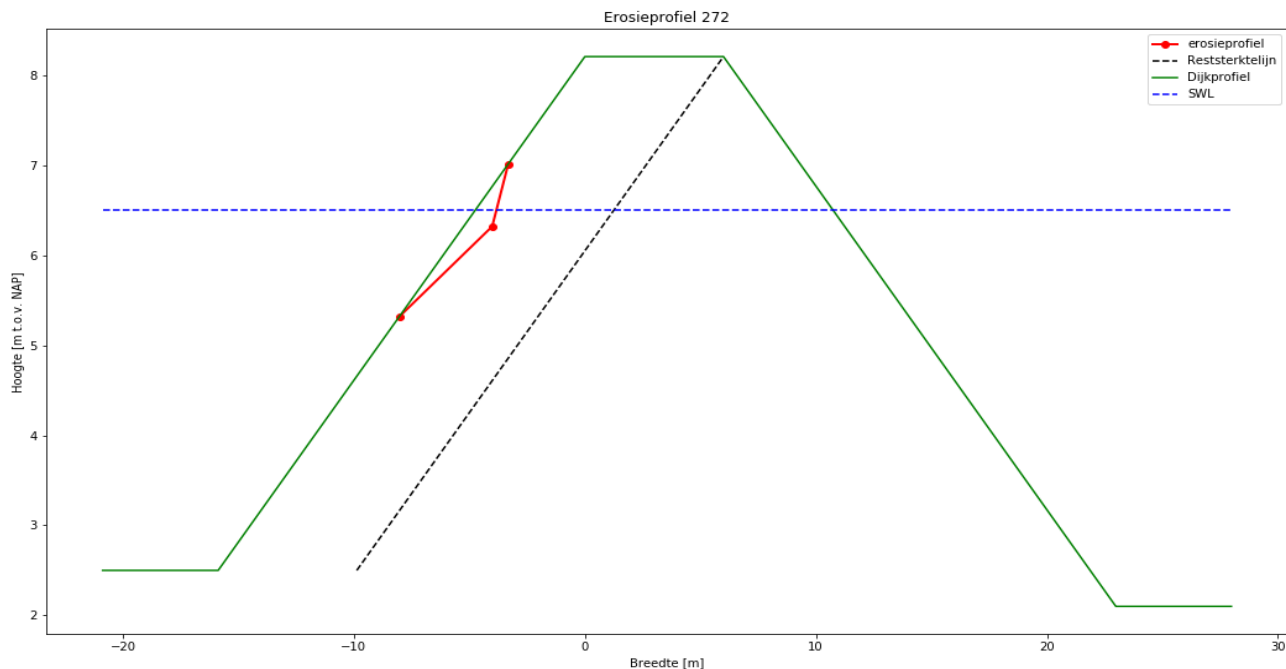
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.71 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.86 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 7.98 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 7.02 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.78 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.49 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 8.21 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.0 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.5 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 2.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.05 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.18 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.01 [-]
Br Restbreedte 4.77 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.23 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.42 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

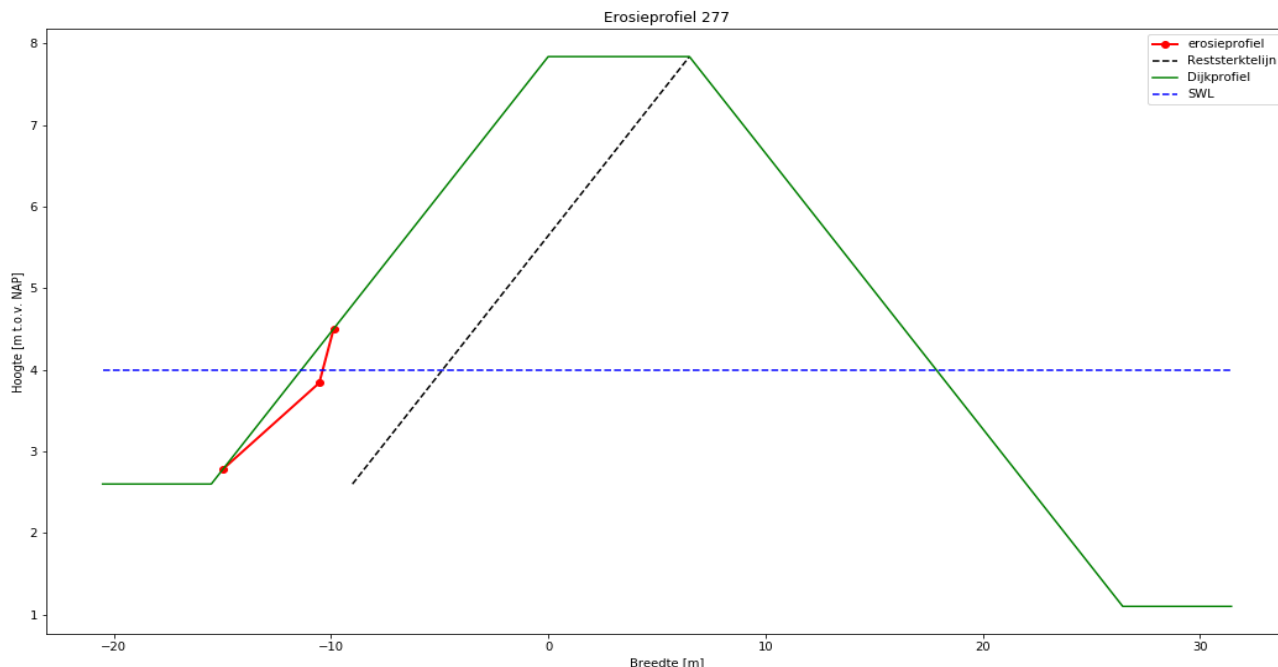
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.64 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.92 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 10.26 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 4.74 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.96 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.64 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.84 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.6 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.12 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.21 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.19 [-]
Br Restbreedte 5.20 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.30 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.42 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

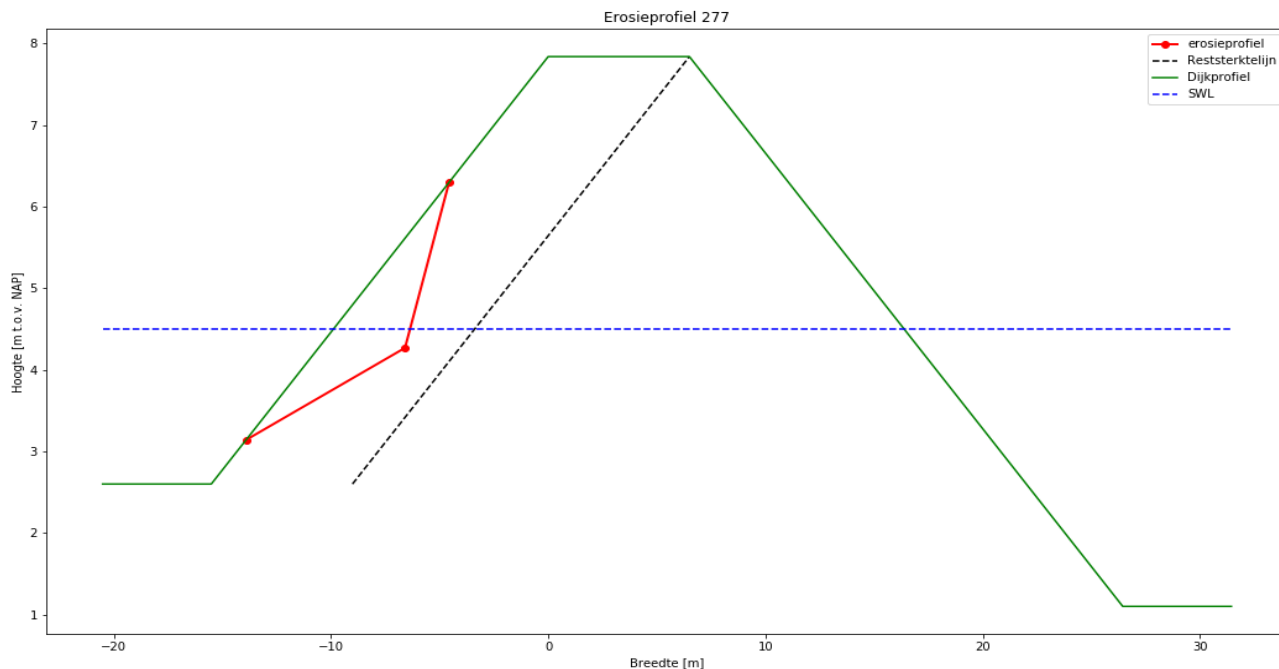
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.92 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.75 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.47 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.53 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.96 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.64 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.84 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.6 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 6.28 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.36 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.48 [-]
Br Restbreedte 2.52 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.98 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.27 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

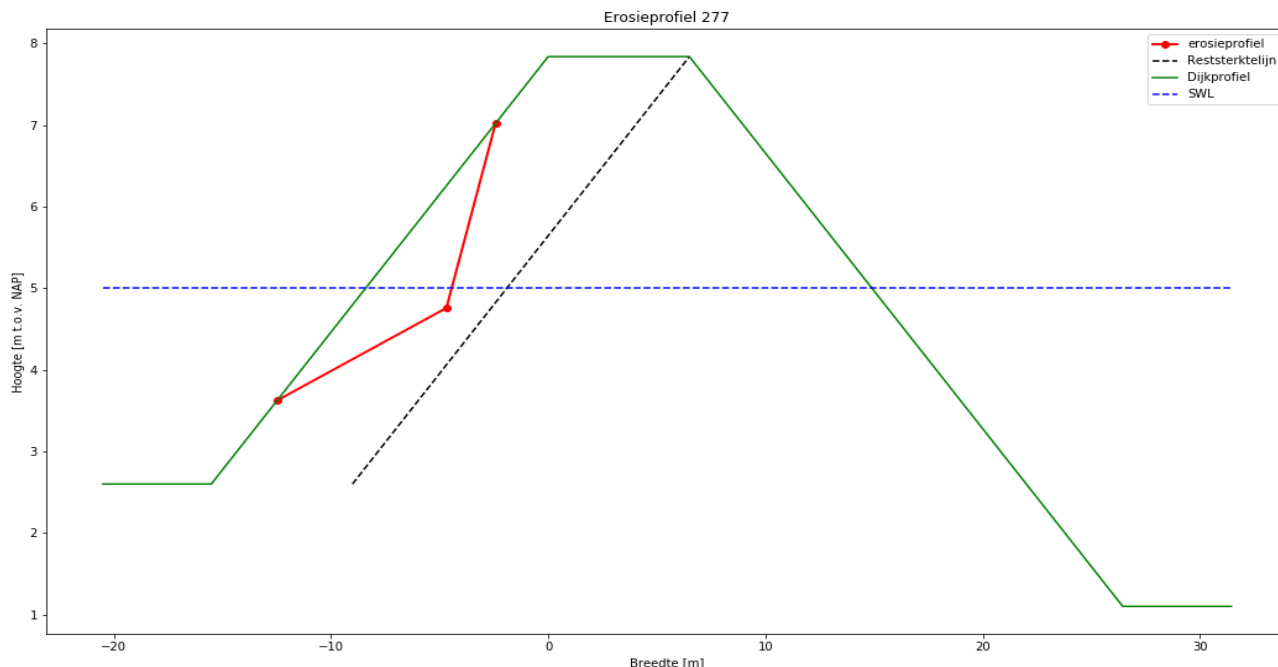
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.96 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.82 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 1.63 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 13.37 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.96 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.64 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.84 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.6 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 7.53 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel 1.37 [m]
en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras
 α t Hellingshoek van het terras 6.87 [-]
Br Restbreedte 2.07 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.43 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.42 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

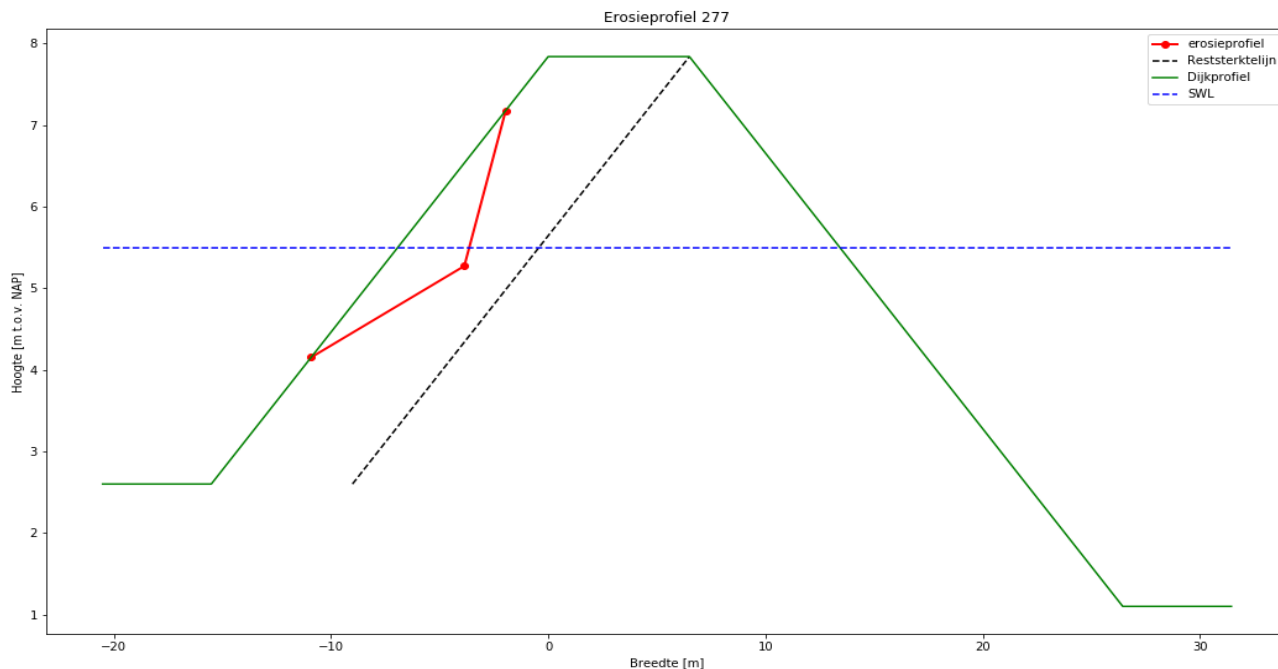
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.91 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.68 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.78 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.22 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.96 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.64 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.84 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.6 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.66 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.35 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.30 [-]
Br Restbreedte 2.76 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.74 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.20 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

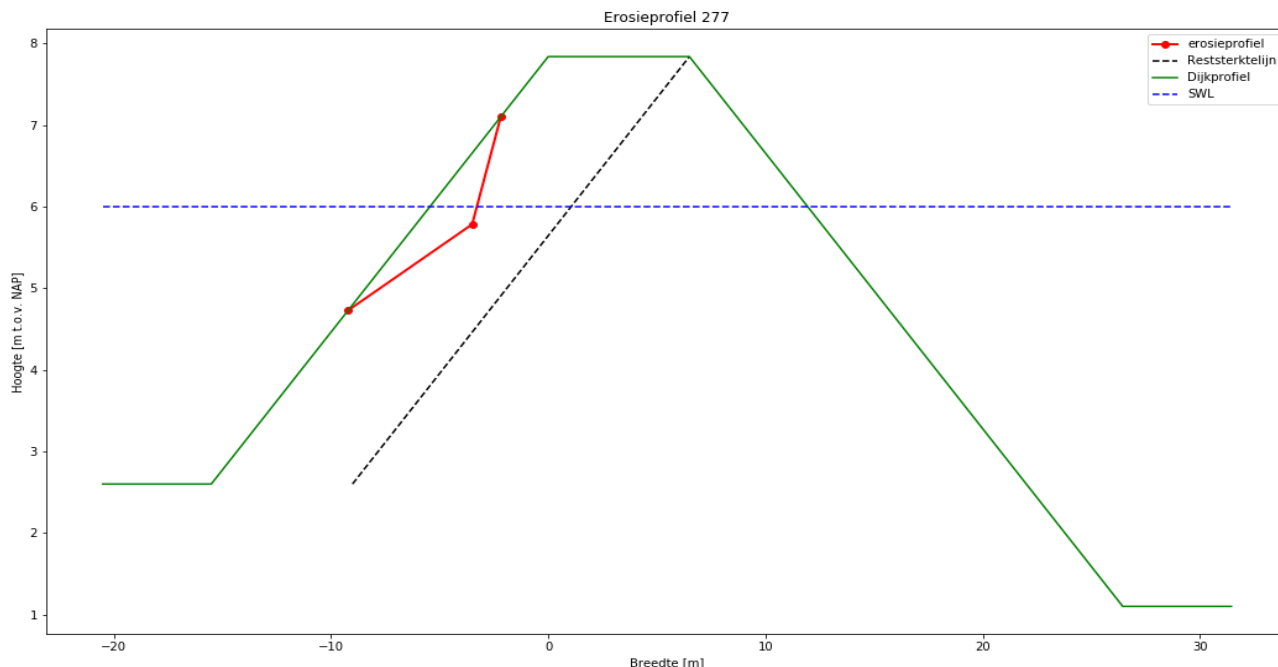
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.86 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.12 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 3.80 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.20 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.96 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.64 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.84 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.6 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 3.07 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.27 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.41 [-]
Br Restbreedte 3.92 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.58 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.83 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

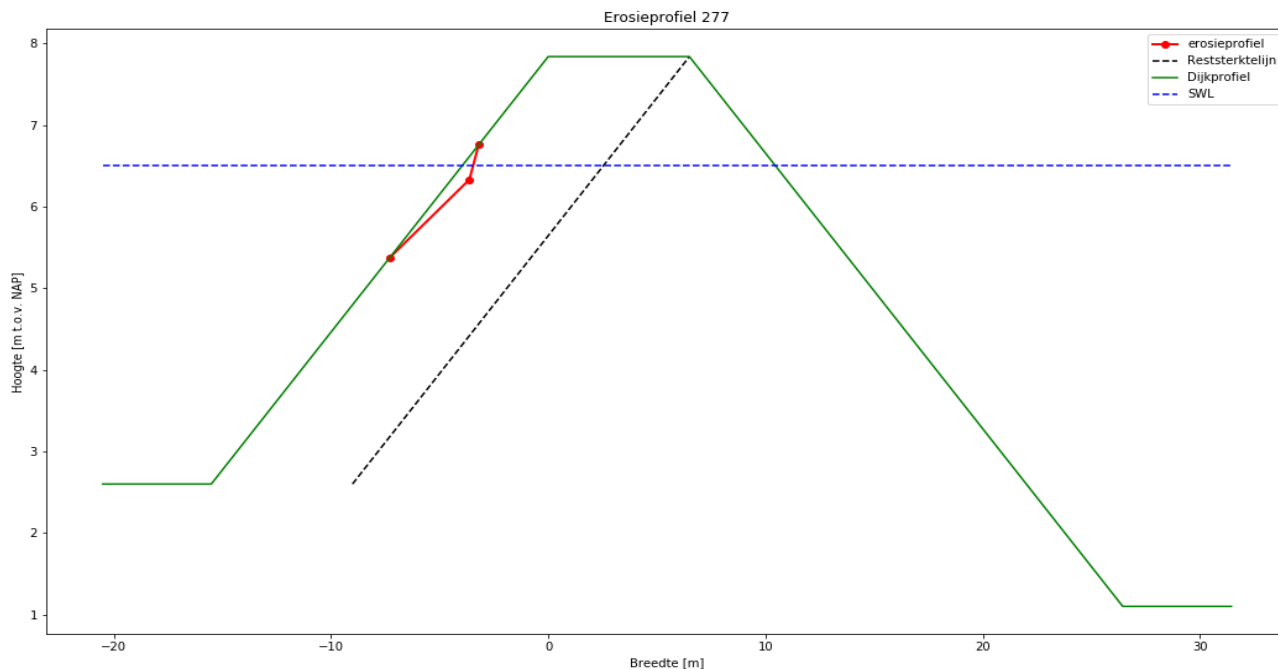
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.67 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.78 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 9.29 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 5.71 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.96 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.64 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.84 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.6 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.1 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.58 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.13 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.83 [-]
Br Restbreedte 5.67 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.83 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.27 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

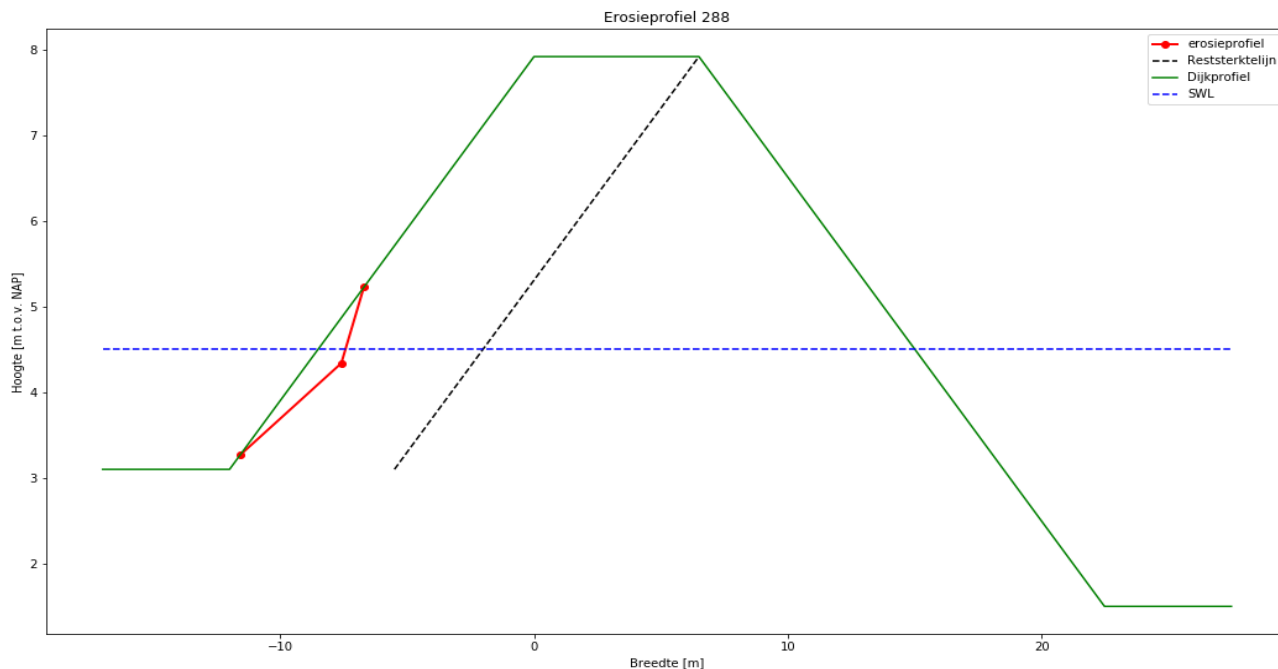
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.64 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.68 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 10.26 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 4.74 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.49 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.3 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.92 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.1 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.29 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.23 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.72 [-]
Br Restbreedte 5.18 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.32 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.49 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

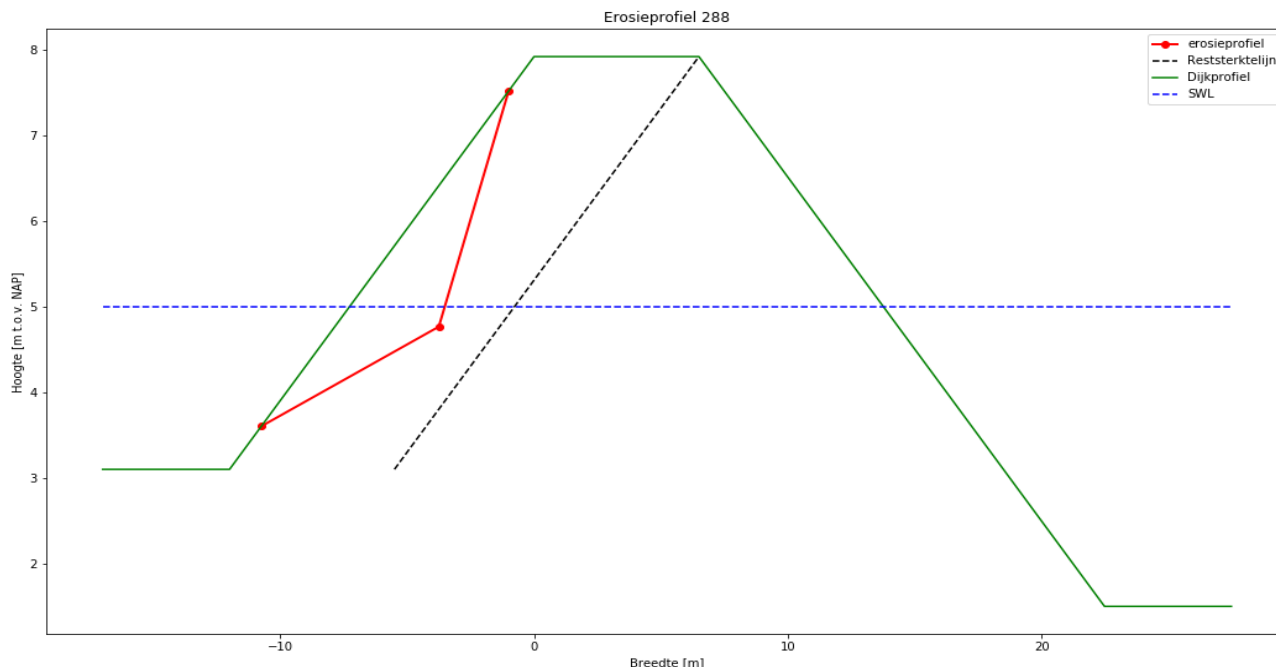
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.93 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.65 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.23 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.77 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.49 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.3 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.92 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.1 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 8.02 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.40 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.02 [-]
Br Restbreedte 2.40 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.10 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.53 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

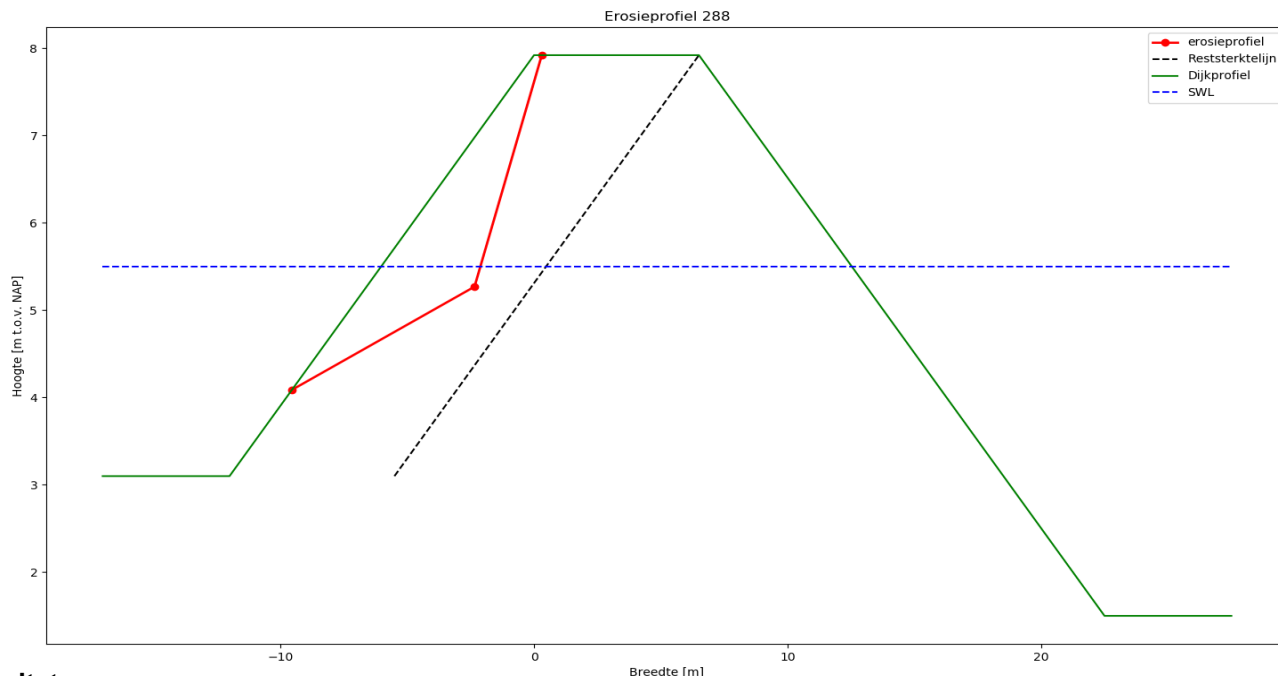
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.92 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.82 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.45 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.55 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.49 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.3 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.92 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.1 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 8.59 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.41 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.09 [-]
Br Restbreedte 2.24 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 4.26 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.59 [m]
Datum: 19/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

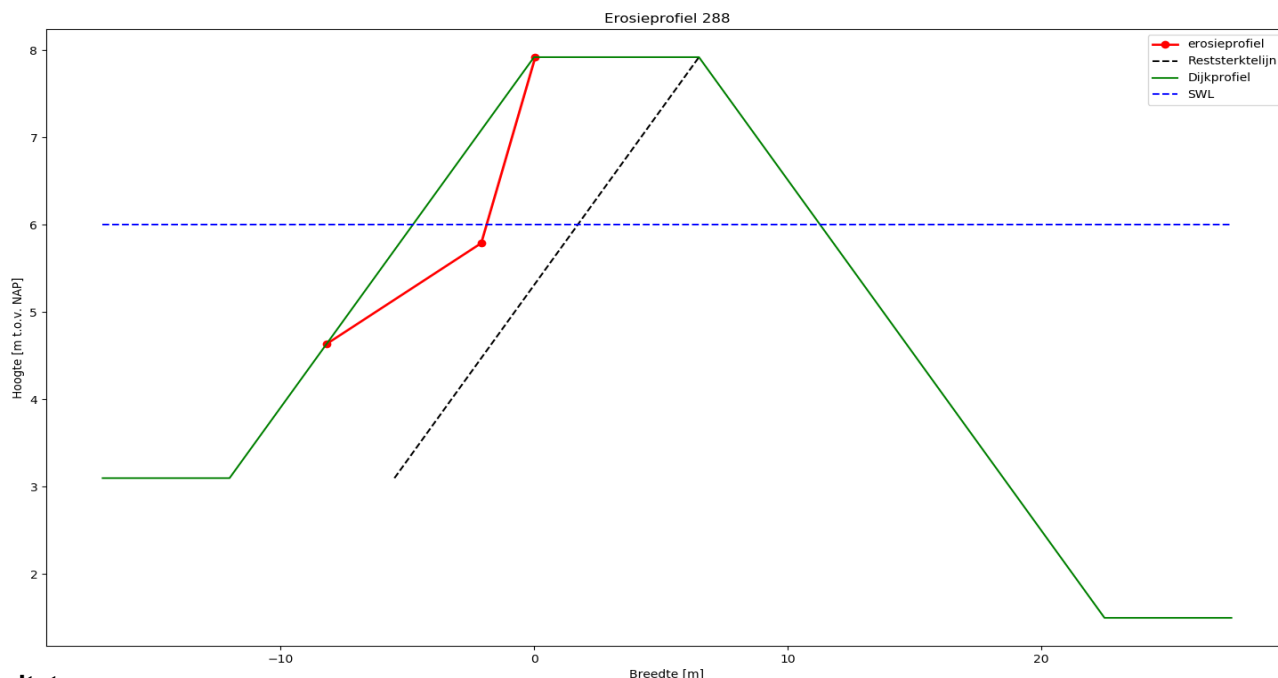
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.84 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.60 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.39 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.61 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.49 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.3 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.92 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.1 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.35 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.36 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.28 [-]
Br Restbreedte 3.28 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.22 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.20 [m]
Datum: 19/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

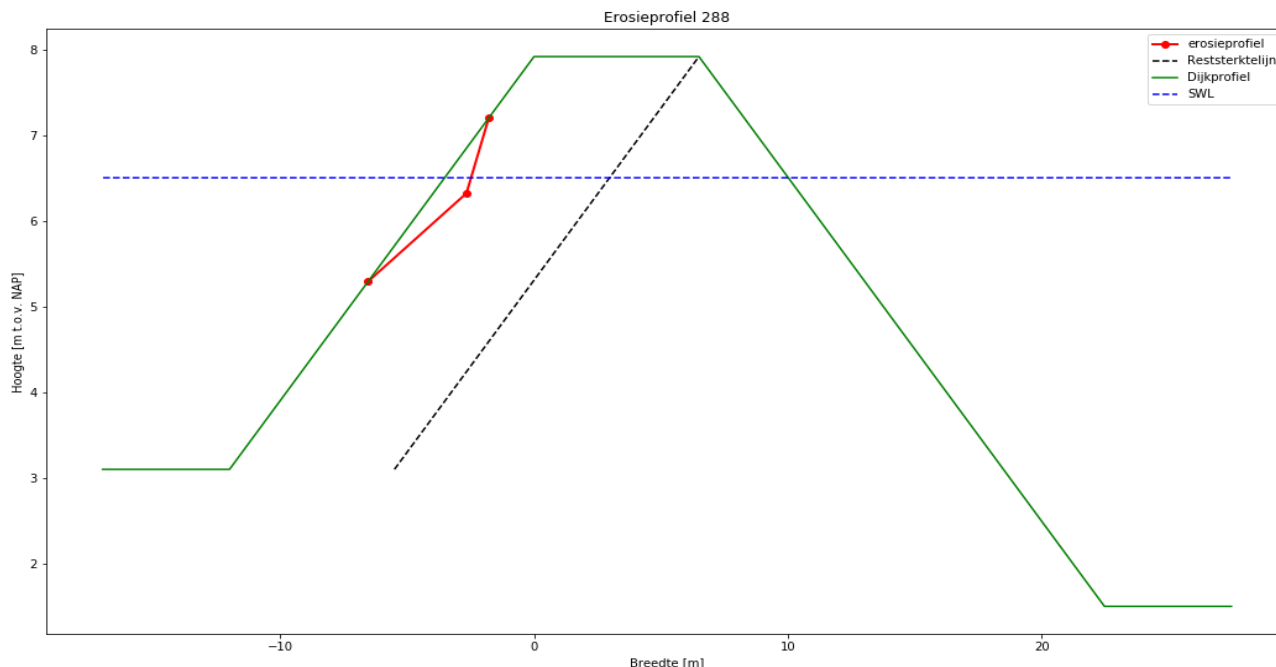
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.70 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.88 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 8.15 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 6.85 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.49 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.3 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.92 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 6.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 3.1 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 1.25 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.20 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.76 [-]
Br Restbreedte 5.19 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 1.31 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.49 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

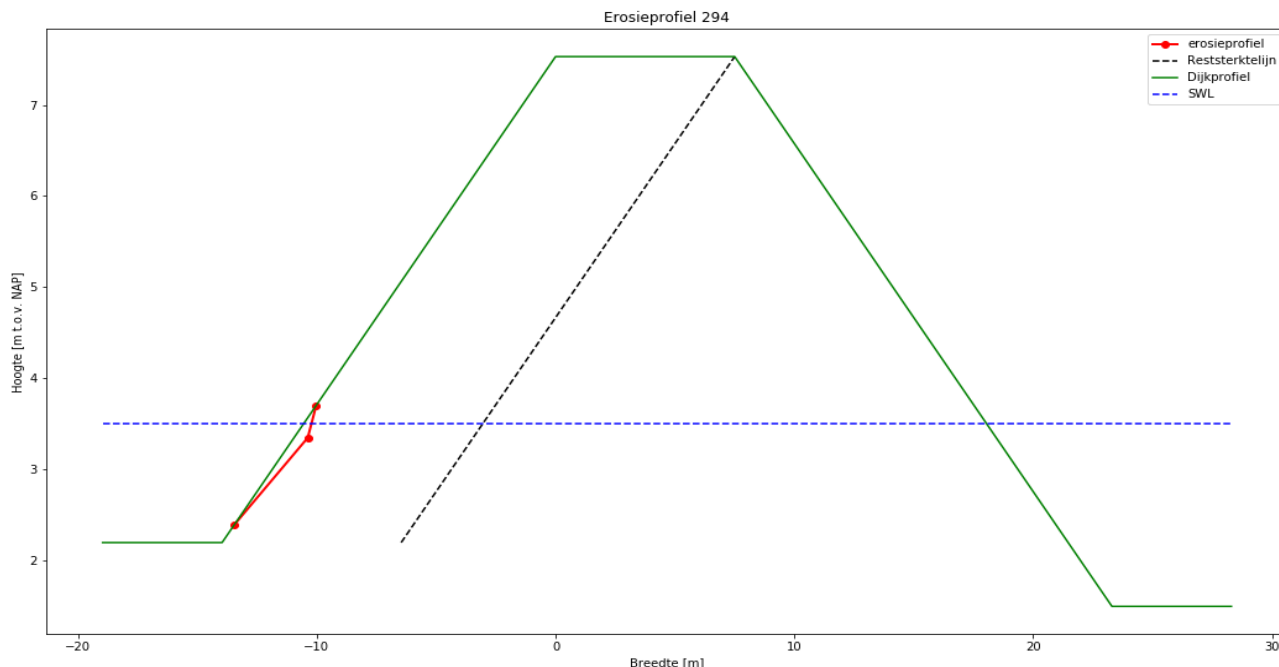
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.60 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.09 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 11.81 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 3.19 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 3.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.38 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.10 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.22 [-]
Br Restbreedte 6.92 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.58 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.21 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

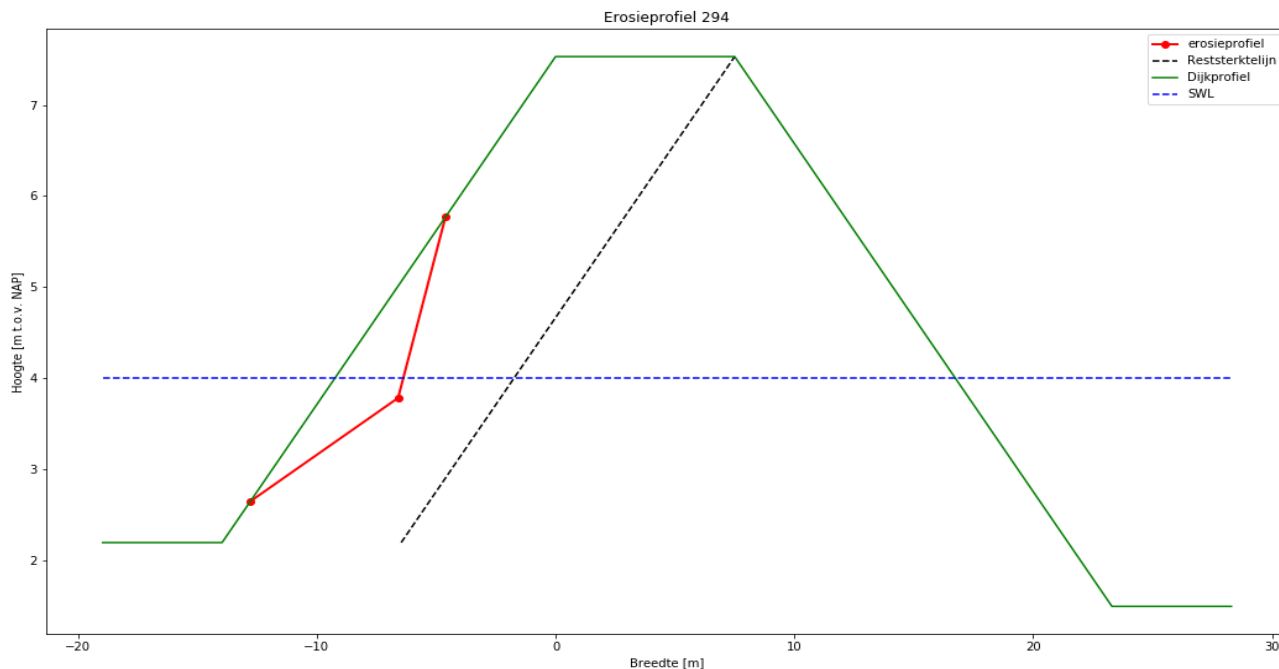
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.85 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.52 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.00 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 11.00 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.01 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.35 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.46 [-]
Br Restbreedte 4.29 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.21 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.15 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

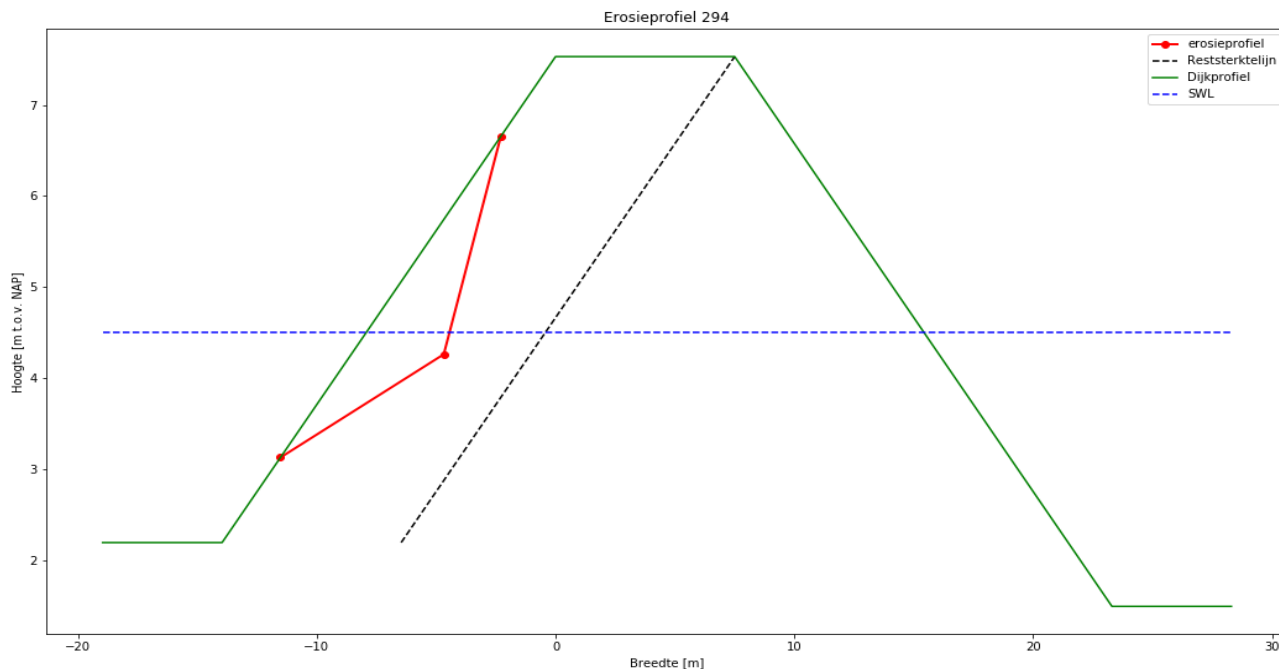
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.94 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.50 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.13 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.87 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 4.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 6.82 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.37 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.04 [-]
Br Restbreedte 3.63 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.87 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.38 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

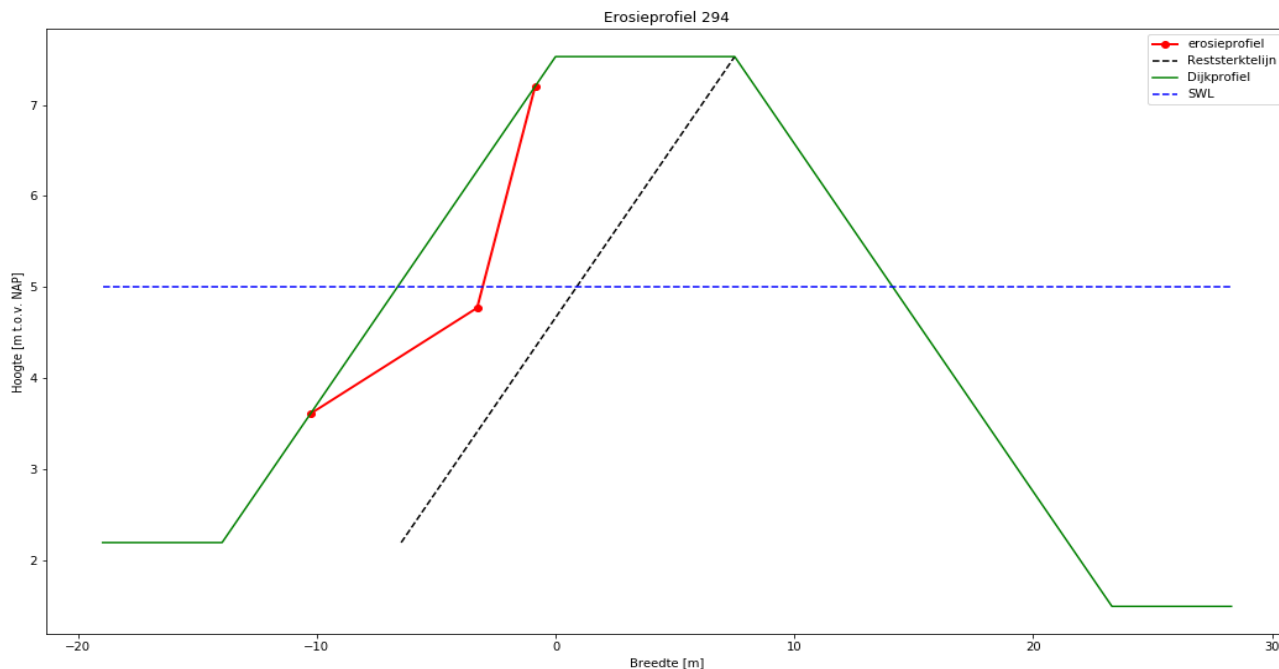
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.90 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.74 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 2.88 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 12.12 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 7.06 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.39 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 6.01 [-]
Br Restbreedte 3.56 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.94 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.40 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

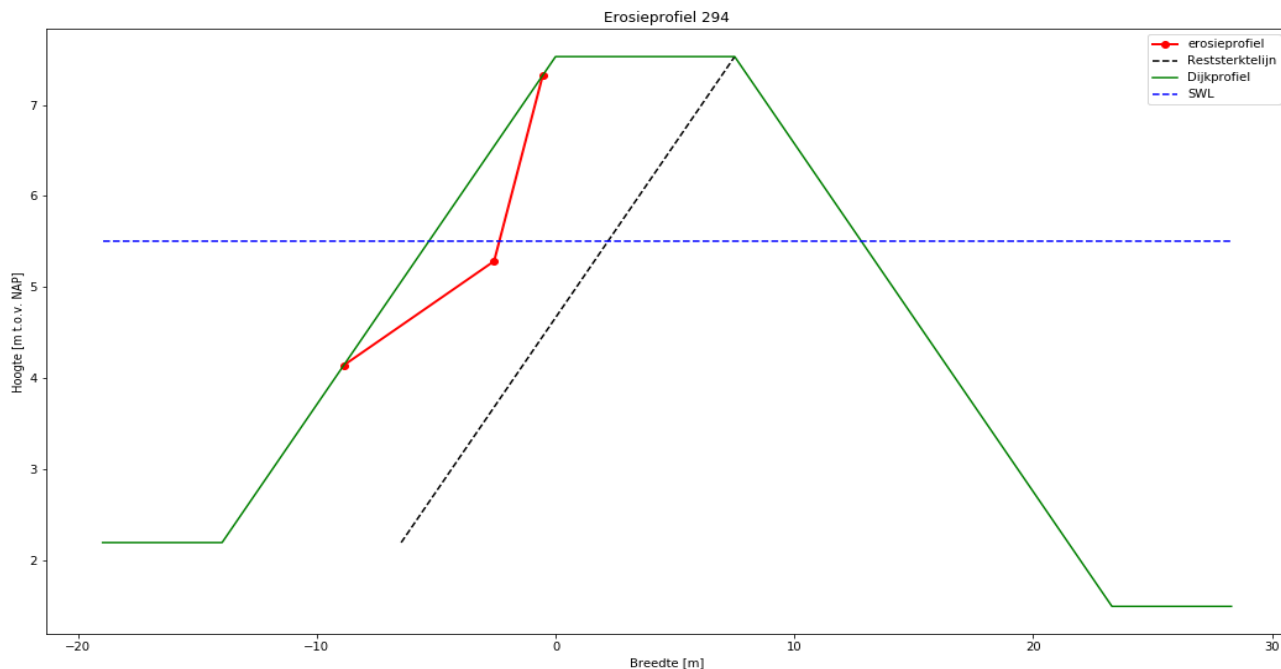
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.85 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.60 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 4.02 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 10.98 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 5.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 5.26 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.36 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 5.51 [-]
Br Restbreedte 4.20 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 3.30 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 1.18 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

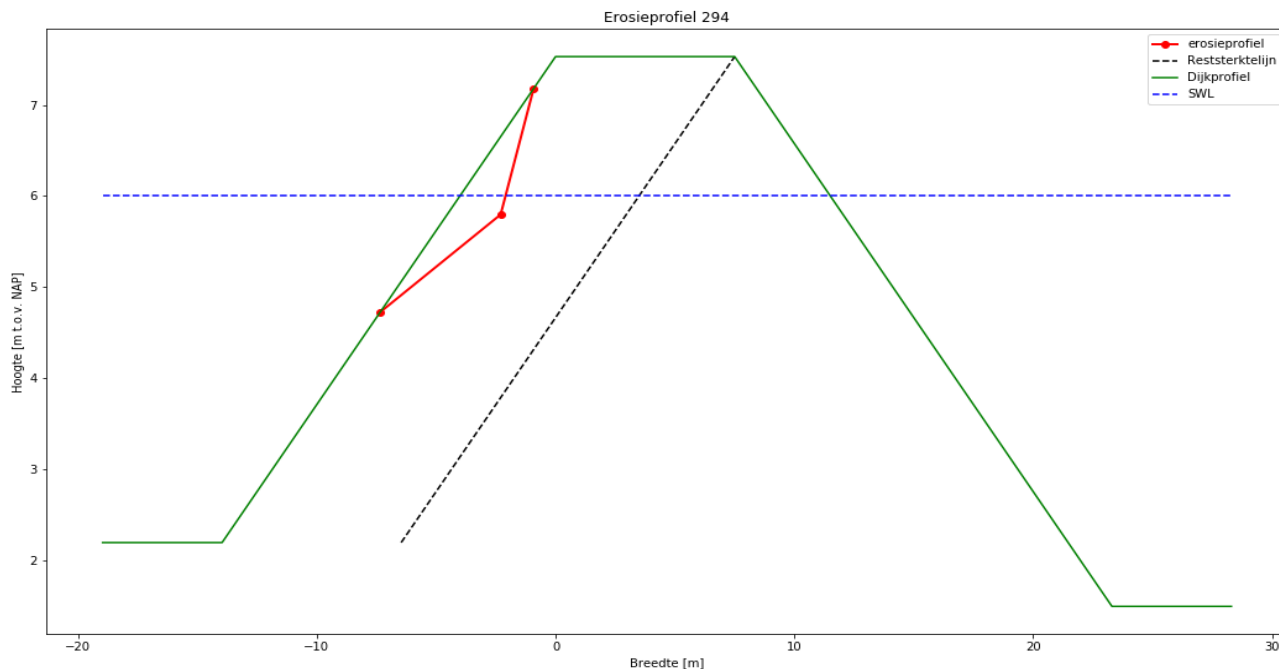
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.81 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 3.05 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 5.14 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 9.86 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.00 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 2.74 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.27 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 4.71 [-]
Br Restbreedte 5.26 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 2.24 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.80 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Erosie van een kleidijk na bezwijken van de bekleding

Versie: 1
Projectnummer: 1218-0043-004
Project: Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis
Onderwerp: Bepaling erosieprofiel



Randvoorwaarden en uitgangspunten rekensheet

*Dijk bestaat uit klei zonder zandkern / Zichtjaar 2075 / norm 1/10.000

Input

Statistische parameters

mce;d Bovengrens modelcoefficient voor erosievolume 1.36 [-]

Belasting parameters

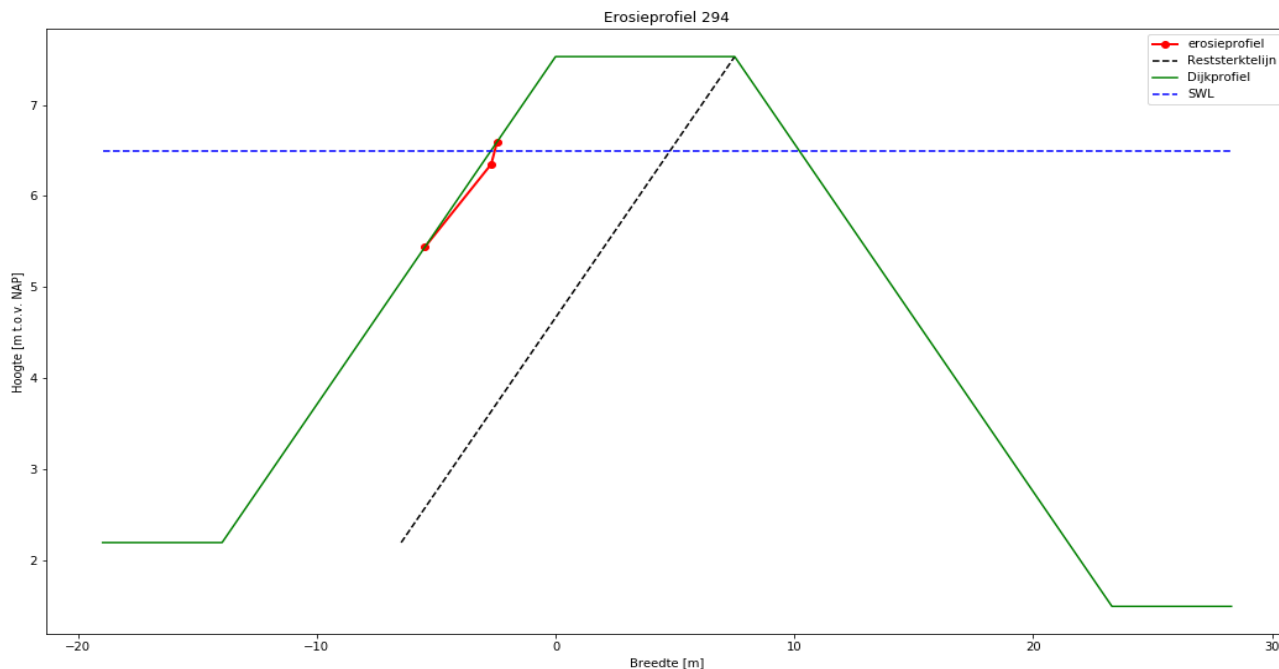
Hs Significante golfhoogte aan de teen van de dijk 0.60 [m]
Tp Golfperiode bij de peik van het spectrum 2.66 [s]
Tstorm Belastingduur 15 [uur]
Tgras Standtijdgras 11.91 [uur]
T Toegepast belasting na bezwijken gras 3.09 [uur]

Sterkte parameters

Ce Erosiecoefficient 0.55 [-]
Gras Fragmentarisch/Open/Gesloten grasmat Open [-]

Geometrie

α buiten Buitenwaartse taludhelling 2.62 [1v:xh]
 α binnen Binnenwaartse taludhelling van de waterkering 2.76 [1v:xh]
SWL Maatgevende waterstand 6.50 [m t.o.v. NAP]
Hkr Hoogte van de kruin ten opzichte van NAP 7.53 [m t.o.v. NAP]
Bkr Breedte van de kruin 7.5 [m]
Hvoorland Maaiveldhoogte voorland 2.2 [m t.o.v. NAP]
Hachterland Maaiveldhoogte achterland 1.5 [m t.o.v. NAP]



Resultaten

Berekende fase Berekende fase Fase 1 [-]
Ve Erosievolume per meter dijk 0.23 [m³/m]
dt diepte onder water van het snijpunt van originele dijkprofiel en een recht extrapolatie van het geerodeerde terras 1.06 [m]
 α t Hellingshoek van het terras 3.06 [-]
Br Restbreedte 7.10 [m]
Lhor Horizontale inscharingslengte 0.40 [m]
Lhaaks Inscharingslengte haaks op het talud 0.14 [m]
Datum: 01/02/2021 Bijlage:

Bijlage R: Steentoets

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP			
4		STEENTOETS versie 17.1.2.1, Deltares, december 2018					aanleg- jaar	schade in jaar	havendam of lage dijk?	richting normaal op dijk [gr tov N]	voorland		niveau onder- grens [m NAP]	niveau boven- grens [m NAP]	helling $\tan\alpha$	segmentbreedte (alleen nodig als $\tan\alpha=0$) [m]	type									TOPLAAG									
5		Bovenrivieren	vlak- nummer	dwars- profiel	Subvakgrenzen randvw. & vlak						niveau bij teen [m NAP]	helling $\tan\alpha_{\text{bodem}}$					toplaag	onderlagen (filter, geotex- tiel, klei, etc)	D (D_{150}) [m]	B [m]	L [m]	spleetbreedte		open oppervlak [%]	gaten in steen? ja/nee	karak. opening [mm]	soortelijke massa [kg/m ³]	inge- wassen ja/nee	D15 inwas- materiaal [mm]	goed geklemd? ja/nee/?	oneffenheden havendam [m]	ingiet- diepte [m]			
6					van	tot																													
7	fout?	Naam van dijkvak																																	

	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV
4	Geotextiel tussen toplaag en filter			BOVENSTE FILTERLAAG				GEOTEXTIEL				KLEI				ZAND			type bovenste overgang (-sconstructie)	dijkbreedte op waterstand bij de norm	>150m brede waterkering op $h_{norm} - 3m$	Opmerkingen		
5	dikte	doorlatendheid		b	D15	D50	porositeit	2e filter laag?	O90	dikte	doorlatendheid		dijkopbouw	b_{klei}	kwaliteit c1/c2/c3	D50	D90	D15	D50	D90	a0 c1	[m]	j/n/?	
6		debiet/m ²	verval	[m]	[mm]	[mm]	[-]	ja/nee	[mm]	[mm]	debiet/m ²	verval	gk/kl/kk/zs	[m]	g/m/w	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]				
7	[mm]	[l/s/m ²]	[mm]	[m]	[mm]	[mm]	[-]	ja/nee	[mm]	[mm]	[l/s/m ²]	[mm]	gk/kl/kk/zs	[m]	g/m/w	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]				

Bijlage S: Gevoeligheidsanalyse piping voor toename stijghoogte in watervoerende pakket

In deze bijlage is de gevoeligheid van het faalmechanisme piping geanalyseerd voor een toename van de stijghoogte in het watervoerende pakket. De gevoeligheid van het faalmechanisme piping voor een afname van de stijghoogte is niet beschouwd omdat een verlaging van de stijghoogte op basis van de beschikbare metingen niet kan worden onderbouwd. Dit betekent dat voor dijkvakken waar nu een veiligheidsopgave voor piping is vastgesteld geen gevoeligheidsanalyse is opgesteld.

De stijghoogte is een belangrijke parameter voor het deelfaalmechanisme opbarsten.

S.1 Invloed van toename van stijghoogte

Uit de beoordeling van het faalmechanisme piping (zie hoofdstuk 4) volgt dat het deelfaalmechanisme opbarsten leidend is voor de beoordeling van piping. Voor CUB geldt dat piping alleen voldoet als het deelfaalmechanisme opbarsten voldoet.

S.1.1 Schematiseringsfactor

Uit de pipinganalyse in hoofdstuk 4 volgt dat voor het deelfaalmechanisme opbarsten een schematiseringsfactor van 1,05 wordt gehanteerd. Hiervoor is een scenario beschouwd waarbij de stijghoogte 0,25 m onder maatgevende omstandigheden hoger is dan de op basis van peilbuizen geëxtrapoleerde stijghoogte (zie tabel 9-4 in bijlage H.3.1) met een kans van voorkomen van 10%. Bij de gehanteerde stijghoogtes zoals toegepast in deze aangescherpte veiligheidsopgave wordt daarom al een bepaalde mate van veiligheid gehanteerd.

S.1.2 Analyse per dijkvak

In de bijgevoegde tabel is per dijkpaal en per dijkvak het oordeel voor het faalmechanisme piping opgenomen. Wanneer een dijkpaal binnen een dijkvak niet voldoet voor piping dan geldt dit oordeel voor het gehele dijkvak. Voor dijkvak 4c geldt bijvoorbeeld dat dijkpaal 254 en 255 voldoen voor piping en dijkpaal 256 en 257 niet. Voor het gehele dijkvak 4c geldt dan het oordeel dat piping niet voldoet.

De gevoeligheid van de pipingopgave is bepaald door de gehanteerde stijghoogte in de aangescherpte veiligheidsanalyse steeds in stapjes $\Delta\phi$ van 0,1 m te verhogen tot een maximale stijghoogte verhoging van 1,0 m. Hieronder wordt de invloed van een toename van de stijghoogte per dijkvak nader beschouwd.

Dijkvak 1 t/m 2a

Geen invloed omdat dijkvakken nu al niet voldoen voor piping.

Dijkvak 2b (A27)

Geen invloed omdat dijkvak voldoet vanwege aanwezigheid grondlichaam A27.

Dijkvak 2c

Geen invloed omdat dijkvak nu al niet voldoet voor piping.

Dijkvak 3a

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van meer dan 8 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping ter plaatse van dijkpaal 283 bij een extra toename van 0,1 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De gevoeligheid van een toename in de stijghoogte op piping is groot. Overigens zal op grote delen van dit dijkvak ook een pipingmaatregel moeten worden

aangebracht om achterloopsheid voor de naastliggende dijkvakken 2c en 3b te voorkomen wanneer hier heaveschemen worden toegepast.

Dijkvak 3b t/m 3d

Geen invloed omdat dijkvakken nu al niet voldoen voor piping.

Dijkvak 3e

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van circa 8 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping ter plaatse van dijkpaal 267 bij een extra toename van 0,4 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De in rekening gebrachte toename van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden bedraagt nu 2,28 m (3,08 m - 0,80 m). Een extra toename van de stijghoogte van 0,4 m levert een toename van de stijghoogte van 2,68 m (= 118%). Deze extra toename wordt onwaarschijnlijk geacht. De gevoeligheid als gevolg van een extra toename in de stijghoogte op piping is beperkt.

Dijkvak 4a

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van meer dan 8 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping ter plaatse van dijkpaal 266 bij een extra toename van 0,7 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De in rekening gebrachte toename van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden bedraagt nu 1,48 m (3,08 m - 1,6 m). Een extra toename van de stijghoogte van 0,7 m levert een toename van de stijghoogte van 2,18 m (= 147%). Deze extra toename wordt zeer onwaarschijnlijk geacht. De gevoeligheid als gevolg van een extra toename in de stijghoogte op piping is nihil.

Dijkvak 4b

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van minimaal 7,7 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Dijkvak 4b is niet gevoelig voor een toename in de stijghoogte op piping. Zelfs bij een toename van 1,0 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde voldoet dit dijkvak voor piping. De in rekening gebrachte toename van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden bedraagt nu 1,48 m (3,08 m - 1,6 m). Een extra toename van de stijghoogte van 1,0 m levert een toename van de stijghoogte van 2,48 m (= 168%). Deze extra toename wordt zeer onwaarschijnlijk geacht. De gevoeligheid als gevolg van een extra toename in de stijghoogte op piping is nihil.

Dijkvak 7a t/m 8

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van meer dan 7 m voldoet deze dijkvakken in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping voor enkele dijkpalen bij een extra toename van 0,7 m tot 1,0 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De in rekening gebrachte toename van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden bedraagt nu maximaal 2,06 m (4,05 m - 2,0 m). Een extra toename van de stijghoogte van 0,7 m levert een toename van de stijghoogte van 2,76 m (= 134%). Deze extra toename wordt zeer onwaarschijnlijk geacht. De gevoeligheid als gevolg van een extra toename in de stijghoogte op piping is nihil.

Dijkvak 9a

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van meer dan 8 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping ter plaatse van dijkpaal 225 en 224 bij een extra toename van respectievelijk 0,5 m en 0,8 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De situatie ter plaatse van de overige dijkpalen binnen dit dijkvak zijn niet gevoelig voor een toename in de stijghoogte op piping. De gevoeligheid van een toename in de stijghoogte op piping is daarmee zeer beperkt.

Dijkvak 9b

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van circa 8 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Alleen ter plaatse van dijkpaal 211 voldoet piping niet bij een extra toename van respectievelijk 1,0 m t.o.v. de gehanteerde waarde. De gevoeligheid van een toename in de stijghoogte op piping is daarmee nihil.

Dijkvak 9c

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van meer dan 7 m voldoet deze dijkvakken in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping voor dijkpaal 208 bij een extra toename van 0,7 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De gevoeligheid van een toename in de stijghoogte op piping is voor deze dijkvakken daarmee zeer beperkt.

Dijkvak 9d

Door de aanwezigheid van een dikke deklaag van meer dan 7 m voldoet dit dijkvak in de huidige situatie voor piping. Dit dijkvak voldoet niet voor piping ter plaatse van dijkpaal 283 bij een extra toename van 0,1 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde. De in rekening gebrachte toename van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden bedraagt nu 2,29 m (4,89 m – 2,6 m). Een extra toename van de stijghoogte van 0,1 m levert een toename van de stijghoogte van 2,39 m (= 104%). De gevoeligheid van een toename in de stijghoogte op piping is groot.

S.2 Conclusie

De gevoeligheid van een toename in de stijghoogte op piping is groot voor de dijkvakken 3a en 9d. Een extra toename van 0,1 m van de stijghoogte t.o.v. de gehanteerde waarde resulteert in het niet voldoen voor het deelfaalmecanisme opbarsten en daarmee voor het faalmecanisme piping voor deze dijkvakken. Bij de overige dijkvakken ligt dit omslagpunt vanaf een toename van 0,4 m (dijkvak 3e) en 0,5 m (dijkvak 9a).

Dijkvak 3a

Op grote delen van dit dijkvak zal ook een pipingmaatregel moeten worden aangebracht om achterloopsheid voor de naastliggende dijkvakken 2c en 3b te voorkomen wanneer hier heaveschemen worden toegepast. Daarnaast is er ter plaatse van dit dijkvak een dikke klei deklaag (meer dan 8 m) aanwezig. Het is daarom niet waarschijnlijk dat piping hier zal optreden.

Dijkvak 9d

Ter plaatse van dit dijkvak is een dikke klei deklaag (ca. 7 m) aanwezig. Het is daarom niet waarschijnlijk dat piping hier zal optreden.

Bijlage T: Gevoeligheidsanalyse stabiliteit binnenwaarts voor toename stijghoogte in watervoerende pakket

In deze bijlage is de gevoeligheid van het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts geanalyseerd voor een toename van de stijghoogte in het watervoerende zandpakket.

T.1 Invloed van toename van stijghoogte op STBI

Bij de beoordeling van het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts zijn onderstaande resultaten gevonden (zie hoofdstuk 3).

Tabel 8-6 Resultaten stabiliteitsanalyse macrostabiliteit binnenwaarts en invloed 0,5 m hogere stijghoogte

Dijkvak	Dijkpaal	Opbarst veiligheid	STBI bij WBN SF [-]	Invloed van 0,5 m hogere stijghoogte
9b+d	205	1,22	1,52	Geen invloed; SF = 1,52
9c	209	1,33	1,28	
9a	224	1,28	1,38	Geen invloed; SF = 1,38
8	227	1,35	1,73	
7a en 7c	231	1,44	1,40	
7b	235	1,29	1,45	
6	244+120	-	1,53	
	244+200 244+355	-	n.v.t. (hoog achterland)	
	244+635	-	1,42	
5b	248	1,19	1,46	Beperkte invloed; SF = 1,45
4c + 5a	255	1,74	1,80	
4a+4b	265	1,27	1,79	
3e	267	1,30	1,98	
3d	275	0,61	1,38	Grenspotentiaal; geen invloed
3b+3c	280	1,23	1,15	
3a	283	1,33	2,09	
2c	287	0,77	1,12	Grenspotentiaal; geen invloed
2b	n.v.t.			
2a	295	0,95	1,46	Grenspotentiaal; geen invloed
1 zuid	300	0,85	1,48	Grenspotentiaal; geen invloed
1 noord	303	0,91	1,38	Grenspotentiaal; geen invloed

Voor aan aantal representatieve dwarsprofielen is opnieuw de binnenwaartse stabiliteit berekend waarbij in het watervoerende zandpakket de stijghoogte ter plaatse van de binnentoe van de dijk met 0,5 m is verhoogd. Uit de berekende dwarsprofielen 205, 224 en 248 volgt dat de berekende stabiliteitsfactor niet of zeer beperkt veranderd ten opzichte van de situatie zonder verhoging van de stijghoogte. Dit wordt bij deze dwarsprofielen veroorzaakt door de aanwezigheid van een dikke deklaag (circa 8 m) waarbij aan de onderzijde met een indringingslengte van 2 m wordt gerekend. Een verhoging van de stijghoogte heeft hierdoor geen effect op het gedeelte van de deklaag boven de indringingslengte. De maatgevende glijcirkels gaan veelal niet door de diep gelegen indringingslaag zodat de stabiliteit niet of slechts zeer beperkt wordt verminderd bij verhoging van de stijghoogte in het watervoerende zandpakket.

Bij een groot aantal dijkvakken wordt in de berekening van de binnenwaartse stabiliteit de grenspotentiaal gehanteerd omdat de deklaag in het achterland op deze locaties dun is. Wanneer de grenspotentiaal is toegepast kan de stijghoogte niet verder stijgen. Op deze locaties is geen invloed van een hogere stijghoogte mogelijk.

T.2 Conclusie

De gevoeligheid van een toename van de stijghoogte in het watervoerende zandpakket op het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts is zeer beperkt. Dit heeft twee oorzaken:

- Een deel van de dijkvakken heeft een dikke deklaag (circa 8 m) waarbij aan de onderzijde met een indringingslengte van 2 m wordt gerekend. Een verhoging van de stijghoogte heeft hierdoor geen effect op het gedeelte van de deklaag boven de indringingslengte. De maatgevende glijcirkels gaan veelal niet door de diep gelegen indringingslaag zodat de stabiliteit niet of slechts zeer beperkt wordt verminderd bij verhoging van de stijghoogte in het watervoerende zandpakket.
- Bij een groot aantal dijkvakken wordt in de berekening van de binnenwaartse stabiliteit de grenspotentiaal gehanteerd omdat de deklaag in het achterland op deze locaties dun is. Wanneer de grenspotentiaal is toegepast kan de stijghoogte niet verder stijgen. Op deze locaties is geen invloed van een hogere stijghoogte mogelijk.

Bijlage U: Plaxis beoordeling kadeconstructie buitenteen Fort Honswijk (STBU)

Plaxis beoordeling kadeconstructie Fort Honswijk

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2
3994 DD Houten

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

STERKE LEKDIJK

Culemborgseveer - Beatrixsluis

Titel	Plaxis beoordeling kadeconstructie Fort Honswijk
Kenmerk	SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0038
Versie	Definitief
Datum	1-3-2021
Projectnaam	Dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluizen
Projectnummer	BF5981

Opgesteld door:
N. Stoop

Datum
1-3-2021

Handtekening



Gecontroleerd door

J. Hockx
M. Hinborch

Datum
1-3-2021

Handtekening



Vrijgegeven door:

E. Arnold

Datum
1-3-2021

Handtekening



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de aangescherpte veiligheidsopgave [1] is de grondwal met een kadeconstructie langs de buitenteen (DP244+200) beoordeeld in het programma D-GEO Suite Stability. In deze stabiliteitsbeoordeling (STBU) is de damwand geschematiseerd als een “forbidden line” waardoor er geen glijvlakken door de damwand kunnen optreden. Op basis deze beoordeling is een indicatieve stabiliteitsfactor berekend ervan uitgaande dat damwandconstructie niet faalt. In de beoordeling is zodoende niet aangetoond of de damwandconstructie voldoende sterk en stabiel is om de optredende krachten op te nemen. Om deze reden is de stabiliteit conform de POVM Publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies (PPL) en de POVM Publicatie Rekentechnieken, EEM toepassing binnen het ontwerp (PPE) nader beoordeeld in het eindige elementen model PLAXIS. De beoordeling van buitenwaartse stabiliteit van de kadeconstructie in Fort Honswijk is deze rapportage opgenomen.

1.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

De beoordeling in PLAXIS 2D is een nadere beschouwing op de berekening die in paragraaf 7.2.4 van de aangescherpte veiligheidsopgave [1] is uitgevoerd in D-GEO Suite Stability. De specifieke uitgangspunten voor de PLAXIS berekening zijn in dit hoofdstuk beschreven. De uitgangspunten betreffende de geometrie, hydraulische belasting, bovenbelasting en bodemopbouw zijn overgenomen deze betreffende paragraaf.

1.3 Beschikbare bronnen

- [1] Aanscherping veiligheidsanalyse CUB, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, januari 2021, SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0138;
- [2] POVM Publicatie Langsconstructies (PPL), versie 1.2, maart 2020;
- [3] POVM Publicatie Eindige elementenmethode (PPE) , versie 1.2, maart 2020;
- [4] Nieuwe methode bepaling corrosietoeslag bij stalen damwanden in waterkeringen”, 1 december 2015, programmabureau HWBP-2, RWS.
- [5] Ontwerptekening, verbetering noorder lekdijk Fort Honswijk – Stuw Hagenstein (hm 244 t/m 268), Stalen damwanden bij Fort Honswijk, oktober 1985

2 Ontwerpaanpak

Voor het ontwerp van de langsconstructies wordt gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- POVM Publicatie Langsconstructies (PPL), versie 1.2, maart 2020.
- POVM Publicatie Eindige elementenmethode (PPE), versie 1.2, maart 2020.

2.1 Fasering

De volgende rekenfasering wordt in PLAXIS gebruikt:

- Fase 1a: Initiële fase, geometrie bestaande dijk, dagelijkse waterstand en stijghoogte
- Fase 1b: 0-fase
- Fase 1c: Consolidatie
- Fase 3a: Lange termijn, bodemdaling
- Fase 3b: Zakkende grond op ankers
- Fase 4a: Extreme belasting: WBN en opdrijfpotentiaal aanbrengen
- Fase 4b: Vervormingstoets
- Fase 4c: Overstap naar SHANSEP parameters
- Fase 4d: Aanbrengen bovenbelasting
- Fase 5: Constructieve toets
- Fase 6a: Geotechnische toets
- Fase 6b: Sterktereductie (ϕ -c-reductie)

Omdat in dit geval een bestaande damwandconstructie wordt berekend is deze al vanaf fase 1 meegenomen in het model, zodoende is fase 2 (toevoegen van constructie en/of grondaanvulling) overgeslagen.

2.2 Partiële factoren

In deze paragraaf zijn de partiële factoren afgeleid voor de geotechnische toetsing en de toetsing van de constructieve elementen. Alle partiële factoren zijn weergegeven in tabel 1.

Schadefactor (y_n)

De schadefactoren zijn afgeleid voor het normtraject 44-1 binnen de dijkversterking. Voor het ontwerp van de langsconstructies wordt uitgegaan van de standaard faalkansverdeling uit de PPL;

- 33% Geotechnisch bezwijken;
- 33% Constructief bezwijken damwand;
- 33% Falen van de verankering.

Bovenstaande verdeling leidt voor stabiliteit buitenwaarts (STBU) tot een schadefactor van 1,14.

Modelfactor voor toepassen Plaxis ($y_{d:EEM}$)

De modelfactor voor het in rekening brengen van modelonzekerheid bij het berekenen van stabiliteit en constructief falen in Plaxis is gelijk aan 1,06 [2].

Modelfactor voor vervormingen ($y_{d:vervormingen}$)

De modelfactor ($y_{d:vervormingen}$) voor het in rekening brengen van modelonzekerheid bij het berekenen van vervormingen

Materiaalfactor (y_m)

Op basis van de PPE [3] de volgende materiaalfactoren afgeleid. De materiaalfactoren op de grondsterkte zijn 1,0. De materiaalsterkte factoren voor de ankerconstructie zijn respectievelijk 1,0 voor de vloeispanning en 1,4 voor de karakteristieke breuksterkte. De materiaalsterkte factor voor de stalen damwand is 1,0.

Schematiseringsfactor ($y_{b;GEO}$ & $y_{b;STR}$)

De schematiseringsfactor ($y_{b;GEO}$) voor macrostabiliteit buitenwaarts is afgeleid in de aangescherpte veiligheidsanalyse [1]. De schematiseringsfactor is 1,1. De schematiseringsfactor ($y_{b;STR}$) voor krachten en momenten is gelijk gesteld aan 1,1.

Belastingeffect-factoren (y_{add})

De belastingeffect-factoren voor een stalen damwand zijn 1,0 voor zowel het moment ($y_{add,M}$) als de normaalkracht ($y_{add,N}$) [3]. De belastingeffect-factoren voor een ankerverbinding is 1,25 [3].

Tabel 1: Partiële factoren voor het damwandontwerp in Plaxis

Omschrijving		Factor	Toegepast op:	Bron
Schadefactor:	$\gamma_{n;LC}$	1,14	Sterkteparameters	PPL [2]
Modelfactor EEM:				
- Grondsterkte	$\gamma_{d;EEM}$	1,06	Sterkteparameters	PPE[3]
- Vervorming	$\gamma_{d;vervorming}$	1,3	Berekende vervormingen	
Schematiseringsfactor:				
- Stabiliteit	$\gamma_{b;GEO}$	1,10	Toetsing sterktereductie	[1]
- Krachten in constructie	$\gamma_{b;STR}$	1,10	Berekende snedekrachten	
Belastingeffectfactor stalen damwand:				
- Moment	$\gamma_{add;M}$	1,0	Berekende snedekrachten	PPL [2]
- Normaalkracht	$\gamma_{add;N}$	1,0	Berekende snedekrachten	
- Dwarskracht	$\gamma_{add;V}$	1,0	Berekende snedekrachten	
Belastingeffectfactor ankerstaaf	$\gamma_{F;A,st}$	1,25	Berekende snedekrachten	PPL [2]
Materiaalfactoren:				
- Grondsterkte	γ_m	1,0	Sterkteparameters	PPE [2].
- Vloeispanning (anker)	$\gamma_{m;A,vs}$	1,0	Sterkteparameters	
- Breuksterkte (anker)	$\gamma_{m;A,bs}$	1,39	Sterkteparameters	
- Stalen damwand	$\gamma_{m;D}$	1,0	Sterkteparameters	

2.3 Levensduur

Aangenomen is dat de langconstructies in 1985 is ontworpen (qua sterkte) voor een levensduur van 100 jaar (corrosie). In de beoordeling is uitgegaan van het zichtjaar 2073. De levensduur van de damwand is zodoende nog niet verstreken bij het zichtjaar.

2.4 Sterkte- en stijfheidsparameters

Voor het uitvoeren van de berekeningen dienen voor diverse grondmodellen geotechnische parameters te worden afgeleid. De meeste parameters van het SSC en HS model zijn afgeleid o.b.v. de proevenverzameling en initiële D-GEO Suite Stability beoordeling. De additionele parameter en de parameters van het user defined soil model: NGI-ADP SHANSHEP zijn afgeleid o.b.v. de PLAXIS berekening uitgevoerd voor deeltraject Salmsteke binnen "Sterke Lekdijk" [xx] en voorbeelden in de PPE en PPL en ervaringen bij andere projecten. De parameters zijn opgenomen in bijlage A1.

2.5 Gedraineerd en ongedraineerd grondgedrag

Het onderscheid tussen gedraineerd en ongedraineerd gedrag van grondlagen wordt geschematiseerd zoals is te zien in de rekenfasering. Ongedraineerd gedrag in Plaxis op de volgende manier gemodelleerd:

- In fase 4b met de vervormingstoets wordt gebruik gemaakt van SSC parameters in combinatie met de 'undrained' optie in Plaxis ('ignore undrained behaviour' uitgevinkt).
- In fase 4c t/m 6b wordt gerekend met de ongedraineerde schuifsterkte door middel van het SHANSEP model, in combinatie met de 'undrained optie'.

2.6 Eigenschappen constructies

In figuur 1 is een overzichtsfoto opgenomen van de damwand en ankerconstructie ter plaatse van het buitentalud van de grondwal van Fort Honswijk.



Figuur 1: Situatie damwand buitentalud grondwal Fort Honswijk

Het type en de eigenschappen damwandconstructie van afgeleid uit de ontwerptekening van de dijkversterking in 1985 [5]. Op basis van de ontwerptekening in uitgegaan van de volgende eigenschappen van aanwezige constructieve elementen:

- Damwand:
 - Type: Hoesch 175
 - Bovenkant damwand: NAP +5,0 m
 - Onderkant damwand: NAP -12,0 m
 - Lengte damwand: 17,0 m
 - Dikte lijf: $e = 10$ mm
 - Dikte flens: $e = 14$ mm
 - Staalddoorsnede: $A = 223$ cm²/m en $A_{corr} = 185$ cm²/m
 - Weerstandsmoment: $W = 2600$ cm³/m en $W_{corr} = 2158$ cm³/m
 - Traagheidsmoment: $I = 44200$ cm⁴/m
 - Rekestijfheid: $EA = 4,68E6$ kNm²/m
 - Buigstijfheid: $EI = 92820$ kN/m²
 - Staalkwaliteit: FE510
 - Vloeispanning: $f_y = 355$ N/mm²
 - Maximale moment: $M_{max} = 923$ kNm/m

- Groutanker:
 - Type: dywidag
 - Niveau bovenkant ankers: NAP +3,50 m
 - Diameter ankerstang: 32 mm
 - Staaldoorsnede: $A = 804 \text{ mm}^2/\text{anker}$
 - Rekstijfheid: $EA = 168840 \text{ kN/anker}$
 - Hart-op-hart afstand ankers (hhoh): 1,05 m
 - Lengte ankerstang: ca. 25 m
 - Hoek verankering: 45° t.o.v. horizontaal
 - Maximale ankerkracht: $F_{A,r} = 845 \text{ kN}$

Voor de corrosiesnelheid zijn de volgende waarden conform het ENW-advies [4] toegepast voor stalen damwanden:

- Zone permanent onder de grondwaterstand: 2,4 mm corrosie (dubbelzijdig) in 100 jaar

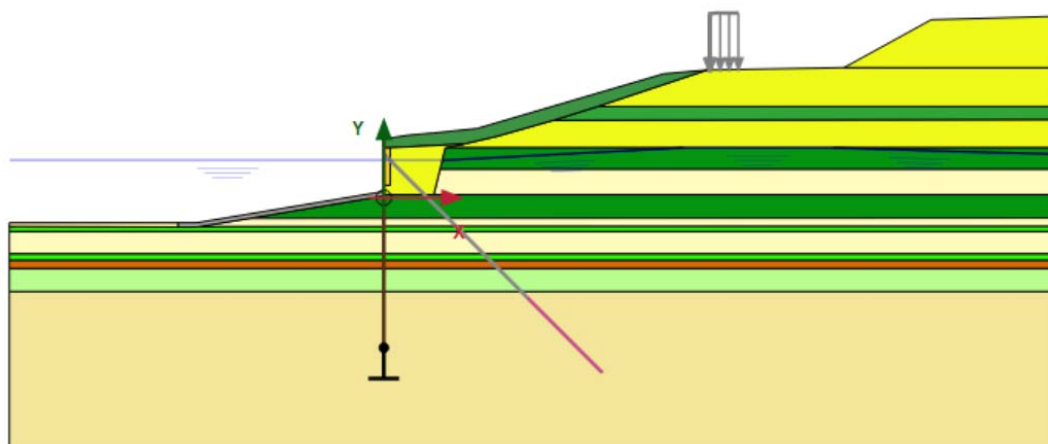
Permanente ankers worden doorgaans voorzien van een corrosiebescherming. Het is op basis van de beschikbare gegevens niet met zekerheid vast te stellen of een corrosiebescherming aangebracht is. Uit veilig en niet te conservatief oogpunt is om deze reden verondersteld dat corrosiesnelheid van de ankers gelijk is aan die van de damwand.

In Plaxis wordt gerekend met de ongecorrodeerde doorsnede (rekstijfheid EA en buigstijfheid EI) van de damwand en de ankers. Dit geeft een bovengrens van de krachten in de constructie. De corrosie wordt verrekend bij de toetsing van de staaldoorsnede.

2.7 Veiligheidsfilosofie

- Berekeningen in Plaxis zijn uitgevoerd conform de in de PPE [3] en PPL [3] gegeven richtlijnen;
- Voor alle in grond ingebedde damwanden is voor de corrosie uitgegaan van het ENW advies [4] voor damwanden die volledig in de grond zitten;
- Er is rekening gehouden met de volgende scenario:
 - Val na hoogwater (STBU);
- De damwanden zijn beoordeeld op de volgende mechanismen:
 - Geotechnische stabiliteit (GEO-1);
 - Constructieve damwand (STR-1);
 - Vervorming door hoogwaterbelasting;
 - Sterkte ankerstang (STR-2);
- Uitgangspunten voor ontwerpen van ankers is een groutanker met hoek van 45 graden.
- Voorspanning in ankers .

In figuur 2 is schermafbeelding van de damwandconstructie in Plaxis weergegeven.



Figuur 2: De damwandconstructie in Plaxis

3 Beoordeling damwandconstructie

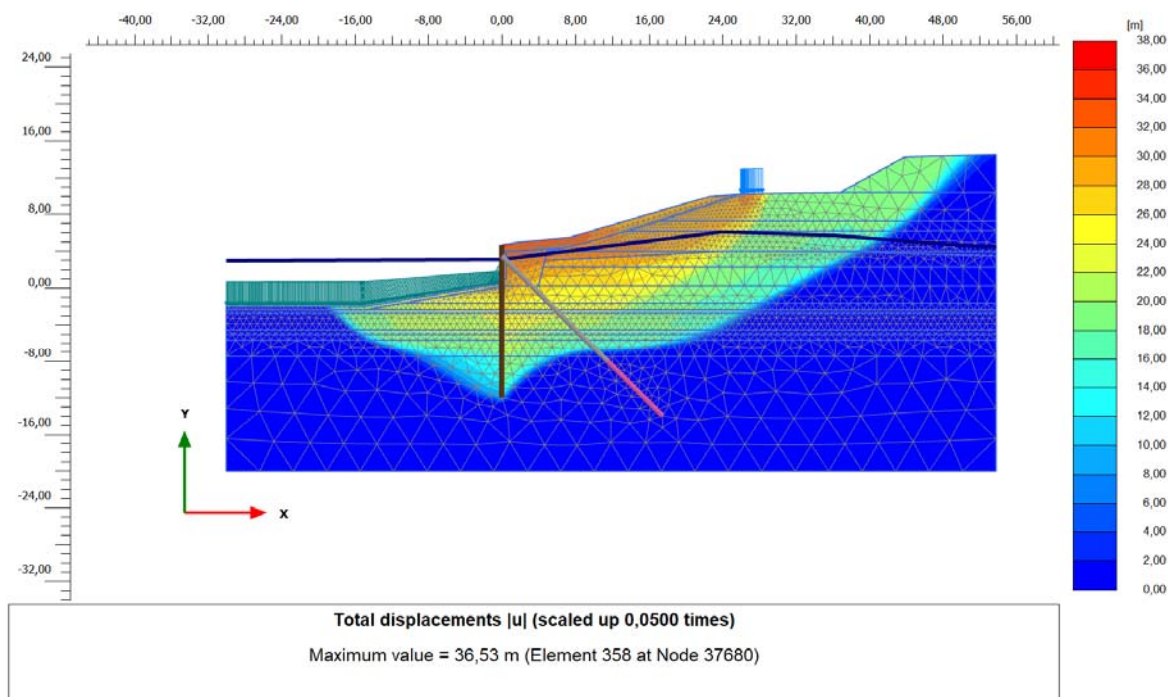
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de geotechnische toets en de beoordeling van de constructieve elementen beschreven.

3.1 Geotechnische toets

De toets van de stabiliteit is uitgevoerd voor de buitenwaartse stabiliteit in de situatie val na MHW. verzadigde situatie. De schadefactor, modelfactor voor Plaxis en materiaalfactoren zijn in Plaxis verdisconteerd in de sterkteparameters door middel van een ‘Design Approach’. De geotechnische stabiliteit wordt in Plaxis getoetst door middel van een sterktereductie, waarbij minimaal de waarde van ΣM_{sf} gelijk aan de schematiseringsfactor voor stabiliteit ($\gamma_{b;GEO}$) behaald dient te worden. Indien de stabiliteit niet voldoet aan de schematiseringsfactor dan zal de schematiseringsfactor voor het ontwerp van de langsconstructies nader afgeleid moeten worden met aanvullende Plaxis analyses. Het maatgevende glijvlak is weergegeven in figuur 3. De berekende stabiliteitsfactor is gelijk aan 1,60. Hiermee wordt voldaan aan de eis.

$$\Sigma M_{sf} = 1,60 \geq \gamma_{b;GEO} = 1,10 \text{ voldoet}$$

Om instabiliteit van het talud van de bovenste grondlichaam te voorkomen is de c-phi reductie in dit gedeelte van het talud uitgeschakeld. Hierdoor wordt niet het maatgevende glijvlak van het talud gevonden bij de beoordeling van de stabiliteit maar het maatgevende glijvlak onder de damwand door.



Figuur 3: Maatgevend glijvlak STBU damwandconstructie Fort Honswijk

3.2 Toets damwand

Voor deze fase van het ontwerp wordt alleen de staalspanning in de damwand getoetst op basis van het berekende moment en de normaalkracht in de damwand. In de berekening is uitgevoerd voor het scenario val naar hoogwater (STBU). Het moment ($M_{s;max;EEM}$) en de normaalkracht ($N_{s;max;EEM}$) in de constructie die

in Plaxis berekend worden in fase 5, worden vermenigvuldigd met de schematiseringsfactor ($\gamma_{b,STR}$) en belastingeffectfactoren (γ_{add} of γ_F) voor het verkrijgen van de rekenwaarden.

De rekenwaarden van de krachten in de damwand worden berekend met:

$$N_{S;d} = \gamma_{add;N} \cdot N_{S;max;EEM} \cdot \gamma_{b;STR} = 1,0 \cdot 408,0 \cdot 1,10 = 448,8 \text{ kN/m}$$

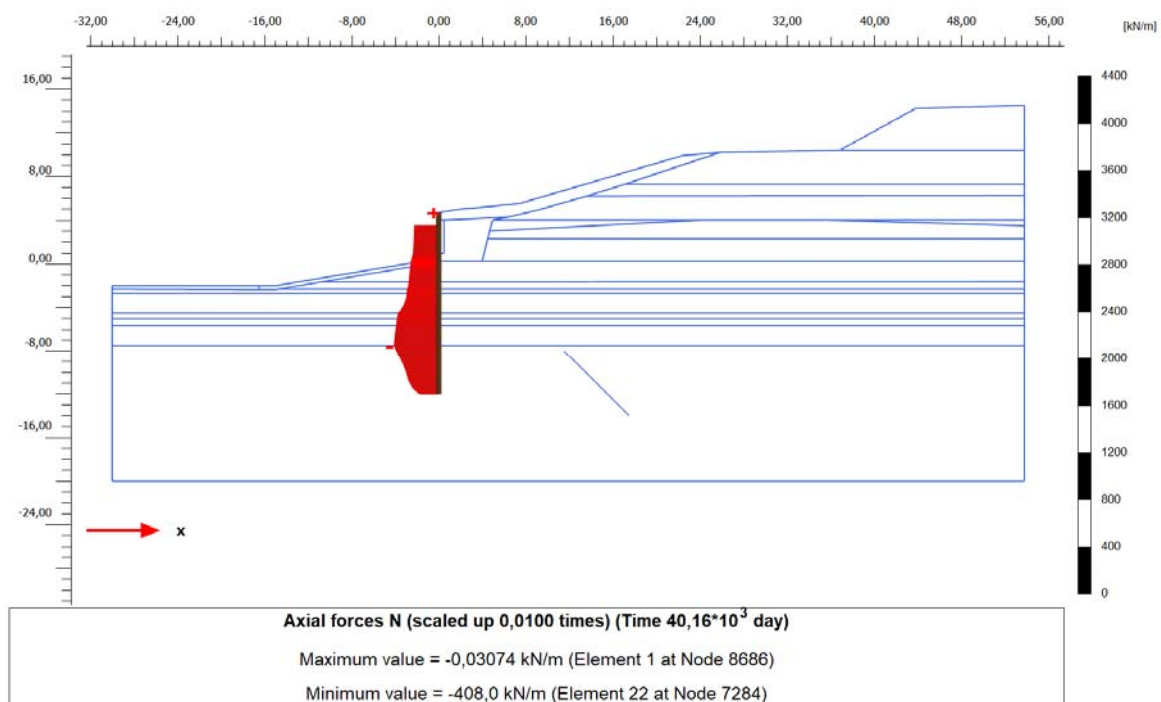
$$M_{S;d} = \gamma_{add;M} \cdot M_{S;max;EEM} \cdot \gamma_{b;STR} = 1,0 \cdot 435,6 \cdot 1,10 = 479,2 \text{ kNm/m}$$

De normaalkracht is bepaald op het niveau van het maximum moment. De rekenwaarden worden getoetst aan de vloeispanning van de damwand met de corrodeerde doorsnede-eigenschappen van de damwand:

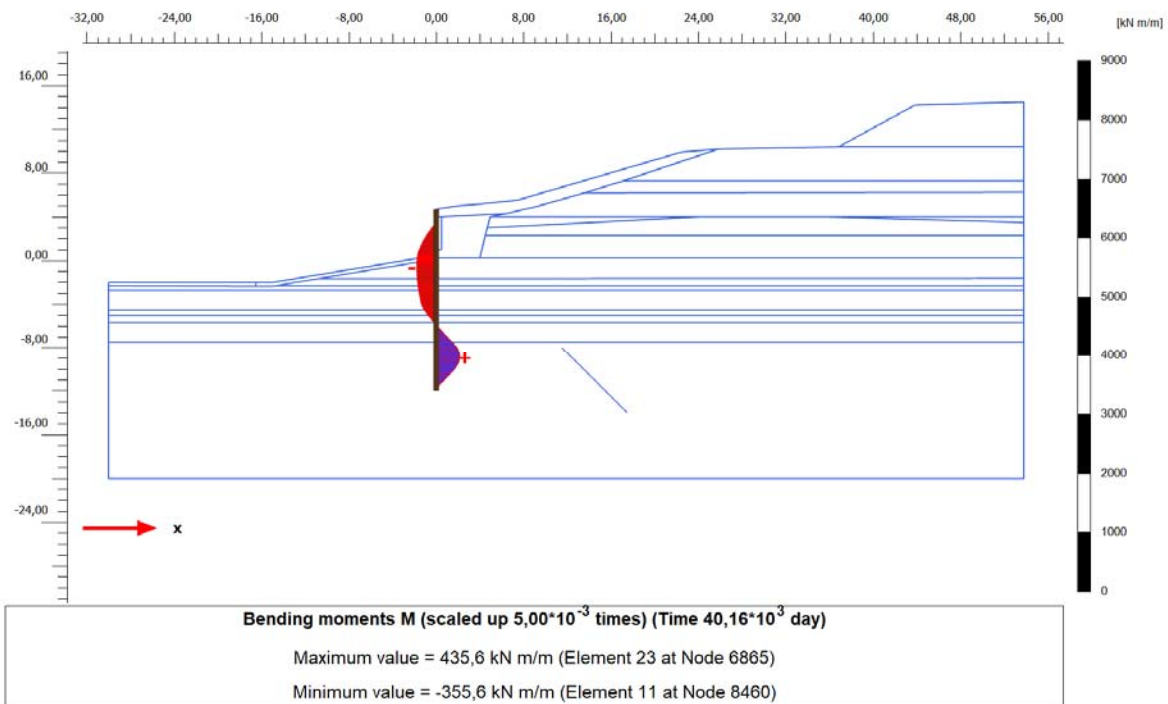
$$\sigma_{S;dw;d} = \frac{M_{S;d}}{W_{corr}} + \frac{N_{S;d}}{A_{corr}} = 246 \text{ N/mm}^2 f_{y;dw;d}$$

$$u. c. = \frac{\sigma_{S;dw;d}}{f_{y;dw;d}} = \frac{241}{355} = 0,69 < 1,0 \text{ voldoet}$$

In onderstaande afbeeldingen is de verdeling van de kracht en het moment in de damwand weergegeven.



Figuur 4: Representatieve waarde van de normaalkracht in de damwand



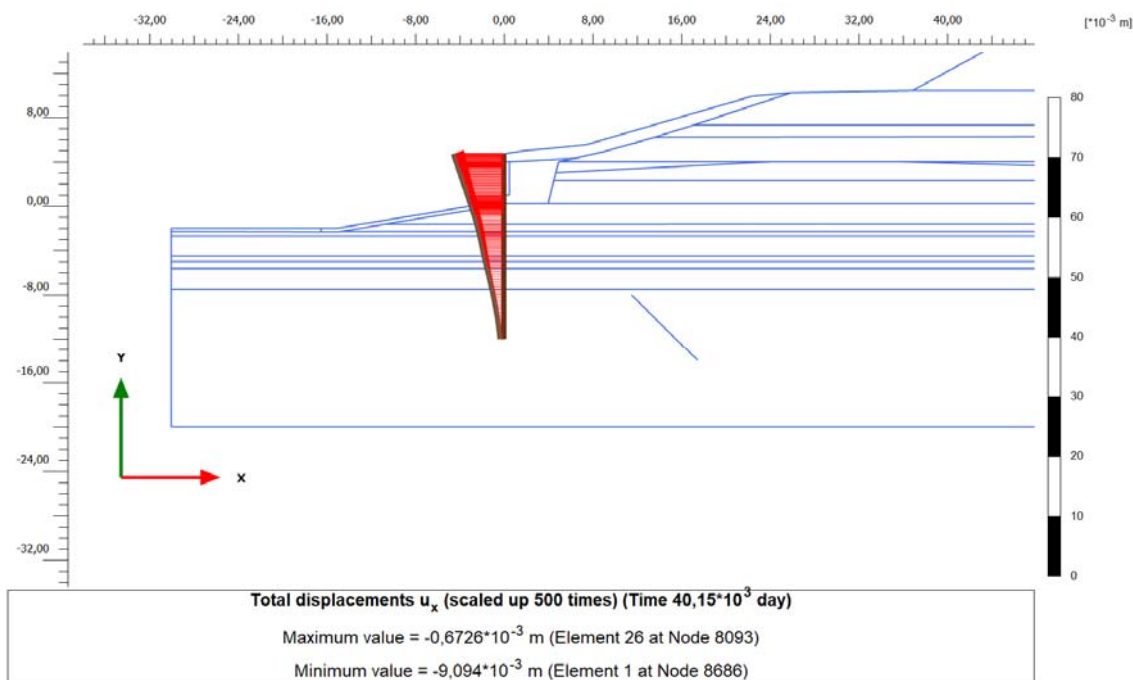
Figuur 5: Representatieve waarde van het moment in de damwand

3.3 Toets vervormingen

De rekenwaarde van de horizontale vervorming van de damwand wordt getoetst aan de eis voor de uitbuiging van de constructie:

$$u_{x,dw;d} = \gamma_{d,verv} \cdot u_{x,max,dw} = 1,3 \cdot 9,1 = 11,8 \text{ mm} < 100 \text{ mm voldoet}$$

De toets van de kruindaling en verschilvervorming tussen de binnenteen en buitenteen van de dijk zijn niet relevant voor de buitenwaartse stabiliteit.



Figuur 6: Horizontale vervormingen de damwand

3.4 Toets verankering

In de beoordeling van het anker is gekeken of het anker voldoet op de toelaatbare ankerkracht. In de berekening is de invloed van zakkende grond op de ankerstang in rekening gebracht. De toegenomen axiale ankerkracht ($F + \Delta F$) is conform de PPL ingevoerd als voorspanning ('prestress') in het anker. De toename in ankerkracht door zakkende grond is berekend conform de CUR 166 (deel 2) en de PPL. Gegeven de grondopbouw, grondeigenschappen, grondwaterstand en eigenschappen van de damwand inclusief verankering is een toename in ankerkracht van 320 kN berekend.

De rekenwaarde van de ankerkracht wordt berekend met:

$$F_{A;st;d} = F_{A;max;EEM} \cdot \gamma_{b;STR} \cdot \gamma_{F;A;st} \cdot h_{hoh} = 327,2 \cdot 1,10 \cdot 1,25 \cdot 1,05 = 450 \text{ kN/anker}$$

$$F_{A;r;d} = \frac{F_{A;r}}{\gamma_{m;A;vs} \cdot \gamma_{m;A;bs}} = \frac{845,0}{1,39 \cdot 1,0} = 608 \text{ kN/anker}$$

De rekenwaarde van het anker wordt getoetst aan de maximaal toelaatbare ankerkracht:

$$u.c. = \frac{F_{A;st;d}}{F_{A;r;d}} = \frac{450}{608} = 0,74 < 1,0 \text{ voldoet}$$

Het groutlichaam van de ankers is niet getoetst omdat hier geen gegevens van beschikbaar zijn. De damwandconstructie is in 1986 aangebracht en was zodoende reeds aangebracht voor de opgetreden hoogwaters van 1993 en 1995. De ankers hebben hiermee een bewezen sterkte van het overleven van een hoogwater die vergelijkbaar is met de huidige ontwerpwaterstanden. Daarnaast gaat het bij het optreden van de belastingsituatie val na hoogwater niet zozeer om de absolute hoogte van het hoogwater maar om de snelheid van het zakkende water. Aangenomen kan worden dat de opgetreden daling van de buitenwaterstand na de hoogwaters van 1993 en 1995 vergelijkbaar is met de huidige ontwerp situatie.

Aangezien de damwand in de huidige toestand geen vervormingen vertoont, mag er vanuit worden gegaan dat het groutlichaam van de ankers voldoet.

3.4.1 Corrosie

Op basis van de beschikbare gegevens is niet eenduidig af te leiden er corrosiebescherming is aangebracht op het anker. Uit veilig en niet al te conservatief oogpunt is gerekend met een corrosie van 2,4 mm over 100 jaar. De corrosiesnelheid van de damwand is gelijk aan die van de anker. De maximale ankerkracht is gereduceerd voor de afname in oppervlakte. De maximale ankerkracht met corrosie is berekend met:

$$F_{A;r;d;corr} = \frac{F_{A;r}}{\gamma_{m;A;vs} \cdot \gamma_{m;A;bs}} * \frac{A_{corr}}{A} = \frac{845,0}{1,39 * 1,0} * \frac{581}{804} = 440 \text{ kN/anker}$$

De rekenwaarde van het anker wordt getoetst aan de maximaal toelaatbare ankerkracht met corrosie:

$$u. c. = \frac{F_{A;st;d}}{F_{A;r;d;corr}} = \frac{450}{440} = 1,02 < 1,0 \text{ voldoet niet}$$

Het anker voldoet net niet indien de corrosietoeslag wordt toegepast.

3.4.2 Ankeruitval

Om de constructie te toetsen bij ankeruitval moet de berekende ankerkracht vermenigvuldigd worden met een factor 1,5. Er worden geen verdere belastingeffect-factoren, materiaalfactoren of schematiseringsfactor toegepast. Er worden geen extra eisen gesteld ten opzichte de controle zonder ankeruitval.

$$u. c. = \frac{F_{A;max;EEM} * 1,5}{F_{A;r;d}} = \frac{327,2 * 1,5}{608} = 0,81 < 1,0 \text{ voldoet}$$

Met corrosietoeslag:

$$u. c. = \frac{F_{A;max;EEM} * 1,5}{F_{A;r;d;corr}} = \frac{327,2 * 1,5}{440} = 1,11 < 1,0 \text{ voldoet niet}$$

Op basis van de controle is aangetoond dat de constructie niet voldoet indien corrosie is meegerekend. De constructie voldoet ruim zonder corrosie.

Het is overigens niet waarschijnlijk dat ankeruitval nog op kan treden. De ankerconstructie heeft goed gefunctioneerd na de hoogwaters van 1993 en 1995. Het is daarom niet waarschijnlijk dat een anker bij een nieuw optredend hoogwater geheel uitvalt en geen krachten meer kan opnemen. Daarnaast is de damwand voorzien van een stevige deksloof (zie figuur 1) die de krachten van een eventueel uitvallend anker breder verdeelt dan alleen de 2 direct naastliggende ankers. De hierboven gehanteerde standaard vermenigvuldigingsfactor van 1,5 is in dit geval niet realistisch en kan lager zijn. Wanneer 2 ankers aan beide zijde van het uitvallende anker de krachten overnemen is deze factor 1,25. Om rekentechnisch te voldoen aan de toets op ankeruitval is een maximale waarde van 1,34 benodigd. Verwacht kan worden dat de deksloof voldoende sterk en stijf is om de ankerkrachten te spreiden zodat de ankers voldoen.

4 Conclusie

In deze rapportage is de buitenwaartse stabiliteit van de kadeconstructie langs de buitenteen bij Fort Honswijk (DP244+200) conform de POVM Publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies (PPL) en de POVM Publicatie Eindige elementenmethode (PPE) beoordeeld in het eindige elementen model PLAXIS. De beoordeling bevat een geotechnische toets en een toets van de constructieve elementen. Op basis van de beoordeling in Plaxis is het volgende geconcludeerd:

- De damwandconstructie voldoet aan de gestelde stabiliteitseis;
- De damwand voldoet op moment, normaalkracht en vervormingen;
- De ankers voldoen bij toepassing van een standaard vermenigvuldigingsfactor van 1,5 rekentechnisch niet aan de toelaatbare kracht bij ankeruitval met corrosie. Wanneer echter rekening wordt gehouden met de aanwezige deksloof op de damwand die de krachten van een eventueel uitvallend anker breder verdeeld dan alleen de 2 direct naastliggende ankers mag worden aangenomen dat de ankers in dit betreffende belastinggeval voldoen.
- Het groutlichaam van de ankers is niet getoetst omdat hier geen gegevens van beschikbaar zijn. De damwandconstructie is in 1986 aangebracht en was zodoende reeds aangebracht voor de opgetreden hoogwaters van 1993 en 1995. De ankers hebben hiermee een bewezen sterkte van het overleven van een hoogwater die vergelijkbaar is met de huidige ontwerpwaterstanden. Aangezien de damwand in de huidige toestand geen vervormingen vertoont, mag er vanuit worden gegaan dat het groutlichaam van de ankers voldoet



A1 Bijlage



Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 User name : Fugro GeoServices B.V.
 Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 Output : Materials

Output Version 2019.0.0.0

Date : 25-9-2020

Page : 1

Material set			
Identification number		1	2
Identification		Klei_Licht_SSC_Boven_Veen	Klei_licht_SSC_Onder_Veen
Material model		Soft soil creep	Soft soil creep
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		RGB 44, 246, 4	RGB 185, 253, 145
Comments			
General properties			
γ_{unsat}	kN/m ³	15,50	15,50
γ_{sat}	kN/m ³	15,50	15,50
Advanced			
Void ratio			
Dilatancy cut-off		No	No
e_{init}		0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0
Damping			
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Stiffness			
λ^* (lambda*)		0,1266	0,1266
κ^* (kappa*)		0,03060	0,03060
μ^*		5,700E-3	5,700E-3
Alternatives			
Use alternatives		No	No
C_c		0,4368	0,4368
C_s		0,05278	0,05278
C_a		0,01966	0,01966
e_{init}		0,5000	0,5000
Strength			
c_{ref}	kN/m ²	1,000	1,000
ϕ (phi)	°	33,50	33,50
ψ (psi)	°	0,000	0,000

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 User name : Fugro GeoServices B.V.
 Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 Output : Materials

Output Version 2019.0.0.0

Date : 25-9-2020

Page : 2

Identification		Klei_Licht_SSC_Boven_Veen	Klei_licht_SSC_Onder_Veen
Advanced			
Set to default values		No	No
Stiffness			
v_{ur}		0,1500	0,1500
K_0^{nc}		0,5585	0,5585
M		1,394	1,394
Undrained behaviour			
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0,9890	0,9890
v_u		0,4950	0,4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	294,1E3	294,1E3
Strength			
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000
Stiffness			
Stiffness		Standard	Standard
Strength			
Strength		Manual	Manual
R_{inter}		0,6700	0,6700
Consider gap closure		Yes	Yes
Real interface thickness			
δ_{inter}		0,000	0,000
Groundwater			
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0,000	0,000
Thermal			
R	m ² K/kW	0,000	0,000
K0 settings			
K_0 determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		10,00E9	10,00E9
$K_{0,z}$		10,00E9	10,00E9
Overconsolidation			
OCR		1,000	1,000
POP	kN/m ²	15,00	8,000

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 User name : Fugro GeoServices B.V.
 Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 Output : Materials

Output Version 2019.0.0.0

Date : 25-9-2020

Page : 3

Identification		Klei_Licht_SSC_Boven_Veen	Klei_licht_SSC_Onder_Veen
Model			
Data set		Standard	Standard
Soil			
Type		Very fine	Very fine
< 2 µm	%	74,00	74,00
2 µm - 50 µm	%	11,00	11,00
50 µm - 2 mm	%	15,00	15,00
Flow parameters			
Use defaults		None	None
k_x	m/day	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000
$^{-}\Psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000
Change of permeability			
c_k		1000E12	1000E12
Parameters			
c_s	kJ/t/K	0,000	0,000
λ_s	kW/m/K	0,000	0,000
ρ_s	t/m ³	0,000	0,000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0,000	0,000
D_v	m ² /day	0,000	0,000
f_{TV}		0,000	0,000
Unfrozen water content		None	None

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Output Version 2019.0.0.0

User name : Fugro GeoServices B.V.

Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Date : 25-9-2020

Output : Materials

Page : 4

Material set			
Identification number		3	4
Identification		Klei_Zwaar_SSC	Veen_SSC
Material model		Soft soil creep	Soft soil creep
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		RGB 5, 148, 15	RGB 218, 105, 7
Comments			
General properties			
V_{unsat}	kN/m ³	18,40	11,00
V_{sat}	kN/m ³	18,40	11,00
Advanced			
Void ratio			
Dilatancy cut-off		No	No
e_{init}		0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0
Damping			
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Stiffness			
λ^* (lambda*)		0,08470	0,2203
κ^* (kappa*)		0,02140	0,05120
μ^*		3,300E-3	0,01120
Alternatives			
Use alternatives		No	No
C_c		0,2922	0,7600
C_s		0,03691	0,08832
C_a		0,01138	0,03864
e_{init}		0,5000	0,5000
Strength			
C_{ref}	kN/m ²	1,000	1,000
ϕ (phi)	°	30,20	26,90
ψ (psi)	°	0,000	0,000

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 User name : Fugro GeoServices B.V.
 Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 Output : Materials

Output Version 2019.0.0.0

Date : 25-9-2020

Page : 5

Identification		Klei_Zwaar_SSC	Veen_SSC
Advanced			
Set to default values		No	Yes
Stiffness			
V_{ur}		0,1500	0,1500
K_0^{nc}		0,5152	0,5476
M		1,515	1,430
Undrained behaviour			
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0,9890	0,9890
V_u		0,4950	0,4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	420,6E3	175,8E3
Strength			
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000
Stiffness			
Stiffness		Standard	Standard
Strength			
Strength		Manual	Manual
R_{inter}		0,6700	0,6700
Consider gap closure		Yes	Yes
Real interface thickness			
δ_{inter}		0,000	0,000
Groundwater			
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0,000	0,000
Thermal			
R	m ² K/kW	0,000	0,000
K0 settings			
K_0 determination		Automatic	Manual
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		10,00E9	0,6589
$K_{0,z}$		10,00E9	0,6589
Overconsolidation			
OCR		1,000	1,000
POP	kN/m ²	20,00	21,00

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Output Version 2019.0.0.0

User name : Fugro GeoServices B.V.

Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Date : 25-9-2020

Output : Materials

Page : 6

Identification		Klei_Zwaar_SSC	Veen_SSC
Model			
Data set		Standard	Standard
Soil			
Type		Very fine	Organic
< 2 µm	%	74,00	10,00
2 µm - 50 µm	%	11,00	13,00
50 µm - 2 mm	%	15,00	77,00
Flow parameters			
Use defaults		None	None
k_x	m/day	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000
Change of permeability			
c_k		1000E12	1000E12
Parameters			
c_s	kJ/t/K	0,000	0,000
λ_s	kW/m/K	0,000	0,000
ρ_s	t/m ³	0,000	0,000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0,000	0,000
D_v	m ² /day	0,000	0,000
f_{T_v}		0,000	0,000
Unfrozen water content		None	None

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Output Version 2019.0.0.0

User name : Fugro GeoServices B.V.

Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Date : 25-9-2020

Output : Materials

Page : 7

Material set			
Identification number		9	10
Identification		Klei_Dijksmateriaal	Klei_Ophoogmateriaal
Material model		Soft soil creep	Soft soil creep
Drainage type		Drained	Drained
Colour		RGB 61, 148, 69	RGB 49, 165, 55
Comments			
General properties			
γ_{unsat}	kN/m ³	18,90	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	18,90	18,00
Advanced			
Void ratio			
Dilatancy cut-off		No	No
e_{init}		0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0
Damping			
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Stiffness			
λ^* (lambda*)		0,05680	0,05680
κ^* (kappa*)		0,01520	0,01520
μ^*		0,01700	0,01700
Alternatives			
Use alternatives		No	No
C_c		0,1960	0,1960
C_s		0,02622	0,02622
C_a		0,05865	0,05865
e_{init}		0,5000	0,5000
Strength			
c_{ref}	kN/m ²	2,000	2,000
φ (phi)	°	25,51	22,84
ψ (psi)	°	0,000	0,000

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 User name : Fugro GeoServices B.V.
 Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST
 Output : Materials

Output Version 2019.0.0.0

Date : 25-9-2020

Page : 8

Identification		Klei_Dijksmateriaal	Klei_Ophoogmateriaal
Advanced			
Set to default values		No	No
Stiffness			
v_{ur}		0,1500	0,1500
K_0^{nc}		0,6243	0,5460
M		1,200	1,416
Undrained behaviour			
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0,9890	0,9890
v_u		0,4950	0,4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	592,1E3	592,1E3
Strength			
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000
Stiffness			
Stiffness		Standard	Standard
Strength			
Strength		Manual	Manual
R_{inter}		0,6700	0,6700
Consider gap closure		Yes	Yes
Real interface thickness			
δ_{inter}		0,000	0,000
Groundwater			
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0,000	0,000
Thermal			
R	m ² K/kW	0,000	0,000
K0 settings			
K_0 determination		Manual	Manual
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0,6258	0,6258
$K_{0,z}$		0,6258	0,6258
Overconsolidation			
OCR		1,000	1,000
POP	kN/m ²	20,00	20,00

Project description : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Output Version 2019.0.0.0

User name : Fugro GeoServices B.V.

Project filename : CUB_Damwand_Fort_Honswijk_PLAXIS_AANGEPAST

Date : 25-9-2020

Output : Materials

Page : 9

Identification		Klei_Dijksmateriaal	Klei_Ophoogmateriaal
Model			
Data set		Standard	Standard
Soil			
Type		Fine	Fine
< 2 µm	%	46,00	46,00
2 µm - 50 µm	%	26,00	26,00
50 µm - 2 mm	%	28,00	28,00
Flow parameters			
Use defaults		None	None
k_x	m/day	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000
$-\Psi_{\text{unsat}}$	m	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000
Change of permeability			
c_k		1000E12	1000E12
Parameters			
c_s	kJ/t/K	0,000	0,000
λ_s	kW/m/K	0,000	0,000
ρ_s	t/m ³	0,000	0,000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
a_s	1/K	0,000	0,000
D_v	m ² /day	0,000	0,000
f_{T_v}		0,000	0,000
Unfrozen water content		None	None

Bijlage V: Vergelijking bepaling gewicht van deklaag

boortag Mant	Monster nummer	Monsterdiepte (m - mv)	Niveau monster L.o.v. N.A.P.	Grondsoort (NEN 5104)	Bijmenging / Geologische naam	Consistentie	Organisch stof gehalte	zandfractie	Kalkgehalte (bij 900 °C)	Gloeiverlies (bij 500 / 550 °C)	γ _{100%} verz. (indicatief)
		[m]	[m]				[%]	[%]	[%]	[%]	[kN/m ³]
DP206-004_B_AL	1_a	0,15	2,55	Ks2g1h2		stevig					17,9
DP206-004_B_AL	2_a	0,50	2,20	Ks2h2		matig stevig					17,1
DP206-004_B_AL	3_a	0,90	1,80	Ks2h2		matig stevig					16,8
DP206-004_B_AL	4_a	1,35	1,35	Ks2h1		matig stevig					17,2
DP206-004_B_AL	5_a	1,65	1,05	Ks2h1		matig slap					18,3
DP206-004_B_AL	5_b	1,77	0,93	Ks2h1		matig stevig					17,1
DP206-004_B_AL	5_c	1,90	0,80	Ks2h2		matig stevig					16,7
DP206-004_B_AL	6_a	2,20	0,60	Ks2h2		matig slap					16,2
DP206-004_B_AL	7_a	2,60	0,10	Ks1h1		matig stevig	0,50	2,10	4,20		16,4
DP206-004_B_AL	8_a	2,90	-0,20	Ks2h1		matig stevig					17,4
DP206-004_B_AL	9_a	3,40	-0,70	Ks2h1		matig stevig					16,4
DP206-004_B_AL	10_a	3,80	-1,10	Ks1h2		matig stevig	5,20	2,40	9,80		13,3
DP206-004_B_AL	11_a	4,10	-1,40	Ks2h2		matig slap					13,1
DP206-004_B_AL	11_b	4,30	-1,60	Ks2h1		matig slap					17,4
DP206-004_B_AL	12_a	4,48	-1,78	Ks2h2		matig slap	3,50	7,90	6,90		15,6
DP206-004_B_AL	12_b	4,65	-1,95	Ks1h2		matig slap	7,70	2,70	11,50		14,4
DP206-004_B_AL	13_a	4,95	-2,25	Ks2h1		matig slap					18,1
DP206-004_B_AL	14_a	5,27	-2,57	Ks3h1		matig stevig	0,10	9,30	2,30		17,7
DP206-004_B_AL	14_b	5,45	-2,75	Ks2h1		matig stevig					18,9
DP206-004_B_AL	15_a	5,80	-3,10	Ks2h1		slap					18,6
DP206-004_B_AL	16_a	6,20	-3,50	Ks2h1		matig stevig					18,5
DP206-004_B_AL	17_a	6,60	-3,90	Ks2h1		matig stevig					16,9
DP206-004_B_AL	18_a	6,90	-4,20	Ks2h1		matig stevig					18,5
DP206-004_B_AL	18_b	7,09	-4,39	Kz1		matig slap					18,9
DP206-004_B_AL	19_a	7,30	-4,60	Zs1	kleilaagjes			ZMG			19,2

Op basis van laboratoriumonderzoek

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
0	0,15	17,9	2,685
0,15	0,5	17,1	5,985
0,5	0,9	16,8	6,72
0,9	1,35	17,2	7,74
1,35	1,65	18,3	5,49
1,65	1,77	17,1	2,052
1,77	1,9	16,7	2,171
1,9	2,2	16,2	4,86
2,2	2,6	16,4	6,56
2,6	2,9	17,4	5,22
2,9	3,4	16,4	8,2
3,4	3,8	13,3	5,32
3,8	4,1	13,1	3,93
4,1	4,3	17,4	3,48
4,3	4,48	15,6	2,808
4,48	4,65	14,4	2,448
4,65	4,95	18,1	5,43
4,95	5,27	17,7	5,664
5,27	5,45	18,9	3,402
5,45	5,8	18,6	6,51
5,8	6,2	18,5	7,4
6,2	6,6	16,9	6,76
6,6	6,9	18,5	5,55
6,9	7,09	18,9	3,591

Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
2,75	0,5	16,63	37,4175
0,5	-0,5	10,9	10,9
-0,5	-4,1	16,63	59,868
-4,1	-4,6	10,9	5,45
-4,6			

deklaagdikte = 7,09 [m]
gem. vol massa = 16,92 [kN/m³]

deklaagdikte = 7,35 [m]
gem. vol massa = 15,46 [kN/m³]

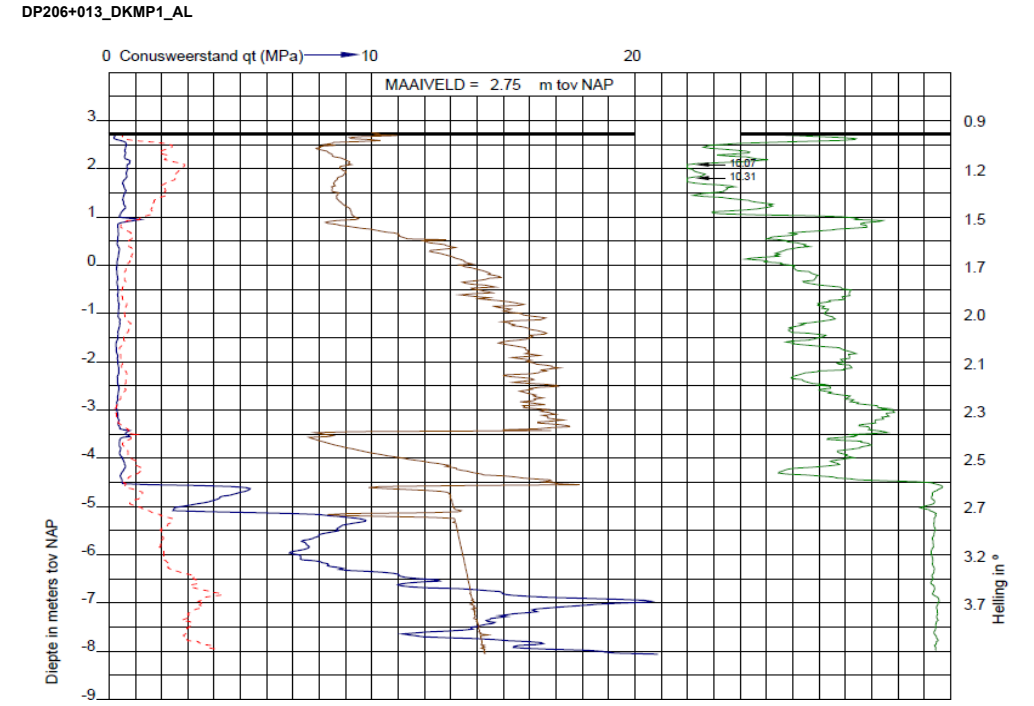
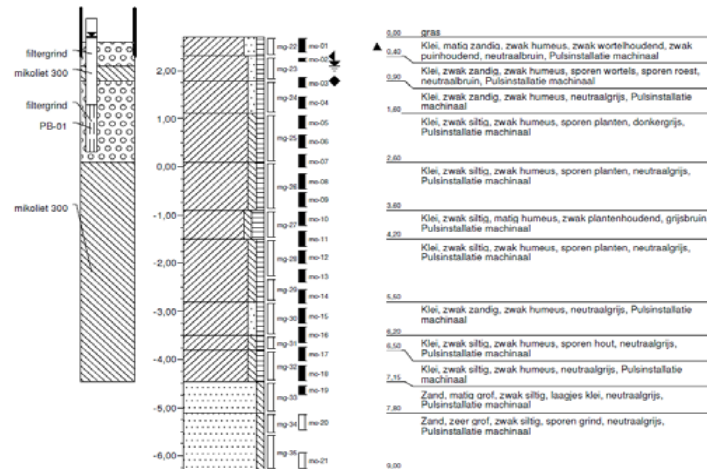
120,0

113,6

Boring: DP206+004_B_AL
 Uitvoering op: 24-01-2019
 Uitvoering door: Jwa/kn
 Uitgevoerd nabij: B008

Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1
 Maaiveldhoogte [m]: 2,606 N.A.P.
 Grondwaterstand [cm-mv]: 60
 GHG [cm-mv]: 40
 GLG [cm-mv]: 90

Classificatie volgens NEN 5104
 x-coördinaat [m RD]: 142924,81
 y-coördinaat [m RD]: 442132,53



bei

Boring	Monster	Werknummer	van	tot	van	tot	Klassificatie	Bijmenging	diepte class	Y _{sat}	Y _{ong}	W
			[m-mv]	[m-mv]	[tov NAP]	[tov NAP]				[NEN-5104] visueel	[m tov NAP]	
DP221+026_B_AL	mo-01	B1005	0,00	0,40	2,68	2,28	Kz1	w06	2,48	18,6	14,7	26,0
DP221+026_B_AL	mo-02a	B1005	0,40	0,70	2,28	1,98	Kz1	ro6	2,19	19,0	15,2	24,9
DP221+026_B_AL	mo-02b	B1005	0,70	0,80	1,98	1,88	Kz3		1,93			
DP221+026_B_AL	mo-03	B1005	0,80	1,20	1,88	1,48	Ks2h2	ho1pl6	1,68	16,7	10,9	53,2
DP221+026_B_AL	mo-04	B1005	1,20	1,60	1,48	1,08	Ks2h2	ho6pl6	1,28	17,2	11,8	46,1
DP221+026_B_AL	mo-05	B1005	1,60	2,00	1,08	0,68	Ks2h2	pl1	0,88	17,2	11,6	47,9
DP221+026_B_AL	mo-06	B1005	2,00	2,40	0,68	0,28	Ks2h2	pl1	0,48	18,0	12,8	41,1
DP221+026_B_AL	mo-07	B1005	2,40	2,80	0,28	-0,12	Z4s3	K19sc6pl6	0,08	17,7	12,9	37,3
DP221+026_B_AL	mo-08	B1005	2,80	3,20	-0,12	-0,52	Ks2h2	za9sc6pl6	-0,32	17,2	11,7	46,3
DP221+026_B_AL	mo-09	B1005	3,20	3,60	-0,52	-0,92	Ks2h2	za9pl6	-0,72	16,9	11,1	52,3
DP221+026_B_AL	mo-10a	B1005	3,60	3,90	-0,92	-1,22	Ks2h2	za9sc6	-1,07	15,4	8,8	73,9
DP221+026_B_AL	mo-10b	B1005	3,90	4,00	-1,22	-1,32	Vk1	ho6	-1,27			
DP221+026_B_AL	mo-11a	B1005	4,00	4,10	-1,32	-1,42	Vk1	ho6	-1,37			
DP221+026_B_AL	mo-11b	B1005	4,10	4,40	-1,42	-1,72	Ks2h3	pl1	-1,57	15,2	8,7	75,9
DP221+026_B_AL	mo-12a	B1005	4,40	4,51	-1,72	-1,83	Ks2h3	pl1	-1,78			
DP221+026_B_AL	mo-12b	B1005	4,51	4,80	-1,83	-2,12	Vk1	pl1	-1,98	11,5	3,4	243,1
DP221+026_B_AL	mo-13	B1005	4,80	5,20	-2,12	-2,52	Ks2h3	ve9pl1ho6	-2,32	11,9	3,8	212,2
DP221+026_B_AL	mo-14	B1005	5,20	5,60	-2,52	-2,92	Ks2h3	ho1pl1	-2,72	12,4	4,8	156,2
DP221+026_B_AL	mo-15	B1005	5,60	6,00	-2,92	-3,32	Vk3	ho1pl1	-3,12	11,0	3,0	270,1
DP221+026_B_AL	mo-16	B1005	6,00	6,40	-3,32	-3,72	Vk1	ho1pl6	-3,52	10,9	2,8	294,7
DP221+026_B_AL	mo-17	B1005	6,40	6,80	-3,72	-4,12	Ks2h3	ho6pl6	-3,92	12,5	4,9	158,3
DP221+026_B_AL	mo-18	B1005	6,80	7,20	-4,12	-4,52	Ks2h2	pl1	-4,32	14,9	8,3	80,6
DP221+026_B_AL	mo-19	B1005	7,20	7,60	-4,52	-4,92	Ks2h2	pl1	-4,72	15,9	9,6	65,0
DP221+026_B_AL	mo-20	B1005	7,60	8,00	-4,92	-5,32	Ks2h2	pl6	-5,12	15,2	8,6	76,3
DP221+026_B_AL	mo-21	B1005	8,00	8,40	-5,32	-5,72	Ks2h2	pl6	-5,52	15,7	9,3	68,6
DP221+026_B_AL	mo-22	B1005	8,40	8,80	-5,72	-6,12	Ks2h2	pl6	-5,92	16,3	10,3	57,8
DP221+026_B_AL	mo-23	B1005	8,80	9,20	-6,12	-6,52	Ks2h1	pl6za9	-6,32	18,1	13,0	39,1
DP221+026_B_AL	mo-24	B1005	9,20	9,60	-6,52	-6,92	Kz1	za9kl8	-6,72	18,5	13,6	35,3
DP221+026_B_AL	mo-25	B1005	9,60	10,00	-6,92	-7,32	Z3s3	kl9pl6	-7,12	18,6	13,7	35,5
DP221+026_B_AL	mo-26	B1005	10,00	10,40	-7,32	-7,72	Z4s3		-7,52	19,5	15,2	27,8
DP221+026_B_AL	mo-27	B1005	10,40	10,80	-7,72	-8,12	Z4s3	gr6	-7,92	19,2	16,0	19,8

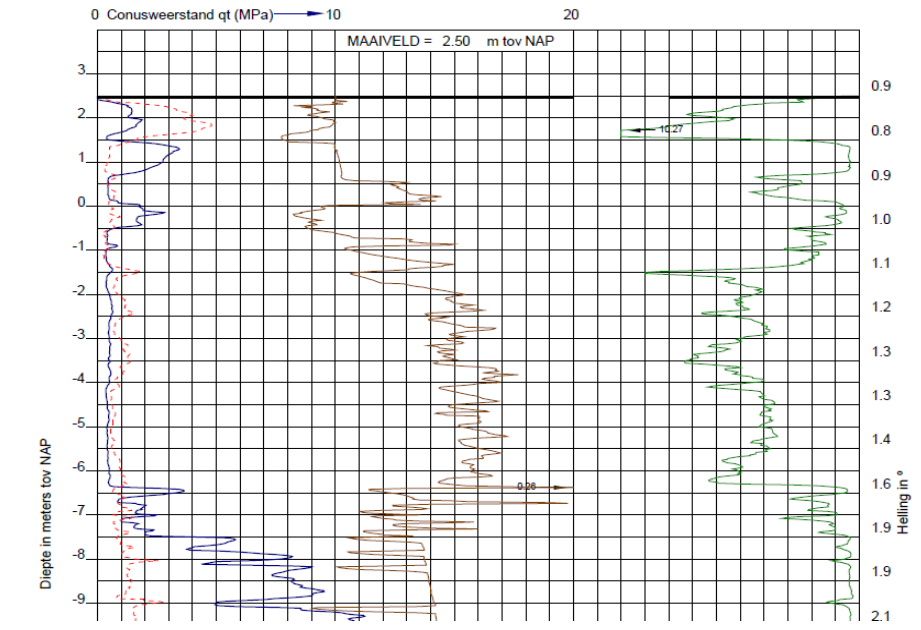
Op basis van laboratoriumonderzoek

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
0	0,4	18,6	7,44
0,4	0,7	19	5,7
0,7	0,8	16,92	1,692
0,8	1,2	16,7	6,68
1,2	1,6	17,2	6,88
1,6	2	17,2	6,88
2	2,4	18	7,2
2,4	2,8	17,7	7,08
2,8	3,2	17,2	6,88
3,2	3,6	16,9	6,76
3,6	3,9	15,4	4,62
3,9	4	10,9	1,09
4	4,1	10,9	1,09
4,1	4,4	15,2	4,56
4,4	4,51	16,92	1,8612
4,51	4,8	11,5	3,335
4,8	5,2	11,9	4,76
5,2	5,6	12,4	4,96
5,6	6	11	4,4
6	6,4	10,9	4,36
6,4	6,8	12,5	5
6,8	7,2	14,9	5,96
7,2	7,6	15,9	6,36
7,6	8	15,2	6,08
8	8,4	15,7	6,28
8,4	8,8	16,3	6,52
8,8	9,2	18,1	7,24
9,2	9,6	18,5	7,4

Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
2,5	0,8	18,53	31,50
0,8	-1,4	16,63	36,59
-1,4	-1,6	10,9	2,18
-1,6	-2,3	16,63	11,64
-2,3	-2,5	10,9	2,18
-2,5	-3	16,63	8,32
-3	-4,2	10,9	13,08
-4,2	-5,7	16,63	24,95
-5,7	-6,4	10,9	7,63

DP221+030_DKMP2_AL



Boring: DP221+026_B_AL
 Uitsluiting opp: 11-3-2020
 Uitvoering door: MDN/AWN
 Uitgevoerd nabij: B1005

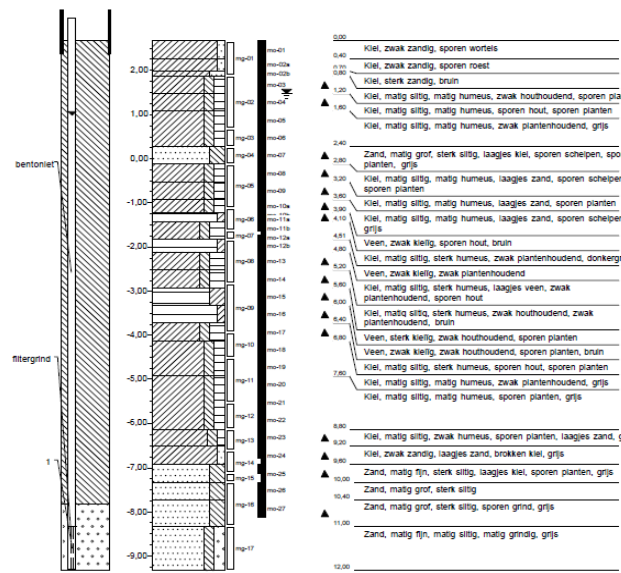
Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1
 Maaiveldhoogte [m]: 2,679 N.A.P.
 Grondwaterstand [m-mv]: 120

Classificatie volgens NEN 5104
 x-coördinaat [m RD]: 141584,05
 y-coördinaat [m RD]: 442225,75

deklaagdikte = 9,6
 gem. vol massa = 15,53

deklaagdikte = 8,9
 gem. vol massa = 15,51

138,1



Boring	Monster	Werkno	van	tot	van	tot	Klassificatie	Bijmenging	diepte class	V _{nat}
			[m-mv]	[m-mv]	[tov NAP]	[tov NAP]				
DP235+003_B_AL	mo-01a1	MB-009	0,00	0,31	2,15	1,85	Kz3h1	wo1ro6	2,00	18,9
DP235+003_B_AL	mo-02a1	MB-009	0,40	0,66	1,75	1,49	Ks3h1	ro6	1,62	18,7
DP235+003_B_AL	mo-03a1	MB-009	0,80	1,09	1,35	1,06	Ks2h1	gr6ro6	1,21	10,0
DP235+003_B_AL	mo-04a1	MB-009	1,20	1,52	0,95	0,63	Ks2h2		0,79	15,8
DP235+003_B_AL	mo-05a1	MB-009	1,60	1,97	0,55	0,19	Ks2h2	za9	0,37	19,3
DP235+003_B_AL	mo-06a1	MB-009	2,00	2,39	0,15	-0,23	Ks2h1		-0,04	17,7
DP235+003_B_AL	mo-07a1	MB-009	2,40	2,75	-0,25	-0,60	Ks3h1	pl6	-0,43	17,9
DP235+003_B_AL	mo-08a1	MB-009	2,80	3,15	-0,65	-0,99	Ks2h2		-0,82	17,1
DP235+003_B_AL	mo-09a1	MB-009	3,20	3,53	-1,05	-1,37	Ks2h2		-1,21	16,2
DP235+003_B_AL	mo-10a1	MB-009	3,60	3,98	-1,45	-1,82	Ks2h2		-1,64	15,4
DP235+003_B_AL	mo-11a1	MB-009	4,00	4,37	-1,85	-2,22	Ks2h2		-2,04	
DP235+003_B_AL	mo-12a1	MB-009	4,40	4,55	-2,25	-2,40	Ks2h3	pl1	-2,33	12,6
DP235+003_B_AL	mo-12a2	MB-009	4,55	4,70	-2,40	-2,55	Ks2h3	pl1	-2,48	12,4
DP235+003_B_AL	mo-12b1	MB-009	4,70	4,76	-2,55	-2,61	Vk3	pl1	-2,58	11,7
DP235+003_B_AL	mo-13a1	MB-009	4,80	5,16	-2,65	-3,00	Ks2h3	ho1	-2,83	11,2
DP235+003_B_AL	mo-14a1	MB-009	5,20	5,53	-3,05	-3,37	Ks2h3	ho1	-3,21	11,4
DP235+003_B_AL	mo-15a1	MB-009	5,60	5,95	-3,44	-3,80	Vk3		-3,62	11,0
DP235+003_B_AL	mo-16a1	MB-009	6,00	6,37	-3,85	-4,21	Ks2h3	ho2	-4,03	11,3
DP235+003_B_AL	mo-17a1	MB-009	6,40	6,60	-4,25	-4,45	Vm	pl1	-4,35	9,7
DP235+003_B_AL	mo-18a1	MB-009	6,80	7,13	-4,64	-4,98	Ks2h3		-4,81	11,5
DP235+003_B_AL	mo-19a1	MB-009	7,20	7,56	-5,04	-5,40	Ks2h2		-5,22	16,5
DP235+003_B_AL	mo-20a1	MB-009	7,60	7,95	-5,45	-5,80	Kz3h1		-5,63	18,9
DP235+003_B_AL	mo-21a1	MB-009	8,00	8,26	-5,85	-6,11	Z4s1		-5,98	
DP235+003_B_AL	mo-22a1	MB-009	8,40	8,66	-6,25	-6,50	Z4s1		-6,38	
DP235+003_B_AL	mo-23a1	MB-009	8,80	9,00	-6,65	-6,84	Z4s1		-6,75	

Op basis van laboratoriumonderzoek

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
0	0,4	18,9	7,56
0,4	0,8	18,7	7,48
0,8	1,2	18,7	7,48
1,2	1,6	15,8	6,32
1,6	2	19,3	7,72
2	2,4	17,7	7,08
2,4	2,8	17,9	7,16
2,8	3,2	17,1	6,84
3,2	3,6	16,2	6,48
3,6	4	15,4	6,16
4	4,4	15,4	6,16
4,4	4,55	12,6	1,89
4,55	4,7	12,4	1,86
4,7	4,8	11,7	1,17
4,8	5,2	11,2	4,48
5,2	5,6	11,4	4,56
5,6	6	11	4,4
6	6,4	11,3	4,52
6,4	6,8	9,7	3,88
6,8	7,2	11,5	4,6
7,2	7,6	16,5	6,6
7,6	7,95	18,9	6,615

deklaagdikte = 7,95
gem. vol massa = 15,22

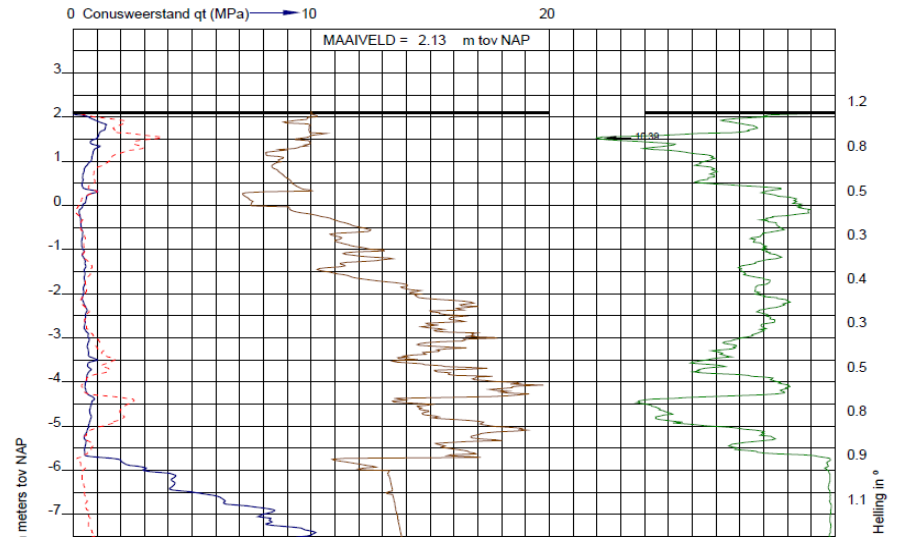
Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
2,13	-3	16,63	85,31
-3	-3,8	10,9	8,72
-3,8	-4,3	16,63	8,32
-4,3	-5	10,9	7,63
-5	-5,7	16,63	11,64
-5,7			

deklaagdikte = 7,83
gem. vol massa = 15,53

121,6

DP234+095_DKMP1_AL



Labclassificatie

Boring: DP235+003_B_AL

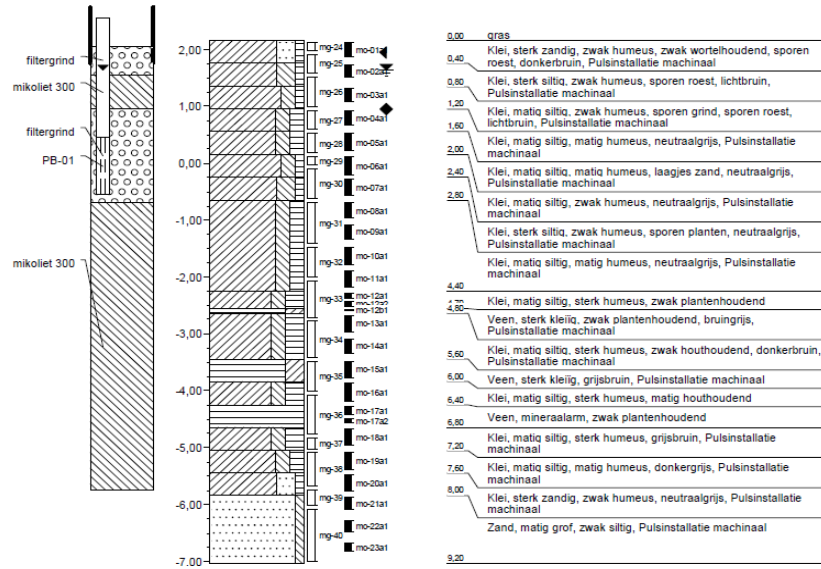
Uitvoering op: 29-01-2019
Uitvoering door: Jwa/ksn
Uitgevoerd nabij: B009

Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1

Maaiveldhoogte [m]: 2,155 N.A.P.
Grondwaterstand [cm-mv]: 51
GHG [cm-mv]: 20
GLG [cm-mv]: 120

Classificatie volgens NEN 5104

x-coördinaat [m RD]: 140236,24
y-coördinaat [m RD]: 442594,75



Boring	Monster	Werknummer	van		tot		Klassificatie	Bijmenging	diepte class	Y _{nat}	Y _{roeg}	W
			[m-mv]	[m-mv]	[tov NAP]	[tov NAP]						
DP242+090_B_AL	mo-01	81008	0,00	0,40	1,98	1,58	Ks2h2	wo1pl6	1,78	18,2	13,8	31,5
DP242+090_B_AL	mo-02	81008	0,40	0,80	1,58	1,18	Ks2h2	wo6ro6	1,38	19,4	15,3	27,0
DP242+090_B_AL	mo-03	81008	0,80	1,20	1,18	0,78	Ks2h2	ro6	0,98	18,3	13,8	32,4
DP242+090_B_AL	mo-04	81008	1,20	1,60	0,78	0,38	Ks3h1	za9	0,58	19,6	15,4	27,1
DP242+090_B_AL	mo-05	81008	1,60	2,00	0,38	-0,02	Zz3s		0,18	18,6	14,1	32,6
DP242+090_B_AL	mo-06	81008	2,00	2,40	-0,02	-0,42	Ks2h2	pl6	-0,22	17,3	11,9	45,0
DP242+090_B_AL	mo-07	81008	2,40	2,80	-0,42	-0,82	Ks2h1	pl6	-0,62	18,6	13,8	34,3
DP242+090_B_AL	mo-08	81008	2,80	3,20	-0,82	-1,22	Ks2h1	pl6za9sc6	-1,02	18,5	13,8	33,4
DP242+090_B_AL	mo-09a	81008	3,20	3,50	-1,22	-1,52	Ks2h3	pl6	-1,37	15,1	8,7	74,0
DP242+090_B_AL	mo-09b	81008	3,50	3,60	-1,52	-1,62	Vk3	ho1pl1	-1,57			
DP242+090_B_AL	mo-10	81008	3,60	4,00	-1,62	-2,02	Vk3	ho1pl1	-1,82	11,3	3,8	199,6
DP242+090_B_AL	mo-11	81008	4,00	4,40	-2,02	-2,42	Ks3h3	ho6pl1	-2,22	12,1	4,9	149,0
DP242+090_B_AL	mo-12a	81008	4,40	4,60	-2,42	-2,62	Vk1	ho6pl1	-2,52	11,2	3,6	211,6
DP242+090_B_AL	mo-12b	81008	4,60	4,80	-2,62	-2,82	Ks3h3	pl1	-2,72			
DP242+090_B_AL	mo-13	81008	4,80	5,20	-2,82	-3,22	Ks3h2	ho1pl1	-3,02	16,0	10,0	59,5
DP242+090_B_AL	mo-14	81008	5,20	5,60	-3,22	-3,62	Ks3h2	ho1pl1	-3,42	16,0	10,0	60,2
DP242+090_B_AL	mo-15	81008	5,60	6,00	-3,62	-4,02	Ks3h2	za9sc6pl6	-3,82	16,8	11,1	50,5
DP242+090_B_AL	mo-16	81008	6,00	6,40	-4,02	-4,42	Ks3h2	za9sc6pl6	-4,22	16,5	10,8	52,0
DP242+090_B_AL	mo-17a	81008	6,40	6,75	-4,42	-4,77	Ks3h2	za9sc6pl6	-4,60	15,1	8,9	69,5
DP242+090_B_AL	mo-17b	81008	6,75	6,80	-4,77	-4,82	Vk1	pl2ho6	-4,80			
DP242+090_B_AL	mo-18	81008	6,80	7,20	-4,82	-5,22	Vk1	pl2ho6	-5,02	10,8	3,4	214,3
DP242+090_B_AL	mo-19	81008	7,20	7,60	-5,22	-5,62	Ks3h3	pl1	-5,42	13,9	7,2	91,6
DP242+090_B_AL	mo-20a	81008	7,60	7,90	-5,62	-5,92	Ks2h2	pl6	-5,77	18,5	14,0	32,2
DP242+090_B_AL	mo-20b	81008	7,90	8,00	-5,92	-6,02	Ks3h1	pl6	-5,97			
DP242+090_B_AL	mo-21a	81008	8,00	8,20	-6,02	-6,22	Ks3h1	pl6	-6,12			
DP242+090_B_AL	mo-21b	81008	8,20	8,40	-6,22	-6,42	Ks2h1	pl6	-6,32	19,6	15,8	24,5
DP242+090_B_AL	mo-22a	81008	8,40	8,65	-6,42	-6,67	Ks2h1	pl6	-6,55	18,9	14,2	33,6
DP242+090_B_AL	mo-22b	81008	8,65	8,80	-6,67	-6,82	Z4z2	kl9	-6,75			
DP242+090_B_AL	mo-23	81008	8,80	9,20	-6,82	-7,22	Z4z2	kl9	-7,02	19,3	16,5	17,3
DP242+090_B_AL	mo-24	81008	9,80	10,20	-7,82	-8,22	Z4z2	kl9gr6	-8,02	19,8	16,9	16,8

Op basis van laboratoriumonderzoek

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
0	0,4	18,2	7,28
0,4	0,8	19,4	7,76
0,8	1,2	18,3	7,32
1,2	1,6	19,6	7,84
1,6	2	18,6	7,44
2	2,4	17,3	6,92
2,4	2,8	18,6	7,44
2,8	3,2	18,5	7,4
3,2	3,5	15,1	4,53
3,5	3,6	10,9	1,09
3,6	4	11,3	4,52
4	4,4	12,1	4,84
4,4	4,6	11,2	2,24
4,6	4,8	16	3,2
4,8	5,2	16	6,4
5,2	5,6	16	6,4
5,6	6	16,8	6,72
6	6,4	16,5	6,6
6,4	6,75	15,1	5,285
6,75	6,8	10,9	0,545
6,8	7,2	10,8	4,32
7,2	7,6	13,9	5,56
7,6	7,9	18,5	5,55
7,9	8	18,5	1,85
8	8,2	18,5	3,7
8,2	8,4	19,6	3,92
8,4	8,65	18,9	4,725
			141,4

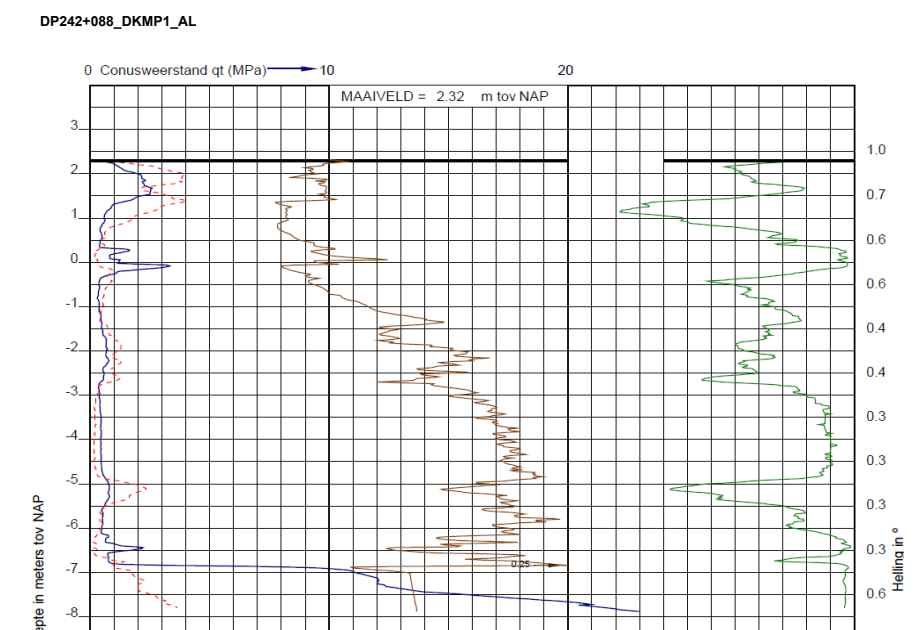
Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
2,32	1,5	18,53	15,19
1,5	0,3	16,63	19,96
0,3	-0,3	18,53	11,12
-0,3	-2,5	16,63	36,59
-2,5	-2,7	10,9	2,18
-2,7	-5	16,63	38,25
-5	-5,5	10,9	5,45
-5,5	-6,8	16,63	21,62
-6,8			

deklaagdikte = 8,65
 gem. vol massa = 16,35

deklaagdikte = 9,12
 gem. vol massa = 16,49

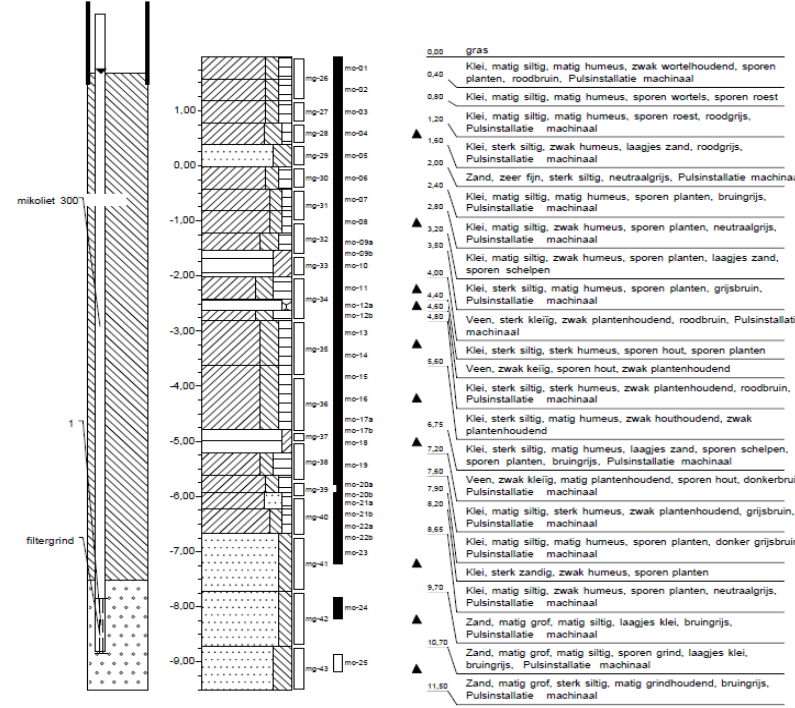
0,948465 142,6042 150,4



Boring: DP242+090_B_AL
 Uitvoering op: 13-11-2019
 Uitvoering door: MDN/RHS
 Uitgevoerd nabij: B1008

Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1
 Maaiveldhoogte[m]: 1,98 N.A.P.

Classificatie volgens NEN 5104
 x-coördinaat [m RD]: 139497,49
 y-coördinaat [m RD]: 442846,77



Boring	Monster	Werknummer	van tot		van tot		Klassificatie	Bijmenging	diepte class		Y _{nat}	Y _{roog}	W
			[m-mv]	[m-mv]	[tov NAP]	[tov NAP]			[m tov NAP]	[kN/m ³]			
DP255+097_B_AL	mo-01	B1018	0,00	0,40	3,71	3,31	Ks2h1	ho1wo6	3,51	17,9	13,8	29,5	
DP255+097_B_AL	mo-02	B1018	0,40	0,80	3,31	2,91	Ks2h1	ho6gr6ro1	3,11	19,0	15,2	25,7	
DP255+097_B_AL	mo-03	B1018	0,80	1,20	2,91	2,51	Ks2h1	ro6	2,71	18,5	14,6	26,2	
DP255+097_B_AL	mo-04	B1018	1,20	1,60	2,51	2,11	Lz1	za6ro1gr6	2,31	18,6	14,7	26,6	
DP255+097_B_AL	mo-05	B1018	1,60	2,00	2,11	1,71	Lz1	za1ro1kk9	1,91	19,0	15,0	27,0	
DP255+097_B_AL	mo-06	B1018	2,00	2,40	1,71	1,31	Lz3	kl1ro1	1,51	18,4	13,9	31,8	
DP255+097_B_AL	mo-07	B1018	2,40	2,80	1,31	0,91	Z4s3		1,11	18,4	14,2	29,9	
DP255+097_B_AL	mo-08	B1018	2,80	3,20	0,91	0,51	Z4s3	kl9	0,71	18,0	14,0	28,9	
DP255+097_B_AL	mo-09	B1018	3,20	3,60	0,51	0,11	Z3s3		0,31	17,8	13,5	31,1	
DP255+097_B_AL	mo-10	B1018	3,60	4,00	0,11	-0,29	Z3s3		-0,09	18,5	14,6	26,5	
DP255+097_B_AL	mo-11	B1018	4,00	4,40	-0,29	-0,69	Z3s3	kl9	-0,49	18,5	14,7	26,2	
DP255+097_B_AL	mo-12	B1018	4,40	4,80	-0,69	-1,09	Z3s3		-0,89	18,3	14,6	25,6	
DP255+097_B_AL	mo-13	B1018	5,40	5,80	-1,69	-2,09	Z3s3		-1,89	18,2	13,9	30,9	

Op basis van laboratoriumonderzoek

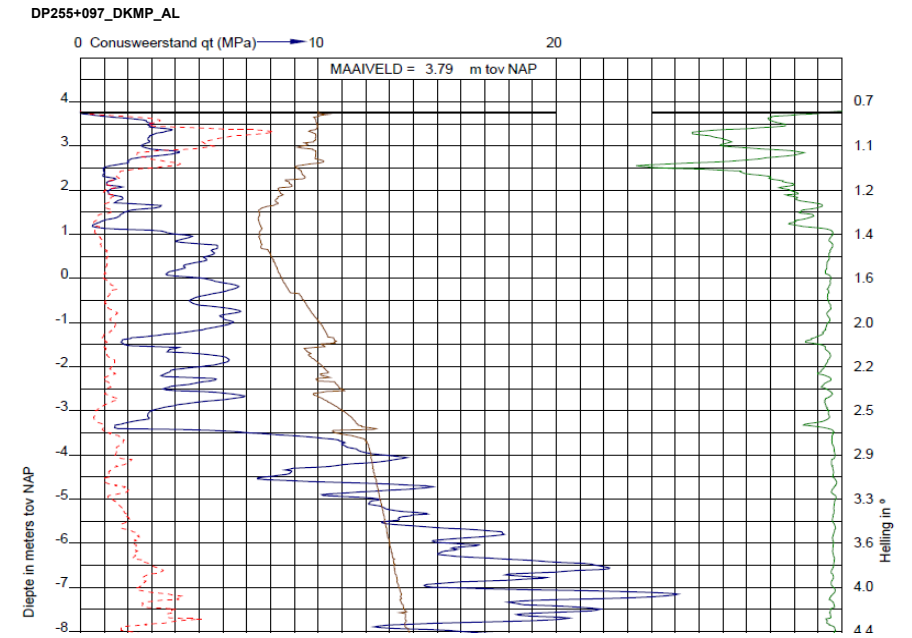
Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
0	0,4	17,9	7,16
0,4	0,8	19	7,6
0,8	1,2	18,5	7,4
1,2	1,6	18,6	7,44
1,6	2	19	7,6
2	2,4	18,4	7,36
			44,6

Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
3,79	1,1	16,63	44,7347
1,1			

deklaagdikte = 2,4
gem. vol massa = 18,57

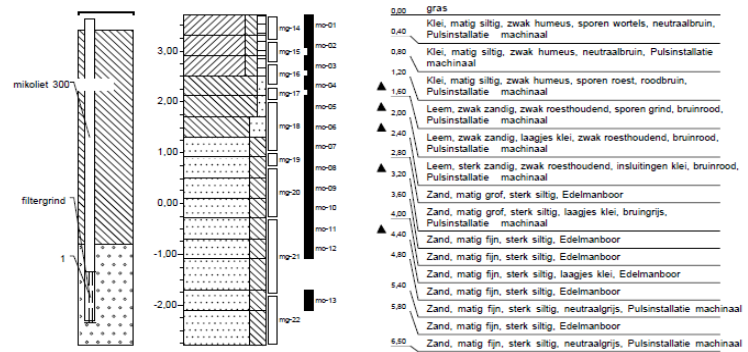
deklaagdikte = 2,69
gem. vol massa = 16,63



Boring: DP255+097_B_AL
 Uitvoering op: 11-11-2019
 Uitvoering door: MDN/RHS
 Uitgevoerd nabij: B1018

Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1
 Maaiveldhoogte [m]: 3,71 N.A.P.

Classificatie volgens NEN 5104
 x-coördinaat [m RD]: 138900,68
 y-coördinaat [m RD]: 444061,29



Boor tag maat	Monster nummer	Monsternedpte (m - mv)	Niveau monster t.o.v. N.A.P. (m)	Grondsoort (NEN 5104)	Bijmenging / Geologische naam	Consistentie	Organisch stof gehalte [%]	Zandfractie [%]	Kalkgehalte bij 900 °C [%]	Droevewerf bij 500 / 550 °C [%]	Vol. gewicht 100% vers. (indicatief) [kN/m³]
	DP263+001_B_AL 1_a	0,15	2,89	Ks2h2		stevig			1,80	8,80	17,9
	DP263+001_B_AL 2_a	0,50	2,54	Ks3h1	grove zandlaag	zeer stevig					19,2
	DP263+001_B_AL 3_a	0,90	2,14	Zs2g1				ZZG			19,0
	DP263+001_B_AL 4_a	1,25	1,79	Zs2g1					ZMG		19,3
	DP263+001_B_AL 5_a	1,80	1,24	Zs2g1					ZMG		19,2
	DP263+001_B_AL 7_a	2,50	0,54	Zs1g1							19,8
	DP263+001_B_AL 8_a	2,95	0,09	Ks2h1		matig stevig					18,1
	DP263+001_B_AL 9_a	3,35	-0,31	Ks2h2		matig stevig	2,80	4,10	5,90	16,8	
	DP263+001_B_AL 10_a	3,80	-0,76	Ks2h2		matig stevig	3,40	10,30	6,10	16,1	
	DP263+001_B_AL 11_a	4,20	-1,16	Ks2h2		matig slap	4,40	9,00	7,20	16,2	
	DP263+001_B_AL 12_a	4,55	-1,51	Ks2h2	zandgelaagd	matig stevig					17,4
	DP263+001_B_AL 13_a	4,90	-1,86	Ks1h3		matig slap	10,60	4,00	14,20	13,5	
	DP263+001_B_AL 13_b	5,15	-2,11	Vm		matig stevig	31,20		31,50	10,8	
	DP263+001_B_AL 14_a	5,35	-2,31	Vm		matig stevig	49,70		50,00	11,0	
	DP263+001_B_AL 15_a	5,70	-2,66	Vk1		matig stevig	27,10		28,50	11,9	
	DP263+001_B_AL 16_a	6,20	-3,16	Vm		stevig	50,30		51,00	10,8	
	DP263+001_B_AL 17_a	6,50	-3,46	Vk3		matig stevig	21,70		25,50	11,9	
	DP263+001_B_AL 17_b	6,70	-3,66	Ks2h2		matig stevig	5,70	6,70	8,20	15,2	
	DP263+001_B_AL 18_a	7,00	-3,96	Ks2h2		matig stevig	4,60	10,30	7,30	17,3	
	DP263+001_B_AL 19_a	7,40	-4,36	Ks2h1		matig stevig				15,6	
	DP263+001_B_AL 20_a	7,75	-4,71	Ks1h3		matig stevig	13,70	4,70	18,60	14,1	
	DP263+001_B_AL 20_b	7,95	-4,91	Vm		matig stevig	39,20		40,20	11,2	
	DP263+001_B_AL 21_a	8,08	-5,04	Vm		stevig	57,10		58,50	10,6	
	DP263+001_B_AL 22_a	8,60	-5,56	Vk1		stevig	29,70		34,40	11,7	
	DP263+001_B_AL 23_a	9,10	-6,06	Ks2h3		matig stevig	14,80	2,90	18,30	13,4	
	DP263+001_B_AL 24_a	9,28	-6,24	Ks2h2		matig stevig	5,20	2,10	8,30	17,3	
	DP263+001_B_AL 24_b	9,45	-6,41	Ks1h2		matig stevig				16,5	
	DP263+001_B_AL 25_a	9,67	-6,63	Ks1		matig slap				18,1	
	DP263+001_B_AL 25_b	9,85	-6,81	Zk					ZMF		19,8

Op basis van laboratoriumonderzoek

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m³]	Gewicht [kPa]
0,15	0,5	19,2	6,72
0,5	0,9	19	7,6
0,9	1,25	19,3	6,755
1,25	1,8	19,2	10,56
1,8	2,5	19,8	13,86
2,5	2,95	18,1	8,145
2,95	3,35	16,8	6,72
3,35	3,8	16,1	7,245
3,8	4,2	16,2	6,48
4,2	4,55	17,4	6,09
4,55	4,9	13,5	4,725
4,9	5,15	10,8	2,7
5,15	5,35	11	2,2
5,35	5,7	11,9	4,165
5,7	6,2	10,8	5,4
6,2	6,5	11,9	3,57
6,5	6,7	15,2	3,04
6,7	7	17,3	5,19
7	7,4	15,6	6,24
7,4	7,75	14,1	4,935
7,75	7,95	11,2	2,24
7,95	8,08	10,6	1,378
8,08	8,6	11,7	6,084
8,6	9,1	13,4	6,7
9,1	9,28	17,3	3,114
9,28	9,45	16,5	2,805
9,45	9,67	18,1	3,982
9,67	9,85	19,8	3,564
9,85			

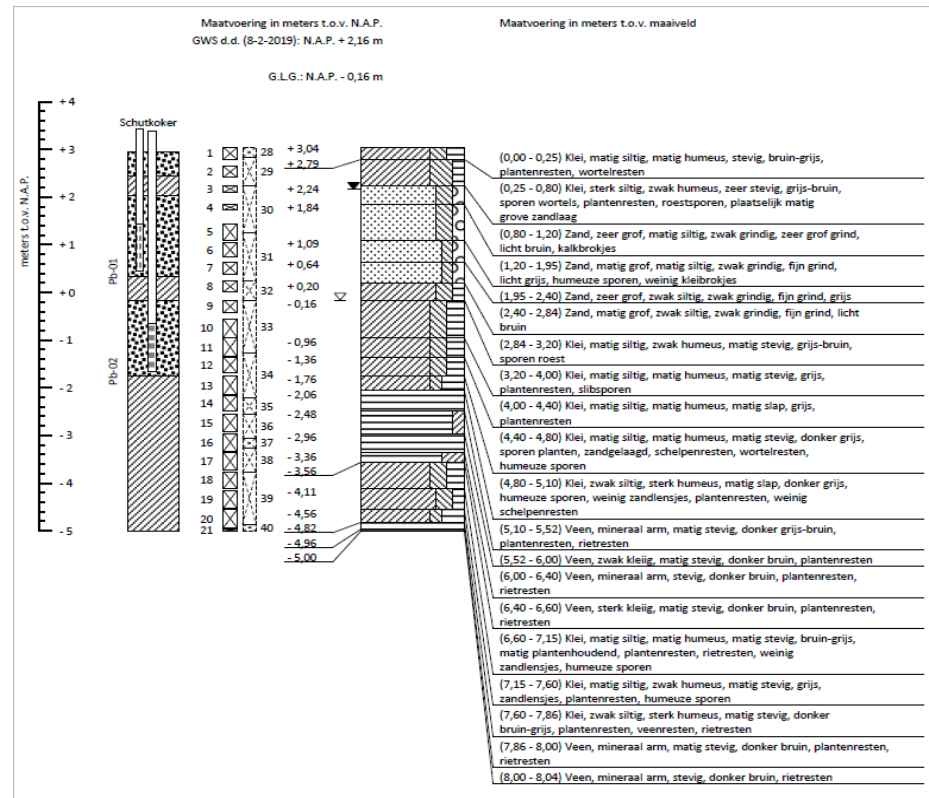
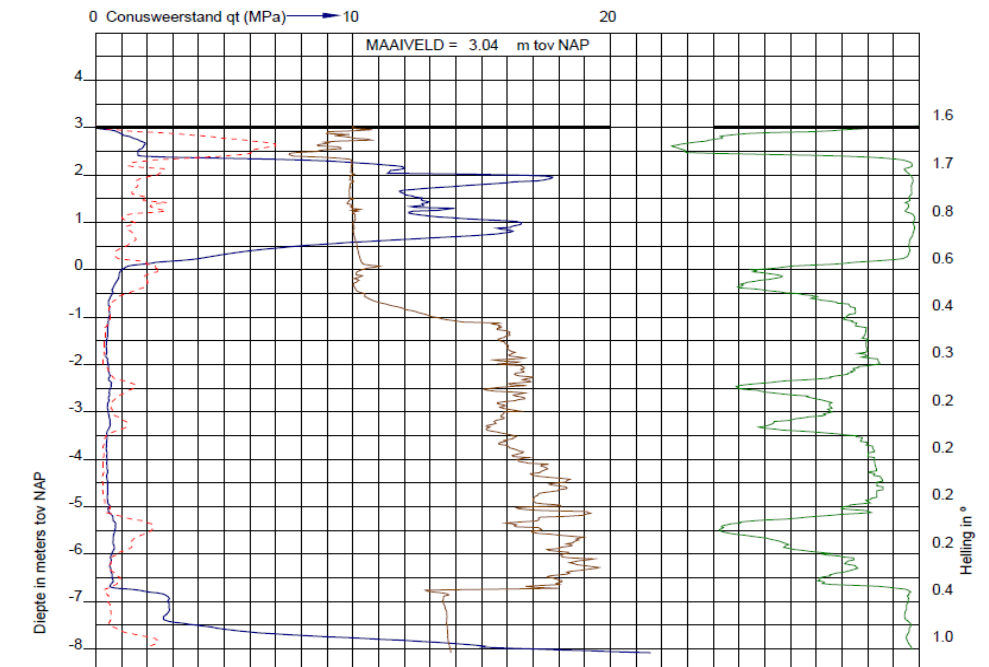
deklaagdikte = 9,7
gem. vol massa = 15,69

Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m³]	Gewicht [kPa]
3,04	2,4	16,63	10,64
2,4	0,2	18,53	40,77
0,2	-0,5	10,9	7,63
-0,5	-2,4	16,63	31,60
-2,4	-2,7	10,9	3,27
-2,7	-3,1	16,63	6,65
-3,1	-3,5	10,9	4,36
-3,5	-5,2	16,63	28,27
-5,2	-5,9	10,9	7,63
-5,9	-6,7	16,63	13,30

deklaagdikte = 9,74
gem. vol massa = 15,82

DP262+114_DKMP1_AL



Boring	Monster	Werknummer	van		tot		Klassificatie	Bijmenging	diepte class	Y _{sat}	V _{droog}	W
			[m-mv]	[m-mv]	[tov NAP]	[tov NAP]						
DP279+081_B_AL	mo-01	B1024	0,00	0,40	3,54	3,14	Ks2h2	ho1wo1	3,34	17,2	13,0	31,9
DP279+081_B_AL	mo-02	B1024	0,40	0,80	3,14	2,74	Ks2h2	pu1wo6	2,94	17,0	12,7	33,6
DP279+081_B_AL	mo-03	B1024	0,80	1,20	2,74	2,34	Zs2	pu6gr6	2,54	15,1	13,8	9,4
DP279+081_B_AL	mo-04	B1024	1,20	1,60	2,34	1,94	Zs2g1	ro2	2,14	18,8	16,4	14,2
DP279+081_B_AL	mo-05a	B1024	1,60	1,96	1,94	1,58	Zs2g1		1,76			
DP279+081_B_AL	mo-05b	B1024	1,96	2,00	1,58	1,54	Ks3h2	gr6pl6	1,56	16,9	11,5	47,4
DP279+081_B_AL	mo-06	B1024	2,00	2,40	1,54	1,14	Ks2h3	za6pu1	1,34	17,5	12,7	38,3
DP279+081_B_AL	mo-07	B1024	2,40	2,80	1,14	0,74	Ks2h2	pu1za9	0,94	16,6	11,7	42,6
DP279+081_B_AL	mo-08	B1024	2,80	3,20	0,74	0,34	Ks2h2	pl1ka6za10	0,54	16,0	10,3	54,8
DP279+081_B_AL	mo-09a	B1024	3,20	3,38	0,34	0,16	Ks2h2	pl1za10	0,25	15,3	9,2	66,5
DP279+081_B_AL	mo-09b	B1024	3,38	3,60	0,16	-0,06	Ks3h2	ve9	0,05			
DP279+081_B_AL	mo-10	B1024	3,60	4,00	-0,06	-0,46	Ks3h2	za9	-0,26	18,6	14,3	29,6
DP279+081_B_AL	mo-11	B1024	4,00	4,40	-0,46	-0,86	Ks3h2	ho1	0,86	15,9	9,9	60,0
DP279+081_B_AL	mo-12	B1024	4,40	4,80	-0,86	-1,26	Ks3h1	ho6za9pl6	-1,06	18,0	13,1	37,4
DP279+081_B_AL	mo-13	B1024	4,80	5,20	-1,26	-1,66	Ks3h1	za9vc6	1,46	17,7	12,5	41,1

Op basis van laboratoriumonderzoek

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
0	0,4	17,2	6,88
0,4	0,8	17	6,8
0,8	1,2	15,1	6,04
1,2	1,6	18,8	7,52
1,6	1,96	18,8	6,768
1,96	2	16,9	0,676
2	2,4	17,5	7
2,4	2,8	16,6	6,64
2,8	3,2	16	6,4
3,2	3,38	15,3	2,754
3,38	3,6	18,6	4,092
3,6	4	18,6	7,44
4	4,4	15,9	6,36
4,4	4,8	18	7,2
4,8	5,2	17,7	7,08
			89,65

Op basis van sondering

Van [m]	Tot [m]	γ [kN/m ³]	Gewicht [kPa]
3,44	2,8	16,63	10,6432
2,8	1,6	18,53	22,236
1,6	-1,7	16,63	54,879

deklaagdikte = 5,2
gem. vol massa = 17,24

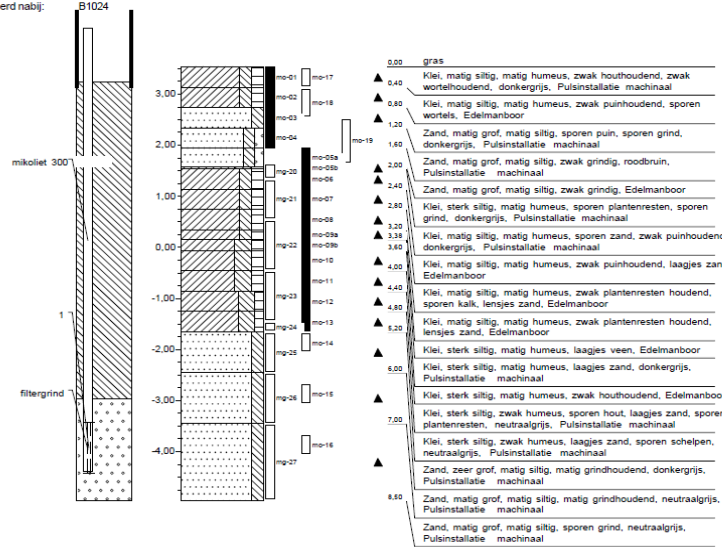
deklaagdikte = 5,14
gem. vol massa = 17,07

87,8

Boring: DP279+081_B_AL
Uitvoering op: 6-11-2019
Uitvoering door: MDN/RHS
Uitgevoerd nabij: B1024

Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1
Maatvlelhoogte [m]: 3,54
N.A.P.

Classificatie volgens NEN 5104
x-coördinaat [m RD]: 137405,37
y-coördinaat [m RD]: 445691,46



DP280+000_DKMP2_BIT

