



Gebiedsinrichting Zuidelijk Westerkwartier

Definitief ontwerp kaden Lettelberterbergboezem

Prolander

16 juni 2020

Project	Gebiedsinrichting Zuidelijk Westerkwartier
Opdrachtgever	Prolander
Document	Definitief ontwerp kaden Lettelberterbergboezem
Status	Definitief 02
Datum	16 juni 2020
Referentie	116831/20-009.365
Projectcode	116831
Projectleider	ing. E.S. van der Weide
Projectdirecteur	drs. M.J. Schilt

Auteur(s)	E.P. Saathof BSc, J.H. Sinnema BSc
Gecontroleerd door	ir. P.H.H. Stuurwold
Goedgekeurd door	ing. E.S. van der Weide

Paraaf



Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Deventer K.R. Poststraat 100-3 Postbus 186 8440 AD Heerenveen +31 (0)513 64 18 00 www.witteveenbos.com KvK 38020751
-------	---

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Projectgebied	5
1.3	Doel ontwerprapport	6
1.4	Leeswijzer	6
2	TOTSTANDKOMING ONTWERP	7
2.1	Segmentatie	7
2.2	Maatgevende sneden	8
2.3	Werkwijze en specifieke uitgangspunten ten aanzien van hoogte	10
2.3.1	Definities	10
2.3.2	Optimalisaties en nadere detaillering	11
2.3.3	Geotechnische parameters	12
2.3.4	Uitvoeringsperiode	12
2.3.5	Ophoogschema	13
2.3.6	Gebiedseigen materiaal	13
2.3.7	Bodemdaling	13
2.3.8	Veen oxidatie, klink & ontwatering	13
3	ONTWERPRESULTATEN LETTELBERTERBERGBOEZEM	14
3.1	Segment 1	14
3.1.1	Bodemopbouw segment 1	15
3.1.2	Specifieke uitgangspunten	16
3.1.3	Resultaat STBI-segment 1	16
3.1.4	Resultaat STBU-segment 1	17
3.1.5	Resultaten HT-segment 1	18
3.1.6	Resultaat STPH-segment 1	19
3.2	Segment 2	19
3.2.1	Bodemopbouw segment 2	20
3.2.2	Specifieke uitgangspunten	20
3.2.3	Resultaat STBI-segment 2	21
3.2.4	Resultaat STBU-segment 2	21
3.2.5	Resultaten HT-segment 2	21
3.2.6	Resultaat STPH-segment 2	22
3.3	Segment 3	24

3.3.1	Bodemopbouw segment 3	25
3.3.2	Specifieke uitgangspunten	25
3.3.3	Resultaat STBI-segment 3	26
3.3.4	Resultaat STBU-segment 3	31
3.3.5	Afwijking scenario STBU val na hoogwater	34
3.3.6	Resultaten HT-segment 3	35
3.3.7	Resultaat STPH-segment 3	36
3.4	Segment 4	38
3.4.1	Bodemopbouw segment 4	39
3.4.2	Specifieke uitgangspunten	40
3.4.3	Resultaat STBI-segment 4	40
3.4.4	Resultaat STBU-segment 4	42
3.4.5	Resultaten HT-segment 4	42
3.4.6	Resultaat STPH-segment 4	43
3.5	Segment 5	44
3.5.1	Bodemopbouw segment 5	45
3.5.2	Specifieke uitgangspunten	46
3.5.3	Resultaat STBI-segment 5	46
3.5.4	Resultaat STBU-segment 5	46
3.5.5	Resultaten HT-segment 5	46
3.5.6	Resultaat STPH-segment 5	47
3.6	Segment 6	49
3.6.1	Bodemopbouw segment 6	50
3.6.2	Specifieke uitgangspunten	51
3.6.3	Resultaat STBI-segment 6	51
3.6.4	Resultaat STBU-segment 6	51
3.6.5	Resultaten HT-segment 6	52
3.6.6	Resultaat STPH-segment 6	52
4	SAMENVATTING EN AANDACHTSPUNTEN DEFINITIEF ONTWERP	55
4.1	Samenvatting ontwerpresultaten	55
4.2	Aandachtspunten	55
5	REFERENTIES	56
	Laatste pagina	56

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

In het Zuidelijk Westerkwartier ligt één van de laatste delen van het natuurnetwerk dat binnen de provincie Groningen gerealiseerd moet worden. De ambitie is om in het Zuidelijk Westerkwartier circa 2.100 hectare nieuwe natuur aan te leggen. De realisatie van het natuurnetwerk wordt deels gecombineerd met waterberging. Door de klimaatverandering stijgt de zeespiegel en neemt de kans op extreme regenval toe. Om overstromingen vanuit de boezem te voorkomen moet het waterschap maatregelen treffen. Binnen het natuurnetwerk zijn daarom drie waterbergingsgebieden aangewezen:

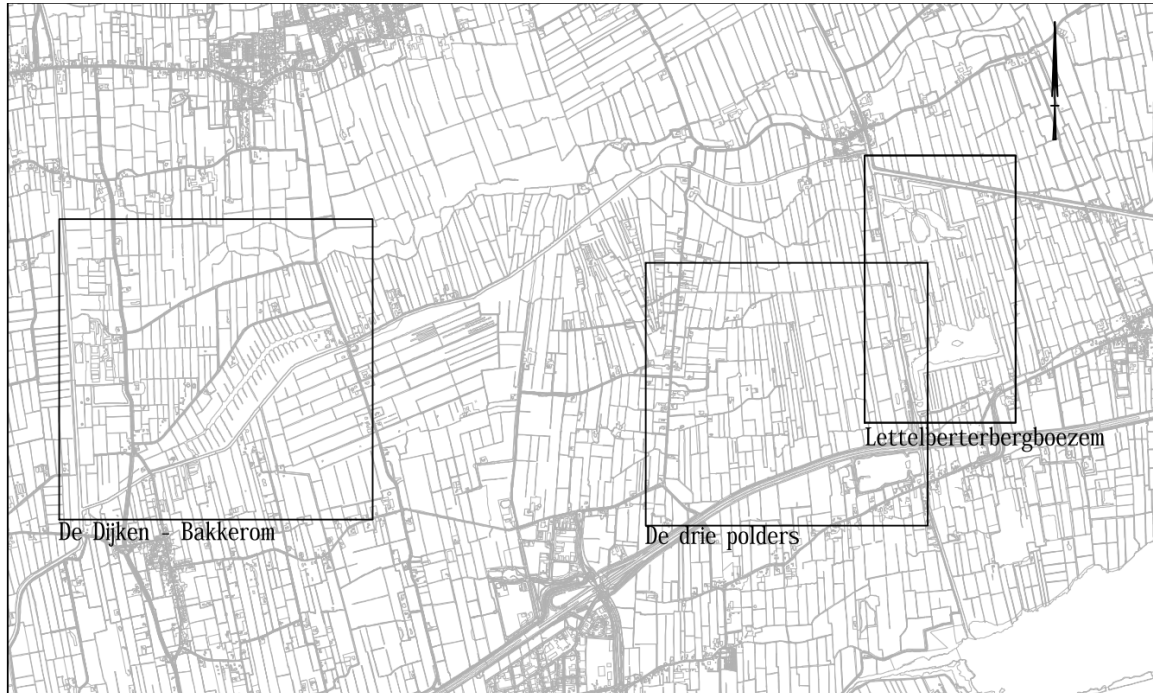
- Het Dwarsdiep:
 - niet beschouwd;
- De Drie Polders:
 - separaat beschouwd;
- Polder De Dijken - Bakkerom:
 - separaat beschouwd.

Daarnaast wordt de Lettelberterbergboezem welke buiten het natuurnetwerk valt ingezet als bergingsgebied. Deze is in onderhavige rapportage beschouwd.

1.2 Projectgebied

De drie deelgebieden zijn gelegen binnen de gemeente Westerkwartier tussen de dorpen Boerakker en Lettelbert en liggen aan de noordzijde van de A7. Een overzicht is weergegeven op navolgende afbeelding.

Afbeelding 1.1 Locatie deelgebieden



1.3 Doel ontwerprapport

De kaden rondom bovenstaande drie gebieden worden aangepast of nieuw aangelegd. In onderhavig rapport zijn de ontwerpresultaten van het DO voor de kaden van de Lettelberterbergboezem gepresenteerd.

De gehanteerde uitgangspunten bij de totstandkoming van het definitief ontwerp zijn vermeld in ontwerpbasis ZWK [ref.1].

1.4 Leeswijzer

De gehanteerde werkwijze bij de totstandkoming van dit DO is toegelicht in hoofdstuk 2. De resultaten van het ontwerp zijn uiteengezet in hoofdstuk 3. Binnen hoofdstuk 3 zijn de relevante faalmechanismen behandeld. In hoofdstuk 4 zijn verdere aandachtspunten weergegeven.

TOTSTANDKOMING ONTWERP

Van de (toekomstige) kaden rondom bovenstaande drie gebieden is het voorlopig ontwerp opgeleverd. De geometrie van het ontwerp is opgenomen in de ontwerpbasis [Ref. 1]. Binnen het VO zijn de geotechnische parameters gebaseerd op parameters uit de NEN 9997-1 [ref.4]. Tevens zijn in het VO voor twee grondlagen (veen en klei) vooruitlopend op labresultaten sterkteparameters ingeschat op basis van ervaring.

Voorafgaand aan voorliggend definitief ontwerp (DO) zijn op basis van labproeven voor de relevante lagen sterkteparameters afgeleid welke bij de totstandkoming van onderhoudig DO zijn toegepast. De parameters en de afleiding ervan zijn gerapporteerd in respectievelijk ontwerpbasis ZWK [ref. 1] en het grondinterpretatie rapport [ref. 2]

Om de zettingen nauwkeuriger vast te stellen zijn eveneens lab proeven verricht om de samendrukingsparameters specifiek voor de lokale omstandigheden in beeld te krijgen. Verder zijn ook proeven uitgevoerd op het aanwezige zand. Hiermee is de doorlatendheid van het zand en daarmee de rol van piping in dit DO nauwkeuriger vastgesteld.

2.1 Segmentatie

In het VO is per waterbergingsgebied voor elk te toetsen faalmechanisme één maatgevende snede geselecteerd waarop het betreffende faalmechanisme is getoetst. Deze snede is vervolgens representatief geacht voor de kade langs de gehele waterberging. In het DO zijn de kades langs alle drie de waterbergingen opgedeeld in meerdere segmenten. De segmenten zijn opgedeeld op basis van geotechnische en geometrische kenmerken. Deze segmentering is enerzijds noodzakelijk vanwege verschillen in de geometrie van het al dan niet bestaande kadetracé en anderzijds gewenst om optimalisaties te kunnen doorvoeren. In de ontwerpbasis ZWK [ref. 1] is de (totstandkoming van de) segmentatie nader toegelicht.

De segmentering van de Lettelberterbegboezem is weergegeven op afbeelding 2.1 en bijlage I.

[illegible]

De berekende sneden zijn zo gekozen dat deze voor één of meerdere faalmechanismen representatief zijn voor één of meerdere segmenten. Een snede kan daarmee ten aanzien van één of meerdere

faalmechanismen representatief zijn voor een gehele waterberging. Als dit laatste niet het geval is zijn meerdere sneden doorgerekend.

De segmenten binnen de Lettelberterbergboezem zijn vanwege geometrische kenmerken en verschillende normeringen ondergebracht in drie verschillende secties conform onderstaande tabel.

Tabel 2.1 Secties Lettelberterbergboezem

Sectie	Kenmerk	Segmenten
1	regulier ontwerp	1, 2, 6
2	bestaande kade met dubbel kerende functie (RCI)	3, 5
3	kade op particulier terrein	4

De segmentering en de daarbij te berekenen sneden voor de Lettelberterbergboezem zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2.2 Segmentatie Lettelberterbergboezem

Segment [-]	Sectie	Traject ¹ [km-km]	Locatie dwarsdoorsnede ¹ [km]	Representatieve sondering [-]	Te beschouwen faalmechanisme
1A 1B	1	1.100 - 1.750 1.750 - 1.940	1.050 ²	S206	STBI + STBU
2	1	1.940 - 3.075	2.885	S413	STPH
3A 3B 3 3	2	3.075 - 3.350 3.350 - 4.125 3.075 - 4.125 3.075 - 4.125	3.200 3.400 3.750 4.000	S416 S211 S211 S212	STBI+ STBU STBI + STBU STPH HT
4	3	4.125 - 4.380	4.280 4.150	S213 S214	STBI + STBU + HT STPH
4 t.p.v. Lettelberterdiep	3	4.125-4.380	n.t.b. n.t.b.	S213 S214	STBI + STBU + HT STPH
5	2	4.380 - 4.848 + 0.000 - 0.035	4.745 4.580	S417 S201	STPH HT
6	1	0.035 - 1.100	0.900 0.150	S205 S202	STPH HT

¹ Metring is gebaseerd op Dijk-as + metring.dwg.

² Dwarsprofiel ligt in segment 6 maar is eveneens maatgevend voor segment 1.

Zoals blijkt uit tabel 2.2 worden niet alle faalmechanismen in elk segment getoetst. Eén segment kan voor meerdere segmenten representatief zijn. De representatie van de faalmechanismen binnen de verschillende segmenten is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 2.3 Representatie van segmenten ten aanzien van faalmechanismen

Segment	T.a.v. STBU gerepresenteerd door:	T.a.v. STBI gerepresenteerd door:	T.a.v. HT gerepresenteerd door:	T.a.v. STPH gerepresenteerd door:
[-]	segment [-]	segment [-]	segment [-]	segment [-]
1	1	1	1	6
2	1	1	4	6
3	3	3	3	5
4	4	4	4	4
4 t.p.v. Lettelberterdiep	4 t.p.v. Lettelberterdiep	4 t.p.v. Lettelberterdiep	4 t.p.v. Lettelberterdiep	4 t.p.v. Lettelberterdiep
5	3	3	5	5
6	1	1	6	6

2.3 Werkwijze en specifieke uitgangspunten ten aanzien van hoogte

Voor het bepalen van de zettingen als genoemd in deze rapportage zijn daarom diverse optimalisaties doorgevoerd. De doorgevoerde optimalisaties zijn weergegeven in paragraaf 2.3.2. In paragraaf 2.3.1 zijn de definities met betrekking tot zettingen weergegeven.

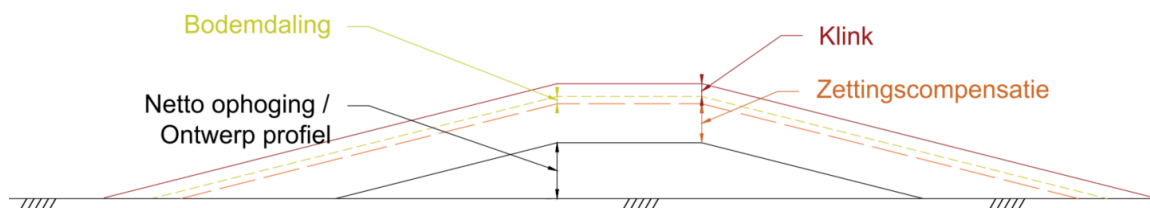
Op basis van samendrukkingsparameters uit labonderzoek zijn zettingsberekeningen uitgevoerd om de aanleghoogte van de kaden op basis van het streefprofiel vast te stellen.

2.3.1 Definities

In dit rapport zijn diverse termen met betrekking tot zettingen gebruikt. Op afbeelding 2.2 en afbeelding 2.3 zijn de definities weergegeven. Zoals weergegeven in het VO zijn voor het bepalen van de hoogte van de kaden de volgende componenten meegenomen:

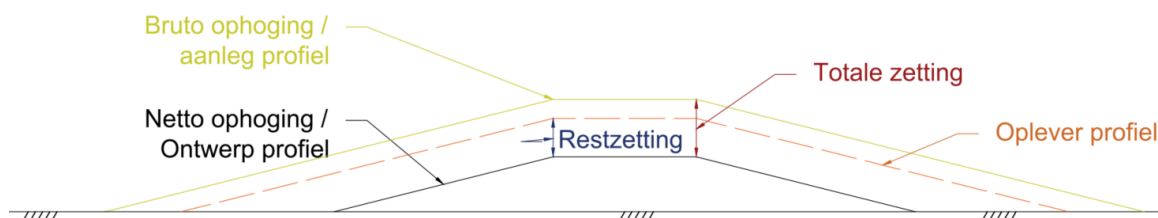
- bruto ophoging (aanleghoogte - maaiveldniveau):
 - variabel;
- netto ophoging (ontwerphoogte - maaiveldniveau):
 - vereiste hoogte van de kaden in 2070 (NAP +0,0 m);
- overhoogte - ten behoeve van zetting compensatie bruto ophoging:
 - overhoogte benodigd om zetting van de bruto ophoging te compenseren (bepaald in zettingsberekening);
- overhoogte ten behoeve van compensatie bodemdaling:
 - overhoogte benodigd om zakking door bodemdaling te compenseren (20 cm);
- overhoogte ten behoeve van optredende klink, oxidatie en ontwatering:
 - overhoogte benodigd om volumeverlies van het aangebrachte materiaal te compenseren (7,5 %);
- zettingscompensatie overhoogte:
 - overhoogte benodigd om zetting door voorgaande overhoogtes te compenseren (bepaald in zettingsberekening, niet weergegeven op navolgende afbeelding);
- restzetting:
 - zetting welke optreedt tussen moment van oplevering en einde zichtperiode.

Afbeelding 2.2 Definities zettingscomponenten



Om het ontwerpprofiel bij einde zichtperiode te garanderen dienen bovengenoemde opslagen, (= de totale zakking), verwerkt te zijn in het aanlegprofiel. Niet overal is de aanleghoogte gelijk aan de opleverhoogte. De zetting die optreedt voor oplevering is dan ook afhankelijk van de bouwtijd en de zettingssnelheid van de zettingsgevoelige lagen. Bij opleveren van de kade dient het streefprofiel als aangegeven in [ref. 1] aanwezig te zijn. Bij aanleg dient de zettingscompensatie te worden aangebracht. Dit betekent dat het talud bij aanleg steiler wordt opgetrokken. De stabiliteit van het (steilere) aanlegprofiel is geen onderdeel van de scope van het DO en is dan ook niet beschouwd.

Afbeelding 2.3 Definities met betrekking tot zettingen



2.3.2 Optimalisaties en nadere detaillering

Voorafgaand aan de totstandkoming van het DO zijn in overleg met Prolander en waterschap Noorderzijlvest de volgende optimalisaties vastgesteld om mee te nemen in het DO.

Tabel 2.4 Overzicht mogelijke optimalisaties ten aanzien van hoogte

nr.	Omschrijving	Benodigde input	Gevolgen/risico's
1	Segmentatie	<ul style="list-style-type: none"> - segmentatie kade; - aanvullende zettingsberekeningen. 	<ul style="list-style-type: none"> - beperking (in lengterichting) van toe te passen maatgevende zettingscompensatie; - verschillende aanleghoogtes binnen het gebied; - aanleghoogte maatgevende snede(s) blijft onwenselijk hoog.
2	herzien samendrukkingsparameters	<ul style="list-style-type: none"> - labonderzoek; - interpretatie labproeven; - herziening berekeningen. 	<ul style="list-style-type: none"> - nauwkeuriger voorspelling zetting; - grotere berekende zetting theoretisch mogelijk.
3	herziening gewicht gebiedseigen materiaal	<ul style="list-style-type: none"> - labproeven; volumiek gewicht 	<ul style="list-style-type: none"> - nauwkeuriger voorspelling van optredende zettingen; - mogelijk lokale overschrijding van de voorspelde zettingen door toepassen van zwaarder materiaal.
4	toevoegen zettingsmodel	<ul style="list-style-type: none"> - interpretatie samendrukkingsproeven; - vaststellen abc parameters; - herziening zettingsberekeningen. 	<ul style="list-style-type: none"> - nauwkeuriger voorspelling zetting.

nr.	Omschrijving	Benodigde input	Gevolgen/risico's
5	uitvoeringsduur	- vaststelling maximale uitvoeringsduur.	- lager opleverprofiel of langere zichtperiode; - initieel aanlegprofiel blijft hoog (tijdens uitvoering); - lange bouwfase.
6	zichtperiode (ontwerp)	- aanpassing zichtperiode; - aanpassing zettingsberekeningen.	- minder zettingscompensatie noodzakelijk; - eerdere (herstel)werkzaamheden aan kade bij aanpassen zichtperiode.
8	proefterp	- ontwerp proefkade; - monitoring; - monitoringsplan; - registratie zakbakens; - registratie waterspanning; - vaststellen gewicht kade; - uitvoeren fit berekeningen/zettingsberekeningen.	- nauwkeuriger voorspelling zettingen; - aanpassing mogelijk op basis van werkelijk grondgedrag; - mogelijk door te zetten in uitvoering voor nauwkeuriger voorspelling; - door beperkte duur van monitoring tot verwachte oplevering DO zijn de resultaten minder relevant (wel indicatief) voor het DO.

2.3.3 Geotechnische parameters

Voor de totstandkoming van de resultaten voor de zettingen zijn de geotechnische parameters gehanteerd als weergegeven in ontwerpbasis ZWK [ref.1]. Voor de volledigheid zijn ze ook in tabel 2.4 weergegeven.

De labresultaten laten een significant ander beeld zien ten opzichte van de samendrukkingsparameters als gehanteerd in het VO. Daarnaast dient er rekening te worden gehouden met het feit dat het werkelijke zettingsverloop in de praktijk vaak afwijkt van de in het ontwerp vastgestelde zettingen. Het is derhalve reëel dat de zichtperiode na of gedurende uitvoering opnieuw bijgesteld moet worden.

Tabel 2.5 Resultaten stijfheidsparameters ABC-methode

Grondsoort [-]	y_{dr} [kN/m ³]	y_{sat} [kN/m ³]	B [-]	A [-]	C [-]	POP ³ [kPa]	OCR ⁴ [-]	Cv [m ² /s]
veen, slap	10,0	10,0	0,214	0,053	0,0134	10,1	1,7	8,1 ^E -07
klei, organisch slap	13,5	13,5	0,066	0,013	0,009	18,8	2,0	3,3 ^E -07
klei, organisch matig	16,6	16,6	0,066	0,013	0,009	18,8	2,0	3,3 ^E -07
klei, organisch matig belast	16,6	16,6	0,066	0,013	0,009	23,1	2,0	3,3 ^E -07
potklei	17,5	17,5	0,029	0,010	0,001	32,1	2,0	6,2 ^E -08
zand (zwak siltig) ¹	18,0 ²	19,7	0,003	0,001	0,000	10 ⁵	2,0 ⁵	gedraineerd

¹ Samendrukkingsparameters gebaseerd op verhoudingen uit NEN 9997-1+C2:2017, hierbij zijn de voor alle voorkomende zandlagen dezelfde samendrukkingseigenschappen aangehouden.

Conform NEN 9997-1+C2:2017 tabel 2.B.

³ De grensspanning wordt bepaald middels de POP voor lagen tot 3 m-maaiveld.

⁴ De grensspanning wordt bepaald middels de OCR voor lagen > 3 m-maaiveld.

⁵ OCR en POP-getallen zijn ingeschat op respectievelijk 2,0 en 10.

2.3.4 Uitvoeringsperiode

Bij het bepalen van de zichtperiode bij benodigde bruto ophogingen groter dan 30 cm zijn de zettingen gebaseerd op een rustperiode van een half jaar. Dit wil zeggen dat tussen het bereiken van de benodigde

bruto ophoging en het afwerken op de opleverhoogte 180 dagen verstrijken. Bij bruto ophogingen kleiner dan of gelijk aan 30 cm is de aanleghoogte gelijk gesteld aan opleverhoogte is.

2.3.5 Ophoogschema

In de berekeningen is uitgegaan van een ophoogtempo van 1 m per maand. Dit is niet verder onderbouwd met analyses voor uitvoeringsstabiliteit. Tijdens uitvoering dient per ophoogslag de zettingen en waterspanningen te worden geregistreerd op basis waarvan de ophoogslagen vrijgegeven kunnen worden.

2.3.6 Gebiedseigen materiaal

In de zettingsberekeningen voor de Lettelberterbergboezem is voor het gebiedseigen materiaal een volumiek gewicht van γ_{sat} 17,5 kN/m³ en γ_{dr} 16,5 kN/m³ aangehouden.

2.3.7 Bodemdaling

In de ontwerpbasis is vastgesteld dat uitgegaan dient te worden van 20 cm bodemdaling in 50 jaar. Voor het vaststellen van de zichtperiode is aangenomen dat er jaarlijks 0,4 cm bodemdaling optreedt.

2.3.8 Veenvan oxidatie, klink & ontwatering

Vanwege de (lokaal) zeer humeuze samenstelling van het gebiedseigen materiaal is een risico op (aanzienlijke) zakking door (veen)oxidatie aanwezig. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met zakking door uitdroging en klink van het aangebrachte materiaal. Klink wordt verwaarloosbaar klein geacht door het materiaal goed te verdichten tijdens de aanleg. In afstemming met het waterschap zijn in de berekeningen bij een zichtperiode van 50 jaar het eerder gehanteerde klinkpercentage van 7,5 % als toeslag voor het effect van oxidatie, uitdroging en (beperkte) klink meegenomen. Hoeveel deze waarde in werkelijkheid is, zal in de praktijk gemonitord moeten worden. In ongunstige omstandigheden kan deze waarde ook groter zijn. De grootte van de toeslag is arbitrair afhankelijk gemaakt van de zichtperiode conform onderstaande.

Tabel 2.6 Toeslag percentages voor oxidatie, klink en ontwatering

Zichtperiode	Toeslag t.b.v. oxidatie, klink en ontwatering
(jaren)	(%)
40 - 50	7,5
30 - 39	6,0
0 - 29	4,5

3

ONTWERPRESULTATEN LETTELBERTERBERGBOEZEM

In dit hoofdstuk zijn per segment achtereenvolgens de resultaten voor binnenwaartse stabiliteit (STBI), buitenwaartse stabiliteit (STBU), hoogte (HT) en piping (STPH) weergegeven.

3.1 Segment 1

Het bodemprofiel ten aanzien van hoogte en stabiliteit is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S206. Het maatgevende dwarsprofiel ten aanzien van stabiliteit is gebaseerd op dwarsprofiel 21 uit; situatie.pdf d.d. 11 april 2019 op km 1.050¹. Het maatgevende dwarsprofiel ten aanzien van hoogte is gebaseerd op dwarsprofiel 22 op km 1.100¹. In de onderstaande afbeelding is het segment 1A en 1B weergegeven met (licht) blauwe lijnen.

¹ Locatie valt in principe binnen segment 6, desondanks geeft deze dwarsdoorsnede een maatgevend beeld voor segment 1.

Afbeelding 3.1 Maatgevende snede segment 1



3.1.1 Bodemopbouw segment 1

Tabel 3.1 Bodemopbouw S206

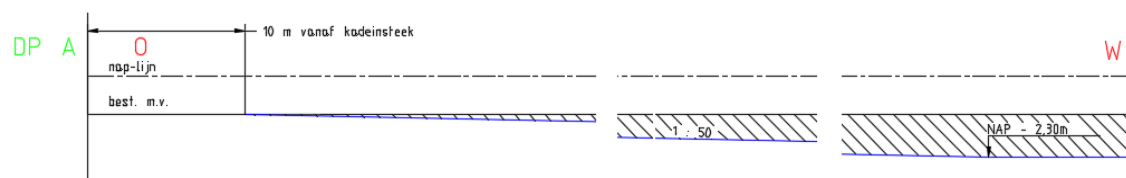
Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
klei, schoon, matig	0,39
veen, slap	0,24
klei, schoon, matig	-1,25
veen, slap	-1,50
zand, sterk siltig	-2,50
potklei	-3,15
zand, sterk siltig	-7,60
potklei	-9,00
zand, zwak siltig	-10,00
zand schoon, vast	-13,00

3.1.2 Specifieke uitgangspunten

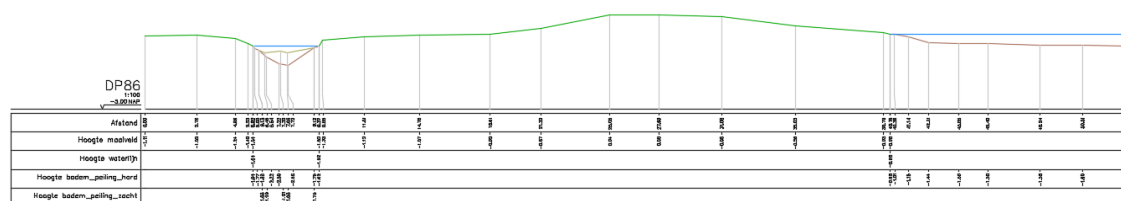
Geometrie bestaande watergangen

Het dwarsprofiel van de waterpartij aan de westzijde van de kering is gebaseerd op dwarsprofiel A uit Bergboezem revisie.dwg en dwarsprofiel 86 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg. Hieruit blijkt dat de insteek van de waterpartij op circa 9,0 m uit de buitenkruinlijn is gelegen. In afwijking op dwarsprofiel A volgt de insteek een talud van circa 1:4 tot een diepte van circa NAP -1,44 m gevolgd door een talud van 1:50 naar een maximale diepte van NAP -2,30 m.

Afbeelding 3.2 Dwarsprofiel A



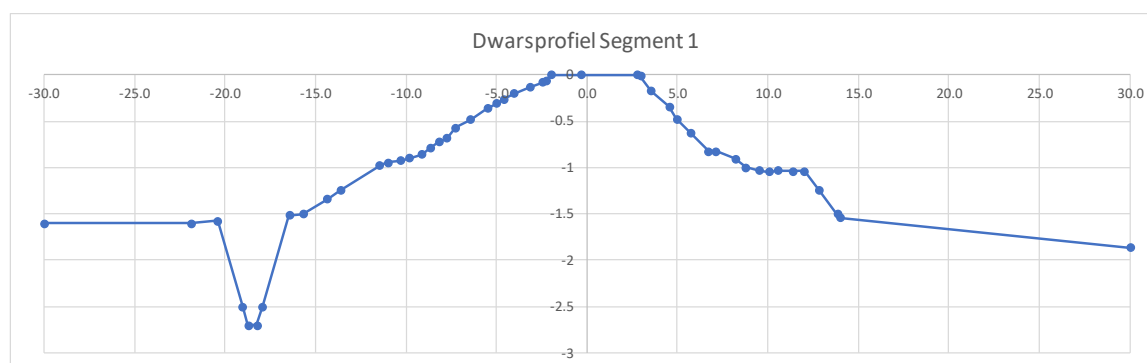
Afbeelding 3.3 Dwarsprofiel 86



De sloot aan de binnenzijde van de dijk de Bergboezembermsloot is gemodelleerd op een afstand van 7,0 m uit de teen van de dijk. De sloot is op basis van Bergboezem revisie.dwg gemodelleerd als een sloot met taluds 1:1,5 bodembreedte 0,5 m en diepte NAP -2,70 m.

Het gemodelleerde dwarsprofiel is weergegeven op onderstaande afbeelding.

Afbeelding 3.4 Gemodelleerd dwarsprofiel segment 1



3.1.3 Resultaat STBI-segment 1

Uitgangspunten opbarsten/opdrijven STBI

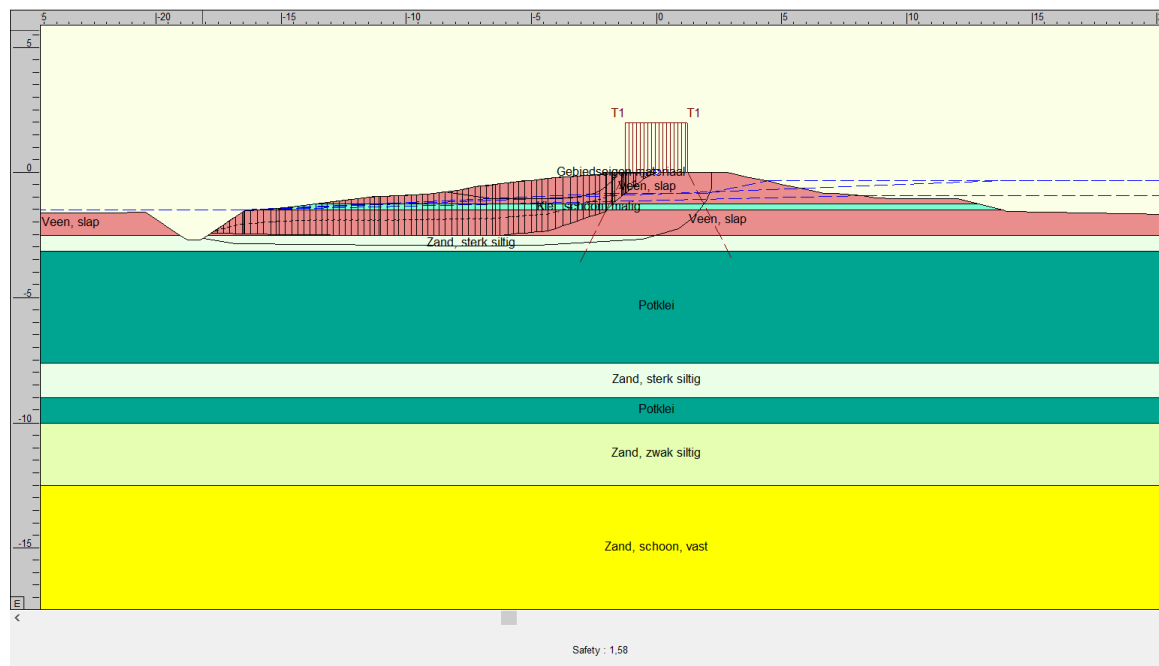
Bij inzet van de waterberging zal de waterstand in de berging toenemen. Aangezien de bodem van de reeds bestaande waterpartij is gelegen op NAP -2,30, is een beperkte cohesieve deklaag aanwezig of zelfs geheel afwezig (veen tot circa NAP -2,25 m op basis van sondering S205). Hierom is een volledige respons in het

watervoerend pakket verondersteld. Doordat de kwelsloot aan de oostzijde eveneens direct in de zandlaag insnijdt is een open verbinding aanwezig. Hiermee is de potentiaal van de zandlaag ter plaatse van de kwelsloot gelijk aan polderpeil. Overigens is er vanwege de open verbinding kans op aanzienlijke hoeveelheden kwelwater vanuit de waterberging (bij hoog water).

Toetsing STBI-segment 1

Afbeelding 3.5 bevat het maatgevende glijvlak voor segment 1. De behaalde maatgevende veiligheidsfactor bedraagt 1,58 en voldoet ruim.

Afbeelding 3.5 Maatgevend glijvlak STBI-segment 1 (S206 Spencer)

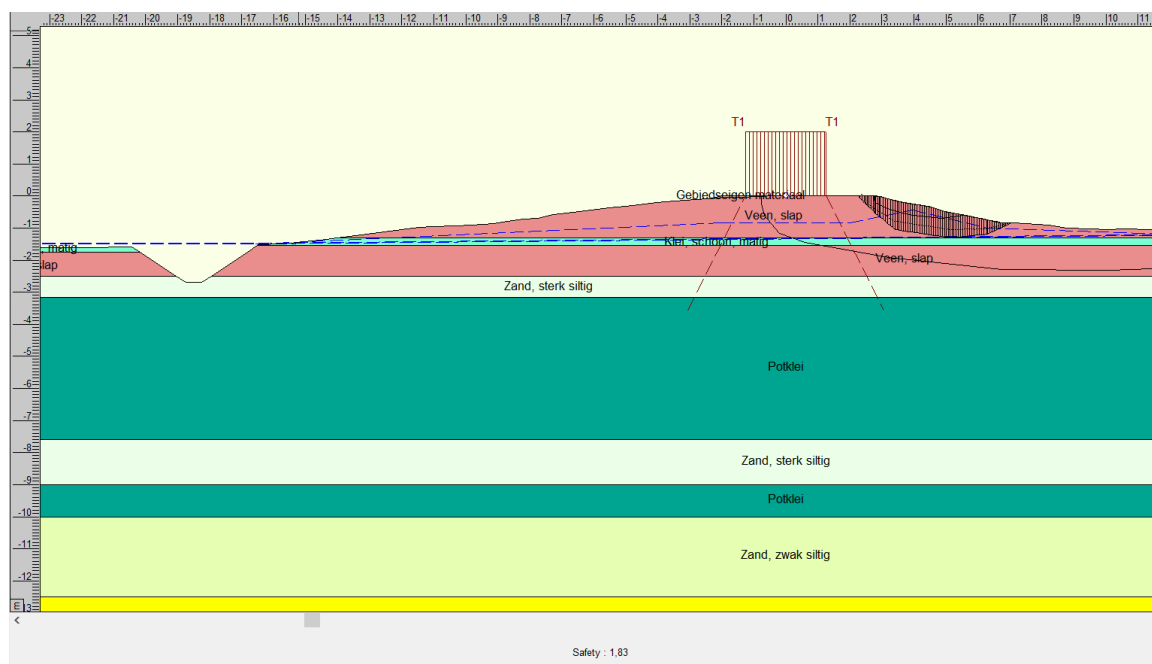


3.1.4 Resultaat STBU-segment 1

Toetsing STBU-segment 1

Afbeelding 3.6 bevat het maatgevende glijvlak voor segment 1. De behaalde maatgevende veiligheidsfactor bedraagt 1,83 en voldoet ruim.

Afbeelding 3.6 Maatgevend glijvlak STBU-segment 1



3.1.5 Resultaten HT-segment 1

Op basis van maatgevend profiel dwarsprofiel 22 (1.100 km) is de hoogte van de bestaande kade binnen segment 1A minimaal NAP -0,075 m. Doordat deze boven NAP -0,10 m is gelegen is er in overeenstemming met ontwerpbasis ZWK geen zettingsberekening uitgevoerd. De opleverhoogte is daarentegen gebaseerd op een pragmatisch vastgestelde zettingscompensatie.

Tabel 3.2 Resultaten zichtperiode segment 1A

Niveau huidig maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren	Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]
[m +NAP]	[m]	[m +NAP]	[m]	[m +NAP]
-0,075	0,37	0,30	0,00	0,30

¹ Betreft de aanleghoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m+NAP]
0,30	0,05 ¹	0,03 ¹	0,20	50 ¹	0,02

¹ Zetting, klink en daarmee de duur van de zichtperiode vastgesteld op basis van pragmatische toeslagen als omschreven in ontwerpbasis ZWK [ref.1].

Segment 1B is grotendeels al volledig op hoogte (>NAP +0,20 m). Daar waar de kade (lokaal) nog niet volledig op hoogte is <NAP +0,20 m dient te worden aangevuld tot NAP +0,30 m.

Tabel 3.3 Resultaten zichtperiode segment 1B

Niveau huidig maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren	Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]
[m +NAP]	[m]	[m +NAP]	[m]	[m +NAP]
>0,20	0,0	0,30	0,00	0,30

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m +NAP]
0,30	0,05 ¹	0,03 ¹	0,20	50 ¹	0,02

¹ Zetting, klink en daarmee de duur van de zichtperiode vastgesteld op basis van pragmatische toeslagen als omschreven in ontwerpbasis ZWK [ref.1].

3.1.6 Resultaat STPH-segment 1

Segment 1 is niet separaat beschouwd ten aanzien van STPH. Segment 1 wordt ten aanzien van STPH gerepresenteerd door segment 6. De deklaag is daar aanzienlijk dunner en is daarmee maatgevend geacht.

3.2 Segment 2

Het bodemprofiel ten aanzien van stabiliteit is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S413. Het bodemprofiel ten aanzien van STPH is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S412. Het maatgevende dwarsprofiel is voor beide faalmechanismen gebaseerd op dwarsprofiel 44 uit; situatie.pdf d.d. 11 april 2019 op 2.200 km. Segment 2 is aangeduid met een donkerrode lijn.

Afbeelding 3.7 Maatgevende snede segment 2



3.2.1 Bodemopbouw segment 2

Tabel 3.4 Bodemopbouw S413

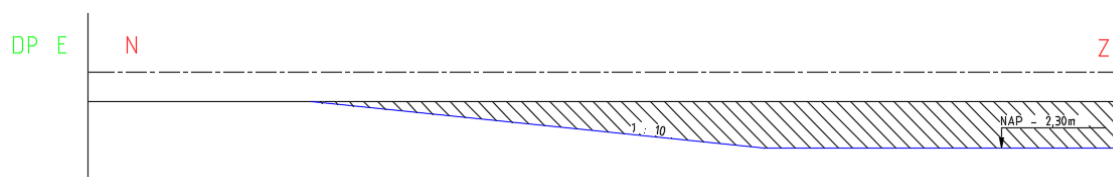
Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
klei, organisch matig	-1,23
veen, slap	-2,0
zand, zwak siltig	-4,75
zand, schoon, vast	-8,25
potklei	-12,75

3.2.2 Specifieke uitgangspunten

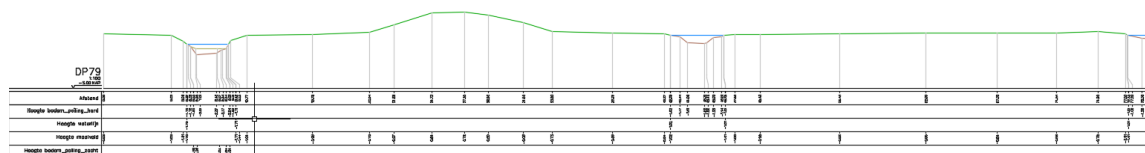
Geometrie bestaande watergangen

Het dwarsprofiel van de waterpartij aan de westzijde van de kering is gebaseerd op dwarsprofiel E uit Bergboezem revisie.dwg en dwarsprofiel 79 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg. De insteek van de waterpartij is in afwijking op dwarsprofiel 79 op circa 20,0 m uit de buitenkruinlijn gemodelleerd.

Afbeelding 3.8 Dwarsprofiel E



Afbeelding 3.9 Dwarsprofiel 79

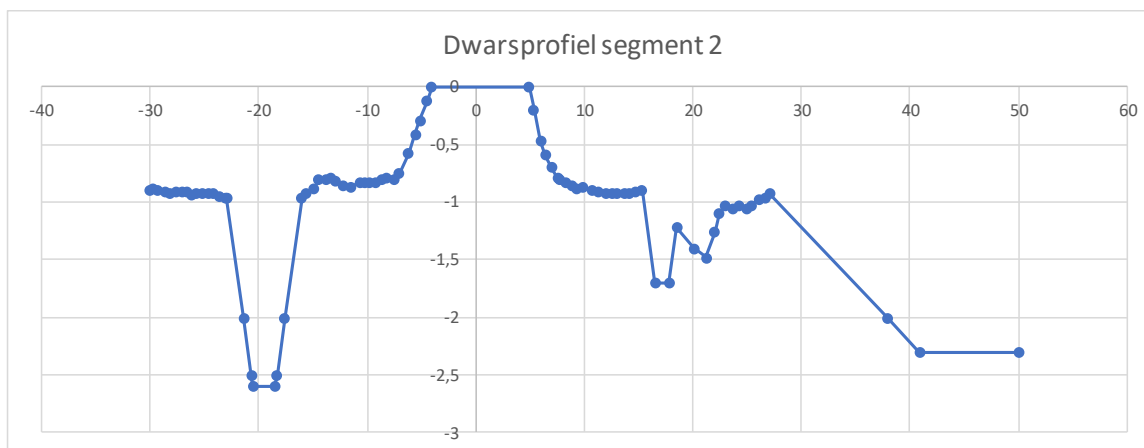


De watergang aan de binnenzijde van de dijk is gemodelleerd op een afstand van 8,5 m uit de teen van de dijk. De watergang is op basis van dwarsprofiel 79 gemodelleerd met taluds 1:1,5 bodembreedte 2,0 m en diepte NAP -2,60 m.

Het gemodelleerde dwarsprofiel is weergegeven op onderstaande afbeelding.

Zoals te zien is de kade hier op NAP +0,0 m afgetopt. In werkelijkheid ligt de bestaande kade hier aanzienlijk hoger.

Afbeelding 3.10 gemodelleerd dwarsprofiel segment 2



3.2.3 Resultaat STBI-segment 2

Segment 2 is niet separaat beschouwd ten aanzien van STBI. Segment 2 wordt ten aanzien van STBI gerepresenteerd door segment 1. De daar aanwezige slappe (veen)laag is aanzienlijk dikker en is daarmee maatgevend geacht.

3.2.4 Resultaat STBU-segment 2

Segment 2 is niet separaat beschouwd ten aanzien van STBU. Segment 2 wordt ten aanzien van STBU gerepresenteerd door segment 1. De daar aanwezige slappe (veen)laag is aanzienlijk dikker en is daarmee maatgevend geacht.

3.2.5 Resultaten HT-segment 2

De kade binnen segment 2 is reeds geheel op hoogte ($> \text{NAP} + 0,20 \text{ m}$). De bestaande kade wordt daarom niet opgehoogd waardoor geen zettingen optreden. De zichtperiode wordt daarom gesteld op 50 jaar.

Daar waar de kade (lokaal) nog niet volledig op hoogte is $< \text{NAP} + 0,20 \text{ m}$ dient te worden aangevuld tot $\text{NAP} + 0,30 \text{ m}$.

Tabel 3.5 Resultaten zichtperiode segment 2

Niveau huidig maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren	Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]
[m +NAP]	[m]	[m +NAP]	[m]	[m +NAP]
$> 0,20$	0,0	0,30	0,00	0,30

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m+NAP]
0,30	0,05 ¹	0,03 ¹	0,20	50 ¹	0,02

3.2.6 Resultaat STPH-segment 2

Afbeelding 3.11 bevat de toets op piping voor segment 2. Hierbij is eveneens dwarsprofiel 44 (nabij 2.200 km) als maatgevend beschouwd. Het bodemprofiel ten aanzien van piping is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S412.


Opbarsten/opdrijven

Op basis van sondering S412 is een beperkte dikte van de deklaag aanwezig. Er is aangenomen dat de reeds bestaande waterpartij aan de westzijde van de kade direct in de zandlaag insnijdt hierdoor ontstaat een open verbinding met de kwelsloot aan de oostzijde. Daarnaast is aan buitendijkse zijde een kleinere sloot/greppel aanwezig met een ingemeten bodemdiepte van circa NAP -1,70 m. Ook hiervan is aangenomen dat deze direct in de zandlaag insnijdt. Hiermee bedraagt de kwelweglengte circa 30,0 m.

De onderzijde van de zandlaag is aangetroffen op NAP -13,0 m. De dikte van de zandlaag is daarom aangenomen op 11 m.

Er wordt voldaan aan de toets op piping.

Afbeelding 3.11 Toets op piping segment 2

Berekening piping volgens Sellmeijer (TR Zandmeevoerende wellen 2012)									
project:		Zuidelijk Westerkwartier							
code:		105629							
datum:		21-6-2019							
adviseur		SAAE							
locatie:		Lettelberterbergboezem segment 2 S412 @ km 2200							
aanwezig verval									
ΔH	1.17	m	Maatgevend Verval						
d	0.00	m	Karakteristieke waarde van de afdekkende laag						
$\Delta H - 0,3d$	1.17	m							
berekening kritiek verval ΔH_c									
D	13	m	dikte zandlaag						
L	30	m	Karakteristieke kwelweglengte						
v	1.33E-06	m ² /s	kinematische viscositeit van water bij 10C						
g	9.81	m/s ²	zwaartekrachtversnelling						
k	8.91E-05	m/s	doorlatendheid zandlaag						
κ	1.21E-11	m ²	intrinsieke doorlatendheid zandlaag						
η	0.25	-	sleepkrachtfactor (coefficient van White)						
d_{70}	0.0002	m	70-percentielwaarde van de korrelverdeling						
d_{70m}	2.08E-04	-	Fit parameter						
γ_p'	16.19	kN/m ³	(schijnbaar) volumegewicht zandkorrels onder water						
γ_w	9.81	kN/m ³	volumegewicht water						
θ	37.00	°	rolweerstandshoek zandkorrels						
F1	0.31	-	F Resistance						
F2	0.29	-	F Scale						
F3	1.14	-	F Geometry						
ΔH_c	3.05	m	Kritiek verval						
γ_n	1.20	-	Veiligheidsfactor afhankelijk van betrouwbaarheidsindex						
γ_b	1.30	-	Schematiseringsfactor c.f. TR Grondmechanisch schematiseren						
controle pipingcriterium									
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b]$	1.96	-							
$\Delta H - 0,3d$	1.17	-							
Check									
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b] > \Delta H - 0,3d$		0.60	VOLDOET						
EINDE BEREKENING									

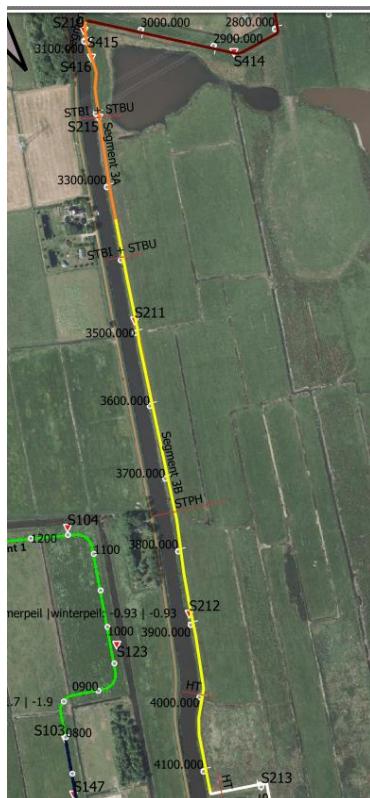
3.3 Segment 3

De Stabiliteit van segment 3 is getoetst bij volgende maatgevende locaties:

- segment 3A:
 - ter plaatse van sondering S416 bij dwarsprofiel 100 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg op 3.200 km:
 - de hier aanwezige dikke veenlaag (tot circa NAP -4,00m) de waterpartij aan de oostzijde, en de beperkte dikte van de sterkere kleilaag, in combinatie met het steile talud aan de westzijde (Lettelberterdiep) maakt dit profiel maatgevend ten aanzien van zowel STBI als STBU.
- segment 3B:
 - ter plaatse van sondering S211 bij dwarsprofiel 102 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg nabij 3.400 km:
 - hier is de slappe veenlaag aanzienlijk dunner. Hier wordt daarentegen een lage veiligheid op stabiliteit verwacht vanwege de verhoogde waterdruk onder de veenlaag door het insnijden van het Lettelberterdiep in de zandlaag.

In afbeelding 3.12 is de verdeling van segment 3 met deelsegment 3A en 3B weergegeven met een oranje en gele lijn.

Afbeelding 3.12 Maatgevende sneden segment 3



De hoogte van de kade is getoetst op basis van sondering S212 ter plaatse van dwarsprofiel 72 nabij 4.000 km. hier is de bestaande kade betrekkelijk laag (circa NAP -0,40 m) en is een aanzienlijke slappe veenlaag aanwezig (tot circa NAP -3,0 m).

De maatgevende snede ten aanzien van piping is eveneens gebaseerd op sondering S211. Het dwarsprofiel is gebaseerd op dwarsprofiel 77 nabij 3.750 km. Zoals gezegd is de deklaag in tegenstelling tot de sonderingen nabij bovengenoemde waterpartij aanzienlijk dunner. Daarnaast is nabij 3.750 km parallel aan de kade een watergang aanwezig waardoor een verminderde weerstand van de deklaag aanwezig is.

3.3.1 Bodemopbouw segment 3

Tabel 3.6 Bodemopbouw segment 3A S416

Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
klei, schoon matig	0,18
veen, slap	-1,25
zand, zwak siltig	-4,00
potklei	-11,00
zand, schoon, vast	-12,75

Tabel 3.7 Bodemopbouw segment 3B S211

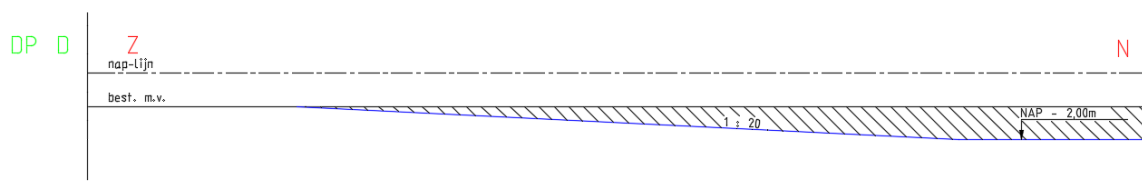
Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
klei, schoon matig	0,18
veen, slap	-0,85
zand, schoon, matig	-2,60
zand, schoon, vast	-4,00
zand, zwak siltig	-6,50
zand, schoon, vast	-8,00

3.3.2 Specifieke uitgangspunten

Geometrieën

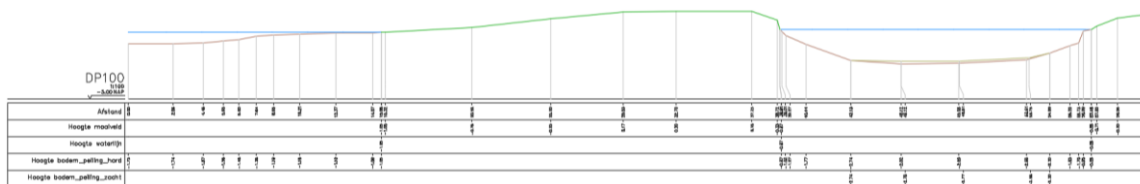
Het dwarsprofiel van de waterplas aan de noordoost zijde van segment 3 is gebaseerd op dwarsprofiel D uit Bergboezem revisie.dwg.

Afbeelding 3.13 Snede waterpartij aan oostzijde segment 3

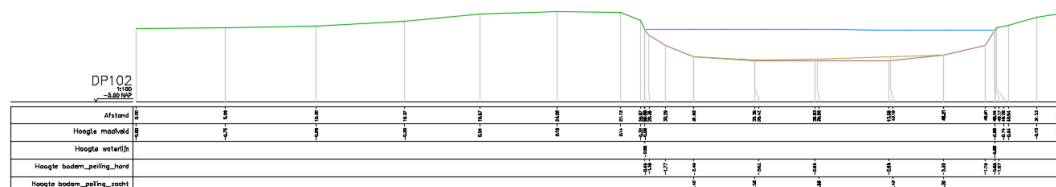


Het dwarsprofiel van de kade en het Lettelberterdiep is gebaseerd op respectievelijk dwarsprofiel 100 en dwarsprofiel 102 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg

Afbeelding 3.14 Snede watergang Lettelberterdiep bij segment 3 dwarsprofiel 100



Afbeelding 3.15 Snede watergang Lettelberterdiep bij segment 3 dwarsprofiel 102



Veiligheid

De kade in segment 3 is conform ontwerpbasis ZWK [ref.1] getoetst conform RC I. Er wordt daarmee met aangepaste materiaalfactoren getoetst op veiligheidsfactor 1,0.

3.3.3 Resultaat STBI-segment 3

Maatgevende situatie

Ten aanzien van binnenwaartse stabiliteit zijn de volgende situaties mogelijk. Daarbij zijn uit onderstaande mogelijke situaties zijn alleen situaties 1 en 2 getoetst op STBI.

Afbeelding 3.16 Mogelijke situaties t.a.v. STBI

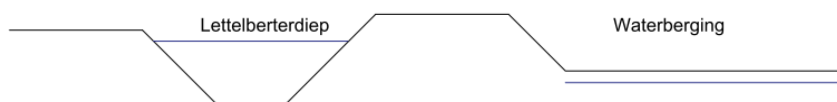
Situatie

I



Situatie

II



- situatie 1:
 - hoog water in het Lettelberterdiep, met, los van een vertragingseffect, gelijke toenemende stijging in de waterberging. Het water in het Lettelberterdiep geeft dan weerstand ten aanzien van binnenwaartse stabiliteit;
- situatie 2:
 - hoog water in het Lettelberterdiep, terwijl de berging niet wordt ingezet, hiermee wisselt de binnendijkse zijde naar de bergingszijde:
 - hierbij is het (lage) zomerpeil in de berging als maatgevend beschouwd, dit temeer aangezien de berging in de winter doorgaans in open verbinding staat met de boezem;
- situatie 3:
 - daling van de waterstand in het Lettelberterdiep terwijl de waterberging nog in gebruik is. Hierdoor ontstaat een verval over de kering en valt de weerstand van het water in het Lettelberterdiep weg.

Van situatie 3 is aangenomen dat deze niet kan optreden vanwege volgende redenen:

- zomers zijn de inlaten gesloten tot boven MHW -0,33 (periodiek doorspoelen daargelaten):
 - de waterberging wordt daarmee niet ingezet;
- in de winterperiode staat de klep in principe open en staan zowel de LBBB als de boezem met elkaar in verbinding op hetzelfde peil (NAP -0,93 m tot maximaal MHW NAP -0,33 m):
 - het water in de berging beweegt dan (los van een vertragingseffect) mee met de boezem;
 - in de winterperiode kan -in theorie- ook de keuze worden gemaakt om de kleppen te sluiten:
 - de waterberging wordt daarmee eveneens niet ingezet;
- de kunstwerken in de LBBB zijn uitsluitend in staat om 1-zijdig te keren. Ze zijn niet berekend op het vasthouden van boezemwater in de berging.

Uitgangspunten opbarsten STBI-situatie 1

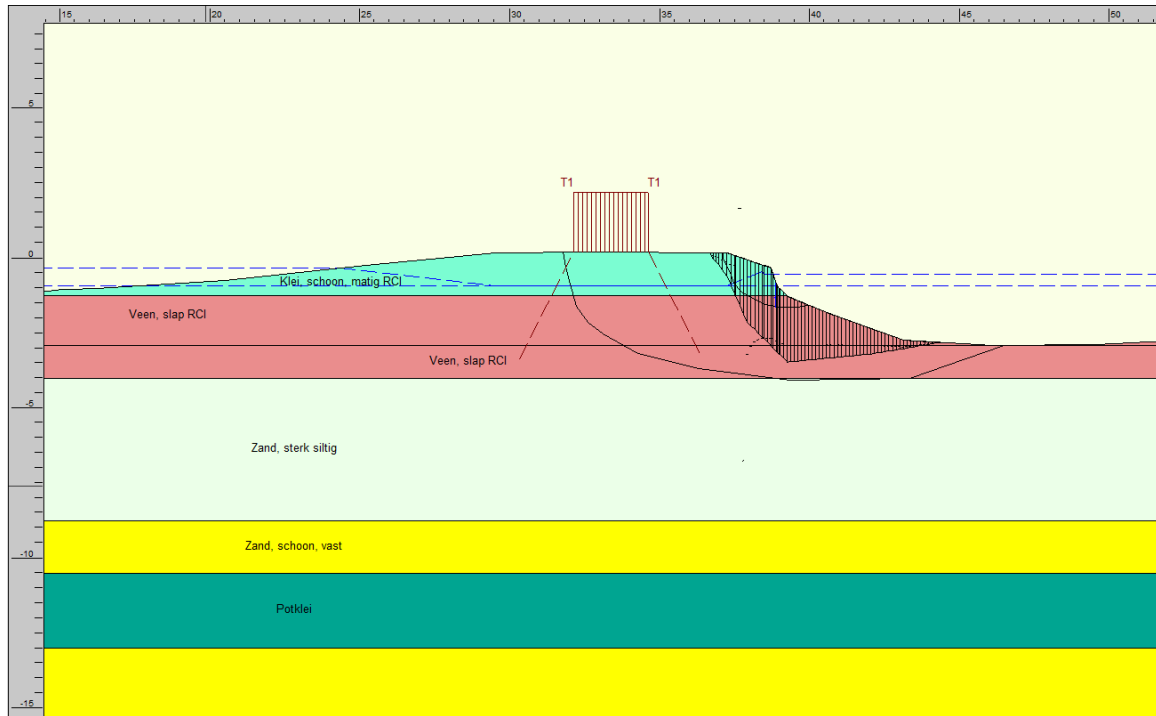
In de stabiliteitsberekeningen is ter plaatse van sondering S416 geen verhoogde stijghoogte in de zandlaag aangenomen vanwege onderstaande kenmerken:

- binnen de waterberging is een (aanzienlijke) deklaag aanwezig met een intredeweerstand:
 - ter plaatse van sondering S416, S215 etc. is onder de bestaande waterkering een (circa 3,0 m) dikke laag veen aanwezig. Dit is ongunstig ten aanzien van stabiliteit maar maakt het, aangenomen dat deze laag ook achter de dijk aanwezig is, onwaarschijnlijk dat de stijghoogte in het watervoerende pakket toeneemt tijdens een hoge waterstand in de waterberging. Bij een conservatief (dat wil zeggen hoog) ingeschatte verticale doorlatendheid (k waarde) van 0,05 m/dag zal na drie weken hoog water de stijghoogte in de cohesieve lagen over 1,05 m toegenomen zijn en daarmee de zandlaag nog niet hebben bereikt;
 - daarentegen stelt de leidraad toets op veiligheid regionale waterkeringen [ref. 3] specifieke eisen aan afsluitende lagen. Zo dient deze uit meer dan 20 % lutum te bestaan en minder dan 35 % zand. Of de afsluitend veronderstelde lagen hieraan voldoen is niet bekend, er is aangenomen de aanwezige lagen wel afsluitend zijn;
 - binnen de berging zijn greppels en een grotere watergang aanwezig, maar deze snijden niet geheel door de deklaag (uitgangspunt bodem watergang NAP -1,7 m):
 - mocht een watergang lokaal wel door de deklaag insnijden dan leidt dit niet tot een 100 % respons ter plaatse van het Lettelberterdiep;
- ter plaatse van het Lettelberterdiep is eveneens een (aanzienlijke) deklaag aanwezig met een intredeweerstand:
 - ter plaatse van sondering S416 is onder de harde bodem van het Lettelberterdiep nog circa 1,10 m veen aanwezig. Dit is eveneens ongunstig ten aanzien van stabiliteit maar maakt het onwaarschijnlijk dat de stijghoogte in het watervoerende pakket toeneemt tijdens een hoge waterstand in het Lettelberterdiep. Bij een conservatief (dat wil zeggen hoog) ingeschatte verticale doorlatendheid (k waarde) van 0,05 m/dag zal na drie weken hoog water de stijghoogte in de cohesieve lagen over 1,05 m toegenomen zijn en daarmee de zandlaag nog niet hebben bereikt;

Segment 3 is eveneens beschouwd op basis van de zandiger sondering S211 (afbeelding 3.19). Hier snijdt het Lettelberterdiep dan ook direct door in de zandlaag. Hierom is ter plaatse van sondering S211 wel een volledige response in de zandlaag aangenomen.

Toetsing STBI-segment 3 situatie 1

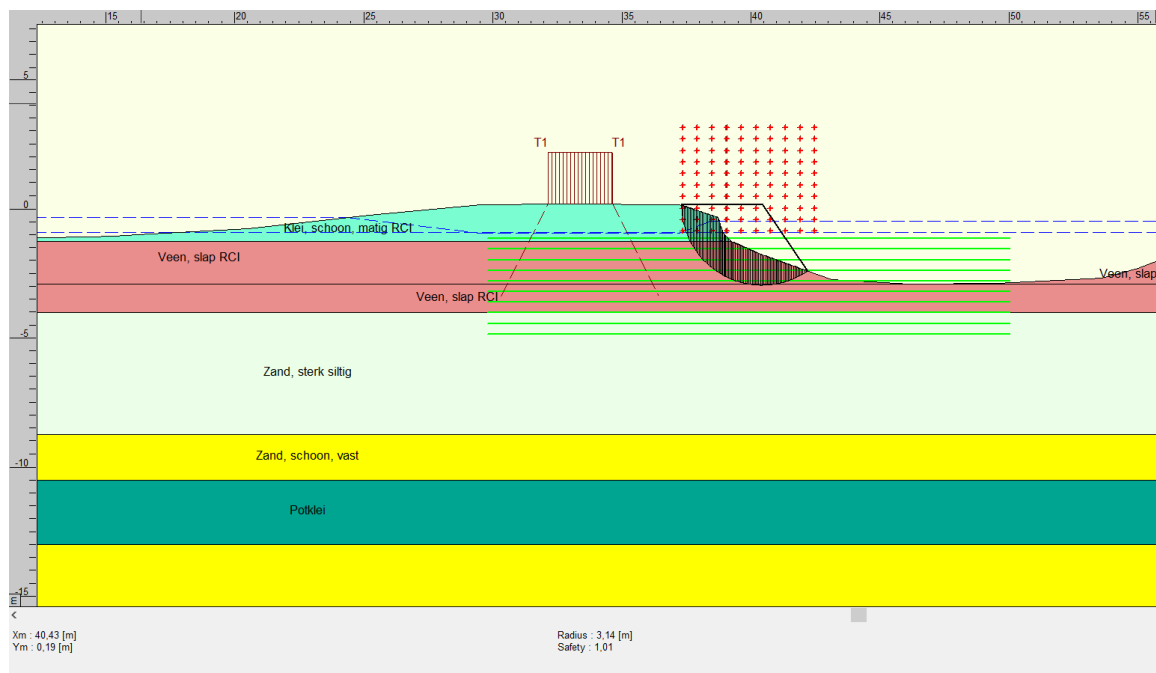
Afbeelding 3.17 Initieel maatgevend glijvlak STBI-segment 3A (S416 Spencer)



Zoals te zien op afbeelding 3.17 wordt met Spencer een irreëel glijvlak gevonden (te zien aan de scherpe knikken in het glijvlak en de asymptotische buiten het glijvlak liggende druklijnen). Er zijn daarom voor segment 3 beschouwingen verricht met Bishop (afbeelding 3.18).

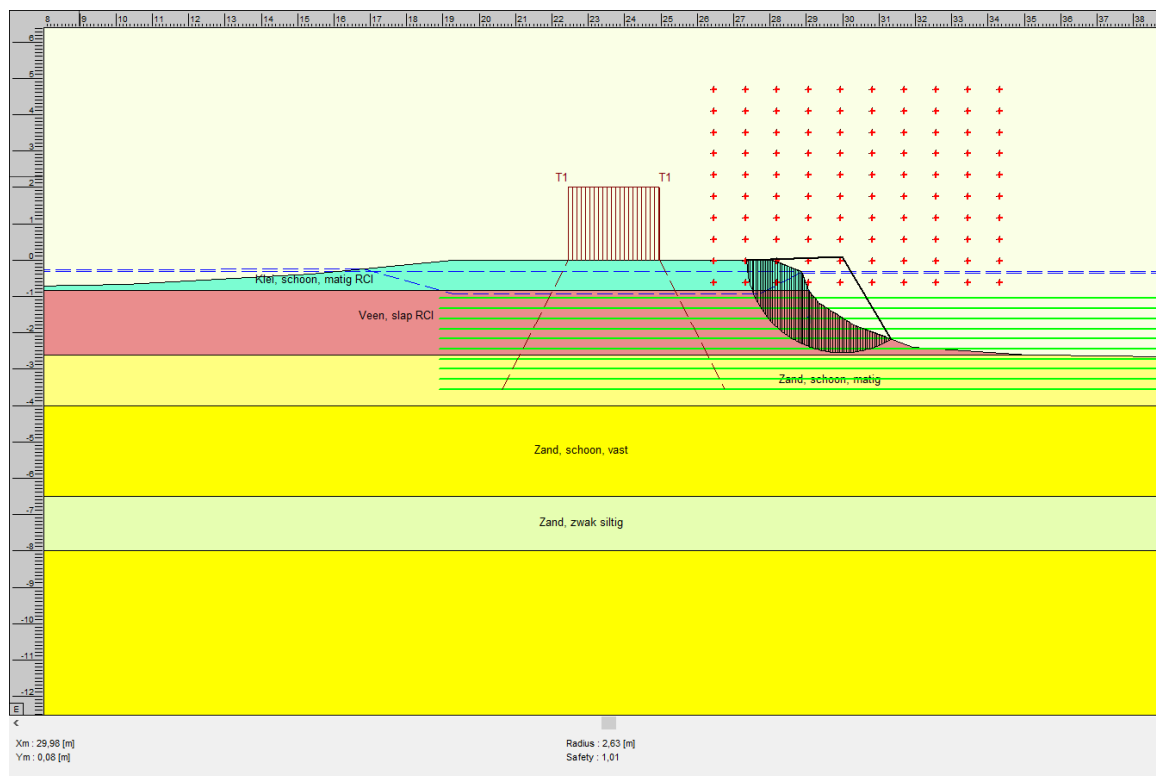
De veiligheidsfactor bedraagt 1,01 bij een maximaal verval over de kering van 14 cm (NAP -0,47 m) en voldoet daarmee (minimale $SF_{\text{bishop}} = > 1,00$). De genoemde 14 cm is daarmee het maximale verval waarbij de stabiliteit nog gewaarborgd is. Een (beperkt) niet vastgesteld verval kan worden veroorzaakt door vertraging tussen het leeglopen van de Lettelberterbergboezem en de berging.

Afbeelding 3.18 Initieel maatgevend glijvlak STBI-segment 3A (S416 Bishop)



Op basis van sondering S211 wordt met een maximaal theoretisch verval van 3 cm eveneens voldaan aan de veiligheid op binnenwaartse stabiliteit (SF 1,01) zie afbeelding 3.19. Deze 3cm is een theoretische waarde. Bij geen verval is de berekende stabiliteitsfactor aanzienlijk hoger terwijl deze aanzienlijk zakt bij een iets hoger verval. Dit betekent dat er slechts een zeer beperkt verval aanwezig mag zijn om de stabiliteit van de kade te waarborgen.

Afbeelding 3.19 Maatgevend glijvlak STBI-segment 3B (S211 Bishop)



Uitgangspunten opbarsten STBI-situatie 2

In de stabiliteitsberekeningen is ter plaatse van sondering S416 geen verhoogde stijghoogte in de zandlaag aangenomen vanwege onderstaande kenmerken:

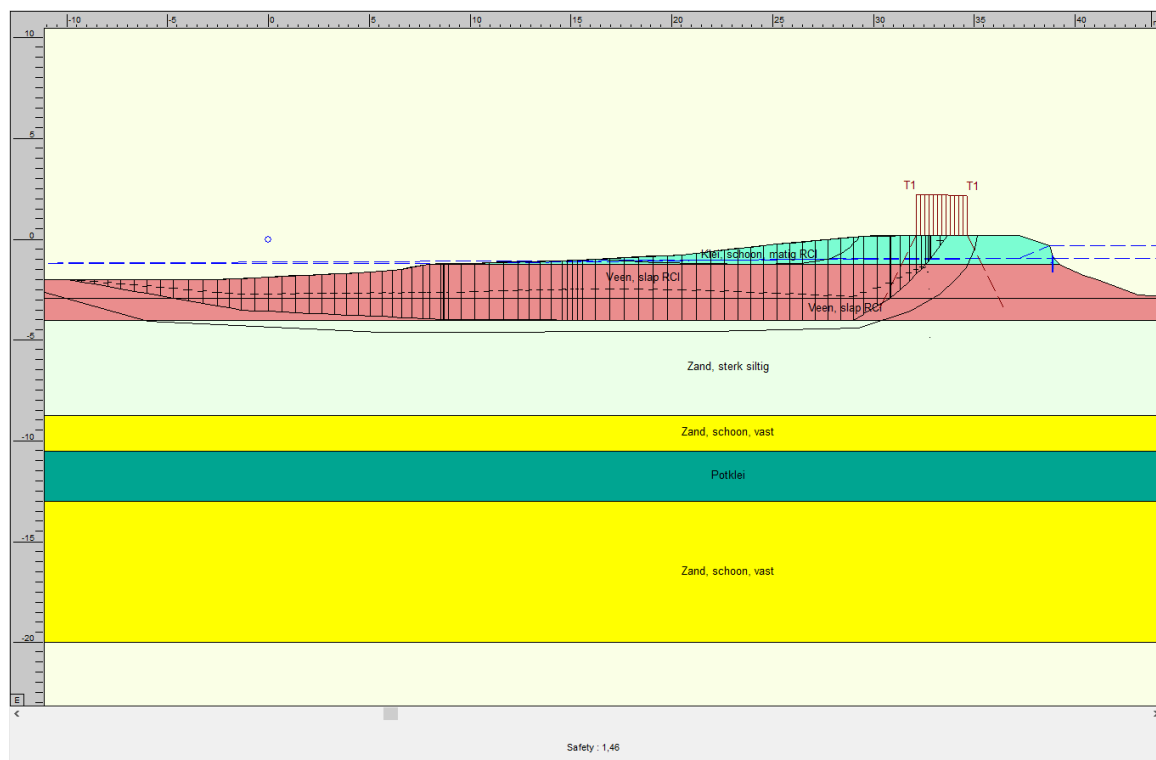
- onder de bodem van het Lettelberterdiep is een (aanzienlijke) deklaag aanwezig met een intredeweerstand:
 - ter plaatse van sondering S416, S215 etc. is onder de bodem een circa 1,10 m dikke laag veen aanwezig. Dit is ongunstig ten aanzien van stabiliteit maar maakt het, onwaarschijnlijk dat de stijghoogte in het watervoerende pakket toeneemt tijdens een hoog water in het Lettelberterdiep. Bij een conservatief (dat wil zeggen hoog) ingeschatte verticale doorlatendheid (k waarde) van 0,05 m/dag zal na drie weken hoog water de stijghoogte in de cohesieve lagen over 1,05 m toegenomen zijn en daarmee de zandlaag nog niet hebben bereikt;
 - daarentegen stelt de leidraad toets op veiligheid regionale waterkeringen [ref. 3] specifieke eisen aan afsluitende lagen. Zo dient deze uit meer dan 20 % lutum te bestaan en minder dan 35 % zand. Of de afsluitend veronderstelde lagen hieraan voldoen is niet bekend, er is aangenomen de aanwezige lagen wel afsluitend zijn;
- ter plaatse van sondering S211 en zuidelijker, is de bodemopbouw vele malen zandiger dan ter plaatse van sondering S416. Hier snijdt het Lettelberterdiep dan ook direct door in de zandlaag. Hier mag dan ook aangenomen dat de potentiaal in de zandlaag wel toeneemt.

Segment 3 is eveneens beschouwd op basis van de zandiger sondering S211 (afbeelding 3.19). Hier snijdt het Lettelberterdiep dan ook direct in de zandlaag. Hierom is ter plaatse van sondering S211 wel een volledige response in de zandlaag aangenomen. Hierbij treedt uitgaande van een volledige respons opbarsten van het maaiveld op. Er is daarom geen sterkte meegenomen over 2maal de dikte van de opgebarsten slappe laag op 1,0 m uit de teen van de bestaande kade.

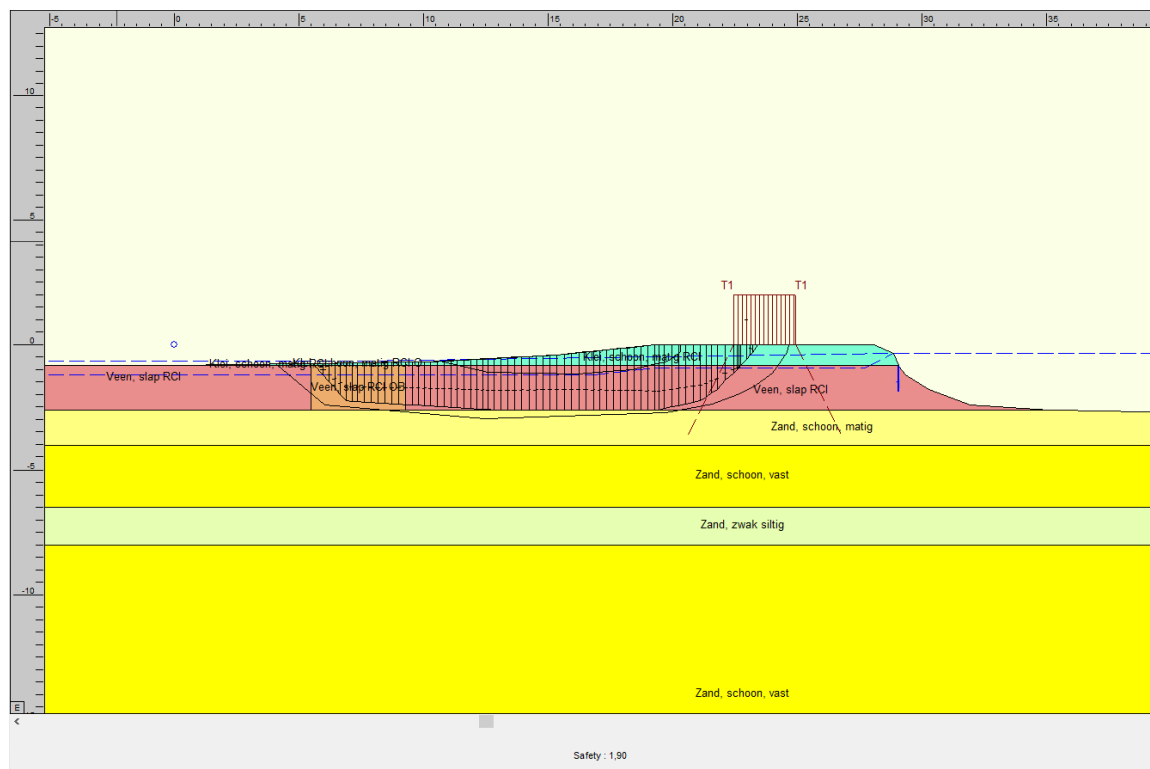
Toetsing STBI-segment 3 situatie 2

Zoals te zien op afbeelding 3.20 voldoet de kade ter plaatse van sondering S416 ruim op binnenwaartse stabiliteit in situatie 2. ($SF=1,46 > 1,00$). Hetzelfde geldt voor de kade ter plaatse van sondering S211 afbeelding 3.21. De behaalde veiligheidsfactor bedraagt daar 1,90 en voldoet daarmee eveneens ruim.

Afbeelding 3.20 Initieel maatgevend glijvlak STBI-situatie 2 segment 3A (S416 Spencer)



Afbeelding 3.21 Initieel maatgevend glijvlak STBI-situatie 2 segment 3B (S211 Spencer)



3.3.4 Resultaat STBU-segment 3

Maatgevende situaties

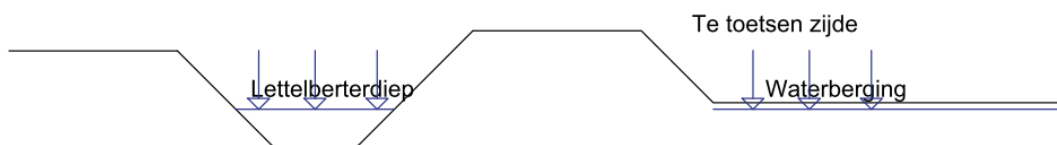
Ten aanzien van STBU zijn beide zijden van de kade getoetst:

- situatie I (afbeelding 3.22):
 - val van hoog water binnen de berging na inzet van de waterberging:
 - er is hierbij aangenomen dat bij een val van de waterstand in de waterberging, de waterstand in de Lettelberterbergboezem eveneens valt;
 - de waterstand valt naar het winterpeil van NAP -0,93 m aangezien de berging in de zomer niet wordt ingezet;
- situatie II (afbeelding 3.22):
 - na een hoog water in het Lettelberterdiep valt de waterstand naar het streefpeil (NAP -0,93 m), deze situatie staat los van een eventuele inzet van de berging:
 - deze situatie is zowel ter plaatse van sondering S416 als S211 getoetst.

Afbeelding 3.22 Maatgevende situaties ten aanzien van STBU

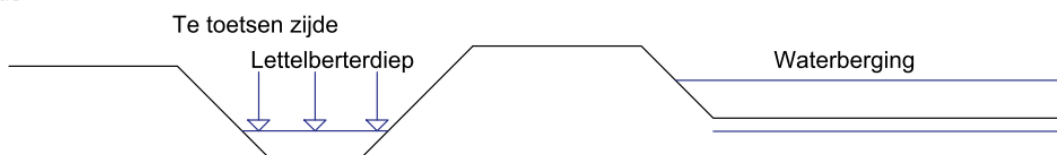
Situatie

I



Situatie

II



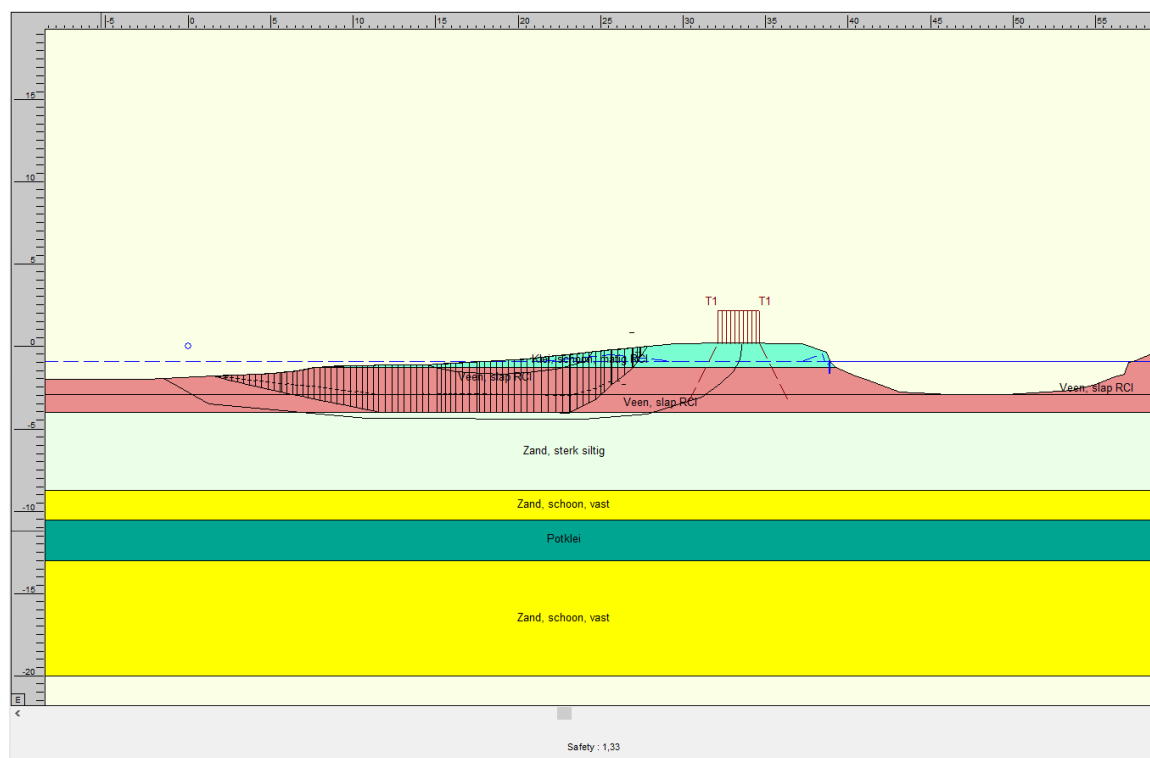
Uitgangspunten opbarsten STBU

Er is uitgegaan van een val naar winterpeil van NAP -0,93 m. Hiermee is er geen verval over de kering en treed geen opbarsten op.

Toetsing STBU-segment 3 bergingszijde

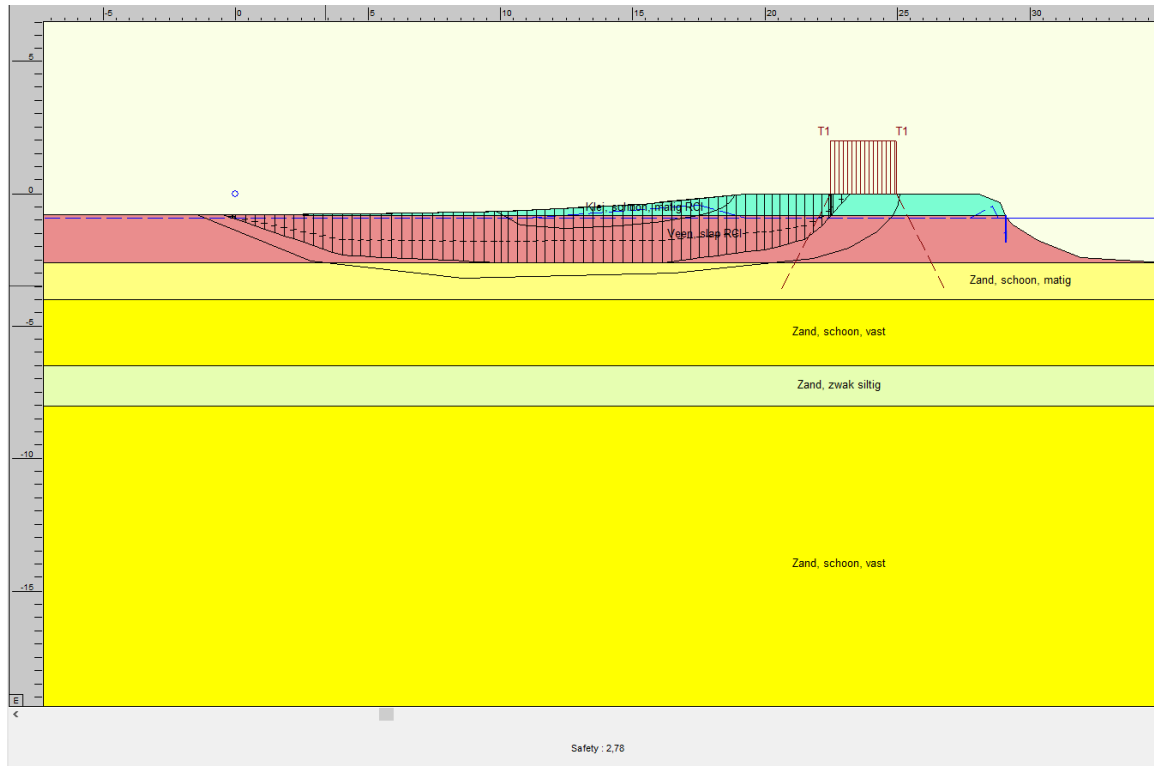
Zoals te zien op afbeelding 3.23 bedraagt de initieel behaalde veiligheidsfactor 1,33 ter plaatse van sondering S416 en wordt ruimschoots voldaan aan de eis.

Afbeelding 3.23 Maatgevend glijvlak STBU-segment 3A waterbergingszijde (S416 Bishop)



Ook ter plaatse van sondering S211 wordt ruimschoots voldaan aan de eis zie afbeelding 3.24.

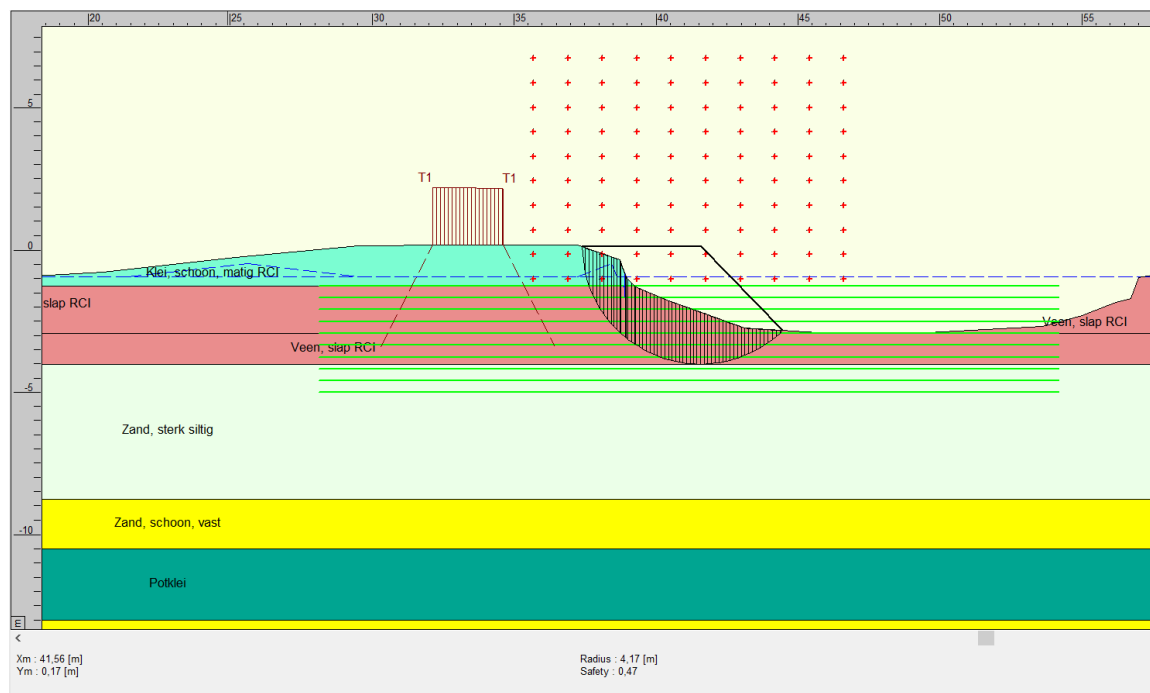
Afbeelding 3.24 Maatgevend glijvlak STBU-segment 3 waterbergingszijde (S211 Spencer)



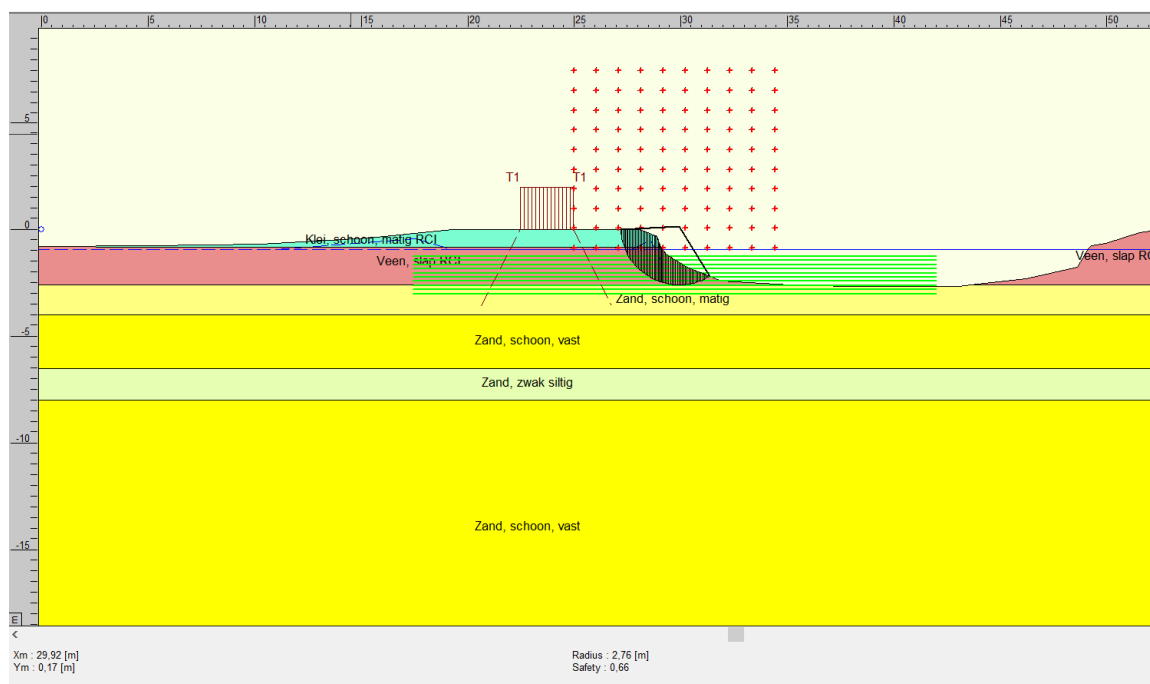
Toetsing STBU-segment 3 zijde Lettelberterdiep

Zoals te zien op afbeelding 3.25 en afbeelding 3.26 bedraagt de initieel behaalde veiligheidsfactor 0,47 ter plaatse van S416 en 0,66 ter plaatse van S211. Hiermee wordt niet voldaan aan de veiligheid op buitenwaartse stabiliteit van het Lettelberterdiep (in paragraaf 3.3.5 is dit nader toegelicht). Overigens is geen rekening gehouden met de geplande beschoeiing, anders dan het opvangen van lokale (oppervlakkige) glijvlakken.

Afbeelding 3.25 Maatgevend glijvlak STBU-Segment 3 aan zijde Lettelberterdiep (S416 Bishop)



Afbeelding 3.26 Maatgevend glijvlak STBU-Segment 3 aan zijde Lettelberterdiep (S211 Bishop)



3.3.5 Afwijking scenario STBU val na hoogwater

De stabiliteit voor beide delen in segment 3 voldoet niet aan de veiligheid van 1,0. In overeenstemming met waterschap Noorderzijlvest en Prolander is besloten om de situatie, val na hoogwater in het Lettelberterdiep te beschouwen maar een eventueel gebrek aan veiligheid te accepteren. Als argument is opgegeven dat:

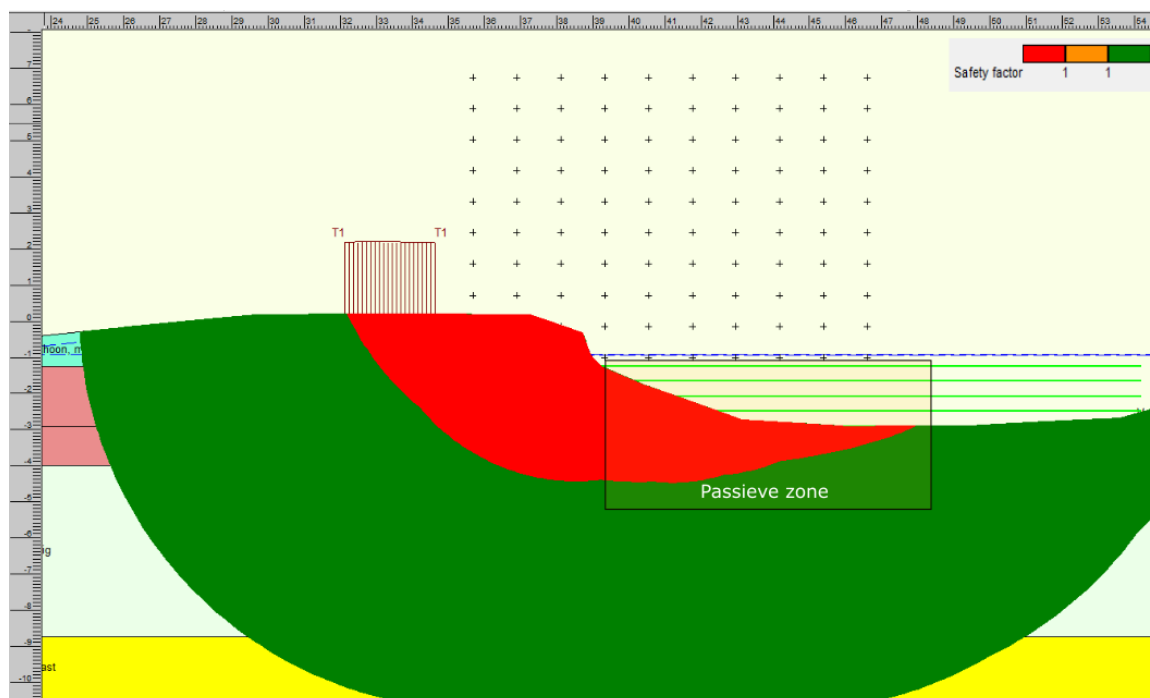
- geen schade ontstaat in het achterliggende gebied na falen;
- er geen reële oplossing met grondverbetering en aanpassing van het talud kan worden gevonden.

Bij bezwijken kan een deel van het Lettelberterdiep 'verstopt' raken door de afschuivende grond. In afbeelding 3.27 zijn de veiligheidszones van de kade weergegeven. Hiermee is in rood aangegeven welk deel van de grond een veiligheid heeft lager dan 1,0 en daarmee kan bezwijken en in groen het deel van de kade dat hoger is dan 1,0 en daarmee voldoende veiligheid heeft.

Bij afschuiven wordt het passieve deel van het glijvlak omhoog gedrukt en komt vervolgens terecht in de watergang. Aan de hand van de behaalde veiligheidsfactoren is een indicatie gegeven van het doorstroming belemmerende oppervlak grond vanuit deze passieve zone.

Om het vervormingsgedrag bij grote rekken vast te stellen en daarmee de hoeveelheid grond te bepalen die in de watergang terecht komt is een Plaxis-analyse benodigd. Dit is in deze notitie niet verder uitgewerkt.

Afbeelding 3.27 Veiligheidszones segment 3A



Doordat een gebrek aan veiligheid bij de situatie 'val na hoogwater' wordt geaccepteerd is geen binnenwaartse verlegging van de kade langs het Lettelberterdiep noodzakelijk. Hiermee is geen sprake van een onderhoudstrook van 5,0 m tussen het buitentalud en het Lettelberterdiep.

3.3.6 Resultaten HT-segment 3

De hoogte van de kade in segment 3 is getoetst op basis van sondering S212 ter plaatse van dwarsprofiel 72 nabij 4.000 km. hier is de bestaande kade betrekkelijk laag (circa NAP -0,40 m) en is een aanzienlijke slappe veenlaag aanwezig (tot circa NAP -3,0 m). De kade in segment 3 wordt in afwijking op de ontwerpbasis getoetst op een hoogte einde zichtperiode van NAP -0,25m vanwege de classificatie 'overige kering' in plaatse van 'regionale kering'.

Zoals te zien op afbeelding 3.28 en af te leiden uit tabel 3.8 dient het dijklichaam in één ophoogslag op een fictieve aanleghoogte van NAP +0,34 m aangebracht te worden om ten tijde van opleveren een hoogte van NAP +0,14 m te behalen. Hiermee wordt een zichtperiode van 50 jaar behaald. Hierbij is de rekenverticaal iets buiten de grootste ophoging gezet om een representatief beeld van de optredende zettingen te krijgen. Lokaal kunnen binnen het dwarsprofiel iets grotere zettingen optreden.

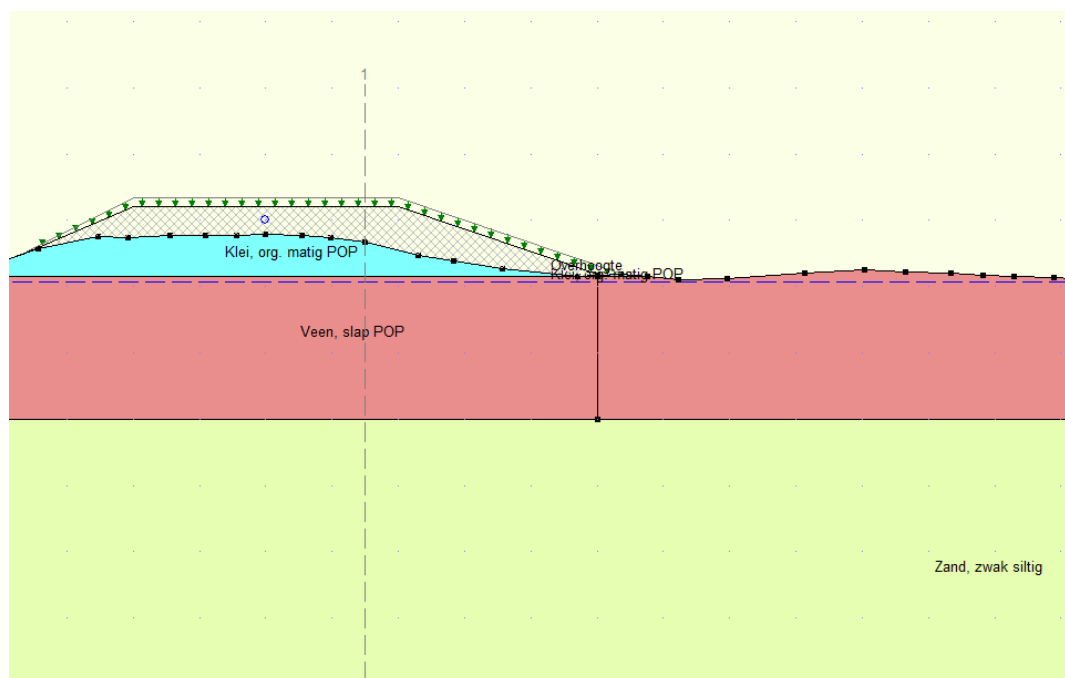
Tabel 3.8 Resultaten zichtperiode segment 3

Niveau huidig maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren	Werkelijke opleverhoogte [t=6 maand]
[m +NAP]	[m]	[m +NAP]	[m]	[m +NAP]
-0,34	0,68	0,34	0,20	0,14

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=6 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m+NAP]
0,14	0,14	0,05	0,20	50	-0,25

Afbeelding 3.28 Zettingsberekening segment 3



3.3.7 Resultaat STPH-segment 3

Afbeelding 3.29 bevat de toets op piping voor segment 3. Hierbij is dwarsprofiel 77 (nabij 0.115 km) uit 3597393-T100-L01 d.d. 10 mei 2019 als maatgevend beschouwd. De kwelweglengte is bepaald op basis van het DTM. Hiervoor is 20 m aangehouden.

Het bestaande maaiveld in de waterberging is op basis van het DTM gelegen op circa NAP -0,90 m.

Opbarsten/opdrijven

Op basis van sondering S211 is de zandlaag aanwezig vanaf NAP -2,60 m. Dit betekent dat in de waterberging waar het maaiveld iets hoger is gelegen een deklaag van circa 1,7 m aanwezig is. Bij de

volledig aangenomen respons treed opbarsten op. Hierbij is uitgegaan van opbarsten op circa 1,0 m uit de teen van de kade.

Op basis van dwarsprofiel 102 bedraagt de kwelweglengte daarmee circa 20,0 m.


De dikte van de zandlaag is aangenomen op 30 m.

Toetsing STPH-segment 3

Er is voor segment 3 één toets verricht. Dit aangezien een variant met hoog water in de waterberging niet leid tot een verhoogde waterspanning in de zandlaag door de aangenomen doorlopende deklaag tot minimaal NAP -2,85 m.

De hier getoetste situatie betreft de situatie waarin hoog water in het Lettelberterdiep heerst en het lage zomerpeil in de berging (huidige situatie). De unity check (UC) op piping dient kleiner of gelijk aan 1,0 te zijn. De kade voldoet dus ten aanzien van piping.

Afbeelding 3.29 Toets op piping segment 3 (hoog water in Lettelberterdiep)

Berekening piping volgens Sellmeijer (TR Zandmeevoerende wellen 2012)				
project:	Zuidelijk Westerkwartier			
code:	105629			
datum:	6-3-2020			
adviseur	SAAE			
locatie:	LBBB segment 3 S211 @ km 3.750			
aanwezig verval				
ΔH	0.87	m	Maatgevend Verval	
d	1.70	m	Karakteristieke waarde van de afdekkende laag	
$\Delta H - 0,3d$	0.36	m		
berekening kritiek verval ΔH_c				
D	30	m	dikte zandlaag	
L	20	m	Karakteristieke kwelweglengte	
v	1.33E-06	m ² /s	kinematische viscositeit van water bij 10C	
g	9.81	m/s ²	zwaartekrachtversnelling	
k	8.91E-05	m/s	doorlatendheid zandlaag	
κ	1.21E-11	m ²	intrinsieke doorlatendheid zandlaag	
η	0.25	-	sleepkrachtfactor (coefficient van White)	
d_{70}	0.0002	m	70-percentielwaarde van de korrelverdeling	
d_{70m}	2.08E-04	-	Fit parameter	
γ_p'	16.19	kN/m ³	(schijnbaar) volumegewicht zandkorrels onder water	
γ_w	9.81	kN/m ³	volumegewicht water	
θ	37.00	°	rolweerstandshoek zandkorrels	
F1	0.31	-	F Resistance	
F2	0.33	-	F Scale	
F3	0.98	-	F Geometry	
ΔH_c	2.00	m	Kritiek verval	
γ_n	1.20	-	Veiligheidsfactor afhankelijk van betrouwbaarheidsindex	
γ_b	1.30	-	Schematiseringsfactor c.f. TR Grondmechanisch schematiseren	
controle pipingcriterium				
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b]$	1.28	-		
$\Delta H - 0,3d$	0.36	-		
Check				
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b] > \Delta H - 0,3d$	0.28	VOLDOET		
EINDE BEREKENING				

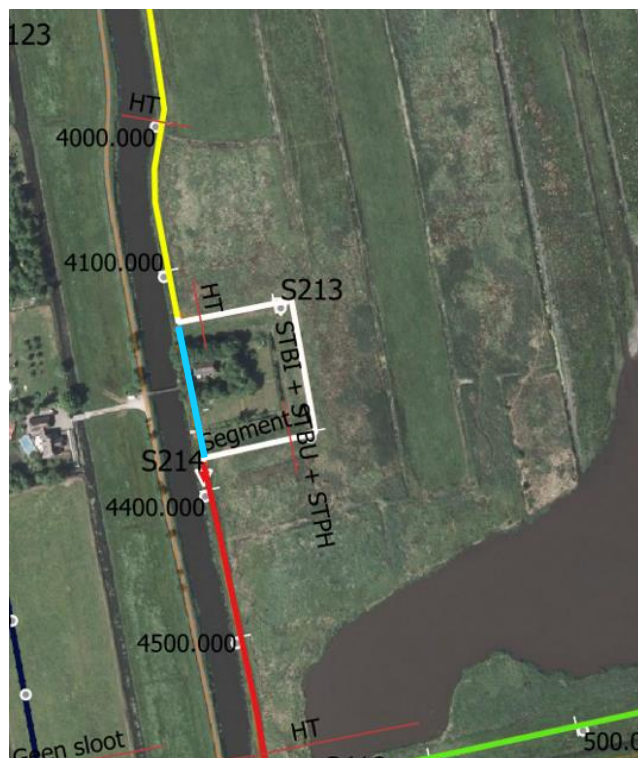
3.4 Segment 4

Het bodemprofiel ten aanzien van hoogte, binnen- en buitenwaartse stabiliteit is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S213. Het maatgevende dwarsprofiel ten aanzien van binnenwaartse stabiliteit is gebaseerd op dwarsprofiel 66 uit; situatie.pdf d.d. 11 april 2019 op 4.300 km.

De particuliere kade grenzend aan het Lettelberterdiep (lichtblauw) is separaat beschouwd vanwege de beperkt beschikbare ruimte. Een grondoplossing is niet mogelijk gebleken. Daarom is een constructieve oplossing uitgewerkt. Dit is opgenomen in [ref. 5].

Het maatgevende dwarsprofiel ten aanzien van hoogte is gebaseerd op maatgevend profiel dwarsprofiel 69 nabij 4.150 km.

Afbeelding 3.30 Maatgevende sneden segment 4 (wit)



3.4.1 Bodemopbouw segment 4

Tabel 3.9 Bodemopbouw S213

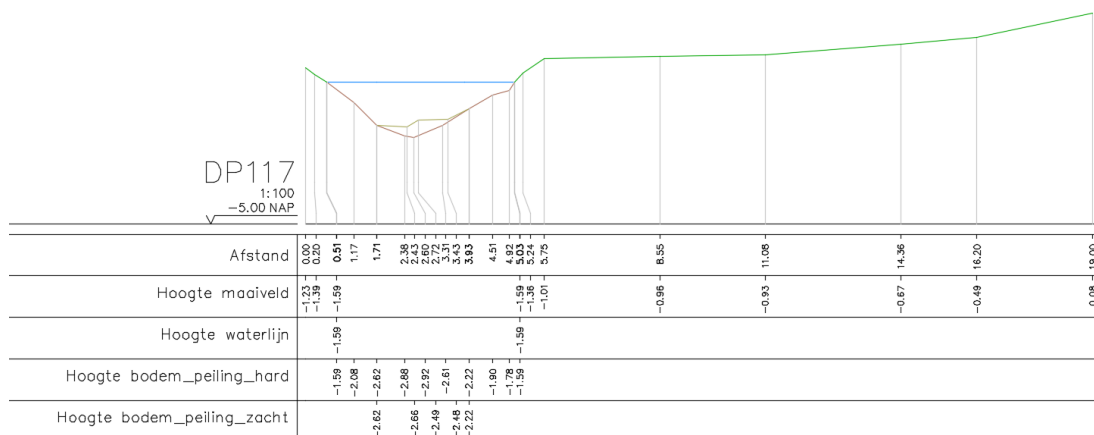
Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
Klei, schoon, matig	-0,14
Veen, slap	-0,85
zand, zwak siltig	-2,75
klei, schoon, matig	-6,25
Zand, zwak siltig	-6,50
klei, schoon, matig	-7,25
zand schoon, matig	-8,15
Potklei	-12

3.4.2 Specifieke uitgangspunten

Geometrie bestaande watergangen

Het dwarsprofiel van de watergang aan de westzijde van de kering is gebaseerd op dwarsprofiel 117 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 019.dwg. Op basis van het DTM en bergboezem revisie.dwg blijkt dat de insteek van de waterpartij op circa 16,0 m uit de buitenkruinlijn is gelegen. De watergang is op basis van dwarsprofiel 117 en Bergboezem revisie.dwg gemodelleerd als een watergang met taluds 1:1,5 bodembreedte 0,5 m en diepte NAP -2,95 m.

Afbeelding 3.31 Dwarsprofiel 117



Polderpeil

Het polderpeil binnen het particulier terrein is:

- zomerpeil: NAP -1,50 m;
- winterpeil: NAP -1,70 m.

In de berekeningen is het zomerpeil aangehouden, omdat het niet waarschijnlijk is dat het polderpeil in een hoogwatersituatie nog laag is.

3.4.3 Resultaat STBI-segment 4

Segment 4 is separaat beschouwd ten aanzien van STBI.

Uitgangspunten opbarsten/opdrijven STBI

Bij inzet van de waterberging zal de waterstand in de berging toenemen. Ter plaatse van segment 4 is een beperkte cohesieve deklaag aanwezig. (tot circa NAP -2,50 m op basis van maatgevende sondering S214). Desondanks is conservatief aangenomen dat er een volledige respons in het watervoerend pakket zal optreden. Doordat de sloot aan de oostzijde direct in de zandlaag insnijdt is een open verbinding verondersteld. Hiermee is de potentiaal van de zandlaag ter plaatse van de kwelsloot gelijk aan polderpeil. Overigens is er vanwege de open verbinding kans op aanzienlijke hoeveelheden kwelwater vanuit de waterberging (bij (langdurig) hoog water).

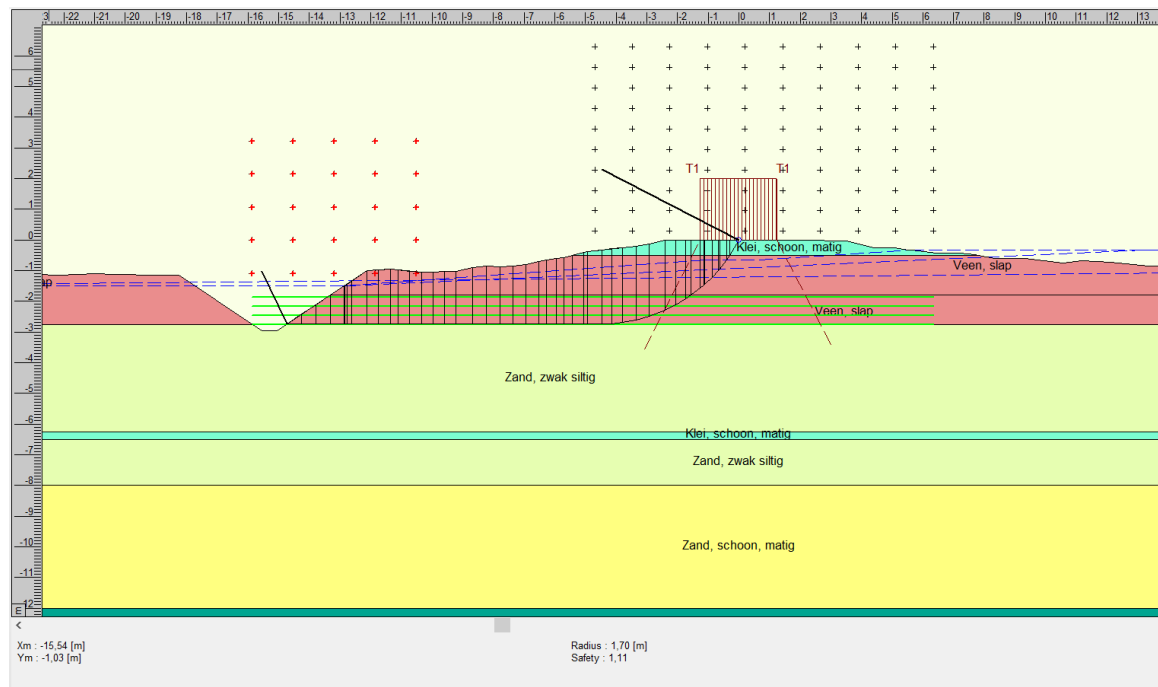
Toetsing STBI-segment 4

Op afbeelding 3.32 is te zien dat met het initiële ontwerp niet wordt voldaan aan de toets op binnenwaartse stabiliteit. (SF Uplift Van=1,11 < 1,13). De toets op STBI is hier met Uplift verricht aangezien zowel Bishop als Spencer geen maatgevende resultaten gaven en de verwachte vorm van het glijvlak goed aansluit op het Uplift Van model.

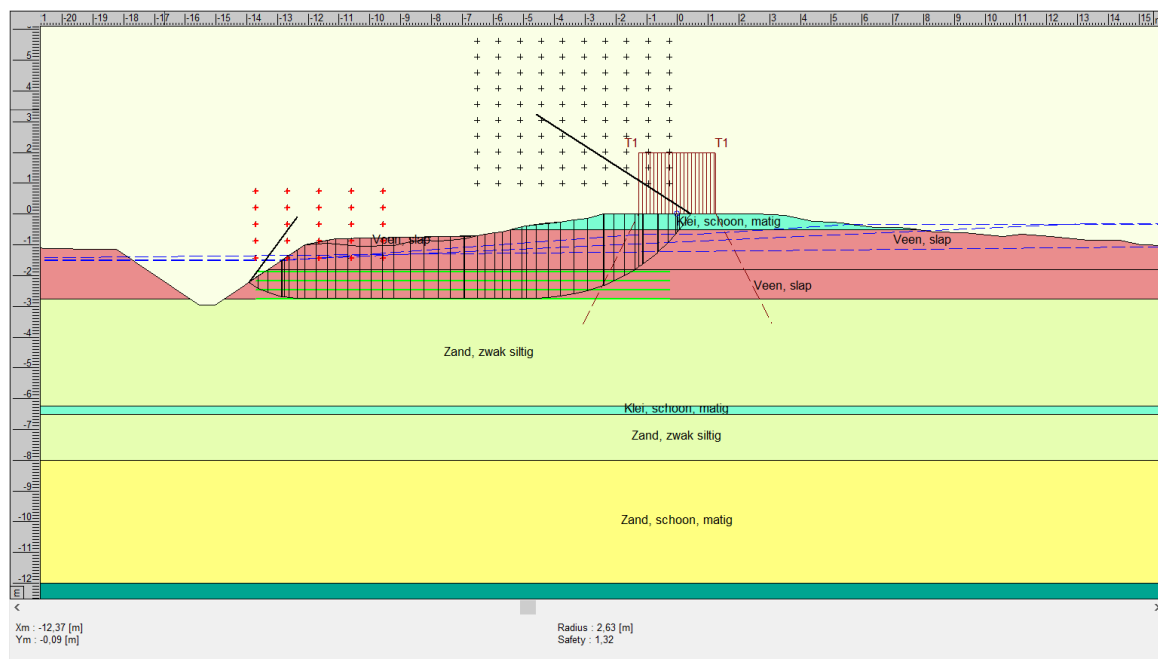
Dat het initiële ontwerp niet voldoet is grotendeels te wijten aan de beperkte effectieve spanningen aan de binnenwaartse zijde van de dijk. Door een berm toe te voegen aan het ontwerp worden de effectieve spanningen hoger en voldoet de kade op binnenwaartse stabiliteit, zie afbeelding 3.33.

Hiertoe dient vanaf de insteek van de sloot materiaal met een minimaal volumiek gewicht van 10 kN/m^3 onder een talud van 1:5 naar NAP -0,80m te worden opgebracht. Vervolgens dient de berm vanaf NAP -0,80 m onder een talud van 1:50 op de kade aan te sluiten. Hiermee voldoet de kade op binnenwaartse stabiliteit ($SF=1,32 \Rightarrow 1,13$).

Afbeelding 3.32 Initieel maatgevend glijvlak STBI-segment 4 (S213Uplift Van)



Afbeelding 3.33 Maatgevend glijvlak STBI-segment 4 voorzien van berm (S213 Uplift Van)



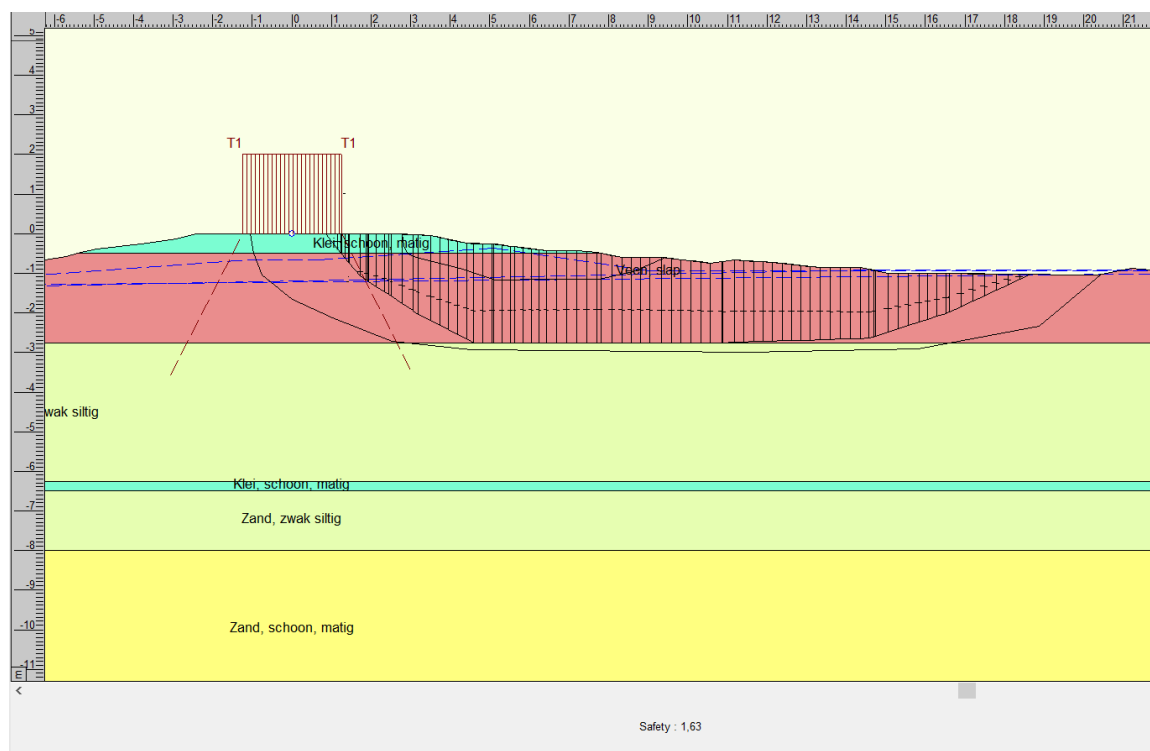
3.4.4 Resultaat STBU-segment 4

Segment 4 is separaat beschouwd ten aanzien van STBU.

Toetsing STBU-segment 4

Afbeelding 3.34 bevat het maatgevend glijvlak voor segment 4. De behaalde maatgevende veiligheidsfactor bedraagt 1,63 en voldoet ruim.

Afbeelding 3.34 Maatgevend glijvlak STBU-segment 4



3.4.5 Resultaten HT-segment 4

Op basis van maatgevend profiel dwarsprofiel 69 (4.150 km) is de hoogte van de bestaande kade binnen segment 4 minimaal NAP -0,06 m. Hierom is er in overeenstemming met ontwerpbasis ZWK geen zettingsberekening uitgevoerd. De opleverhoogte is daarentegen gebaseerd op een pragmatisch vastgestelde zettingscompensatie.

Tabel 3.10 Resultaten zichtperiode segment 4

Niveau huidige maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren	Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]
[m +NAP]	[m]	[m +NAP]	[m]	[m +NAP]
-0,08	0,38	0,30	[-]	0,30

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=0 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m+NAP]
0,30	0,05 ¹	0,03 ¹	0,20	50 ¹	0,02

¹ Zetting, klink en daarmee de duur van de zichtperiode vastgesteld op basis van pragmatische toeslagen als omschreven in ontwerpbasis ZWK [ref.1].

3.4.6 Resultaat STPH-segment 4

Afbeelding 3.11 bevat de toets op piping voor segment 4. Hierbij is eveneens dwarsprofiel 66 (nabij 4.300 km) als maatgevend beschouwd. Het bodemprofiel ten aanzien van piping is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S414.


Ook voor de toets op STPH van de kade langs het Lettelberterdiep geldt dat deze verricht moet worden bij beschikbaarheid van een dwarsprofiel

Opbarsten/opdrijven

Op basis van sondering S214 is een beperkte dikte van de deklaag aanwezig. (tot NAP -2,50 m). Conservatief is aangenomen dat er bij een hoog water in de berging een open verbinding ontstaat met de kwelsloot aan de binnenzijde van de kade. Er zijn in de directe omgeving van de kade geen duidelijk zichtbare intredepunten (watergangen) waargenomen. Desondanks is conservatief uitgegaan van een kwelweglengte van 25,0 m.

De onderzijde van de zandlaag is aangetroffen op NAP -9,50 m. De dikte van de zandlaag is daarom aangenomen op 7 m.

Afbeelding 3.35 Toets op piping segment 4

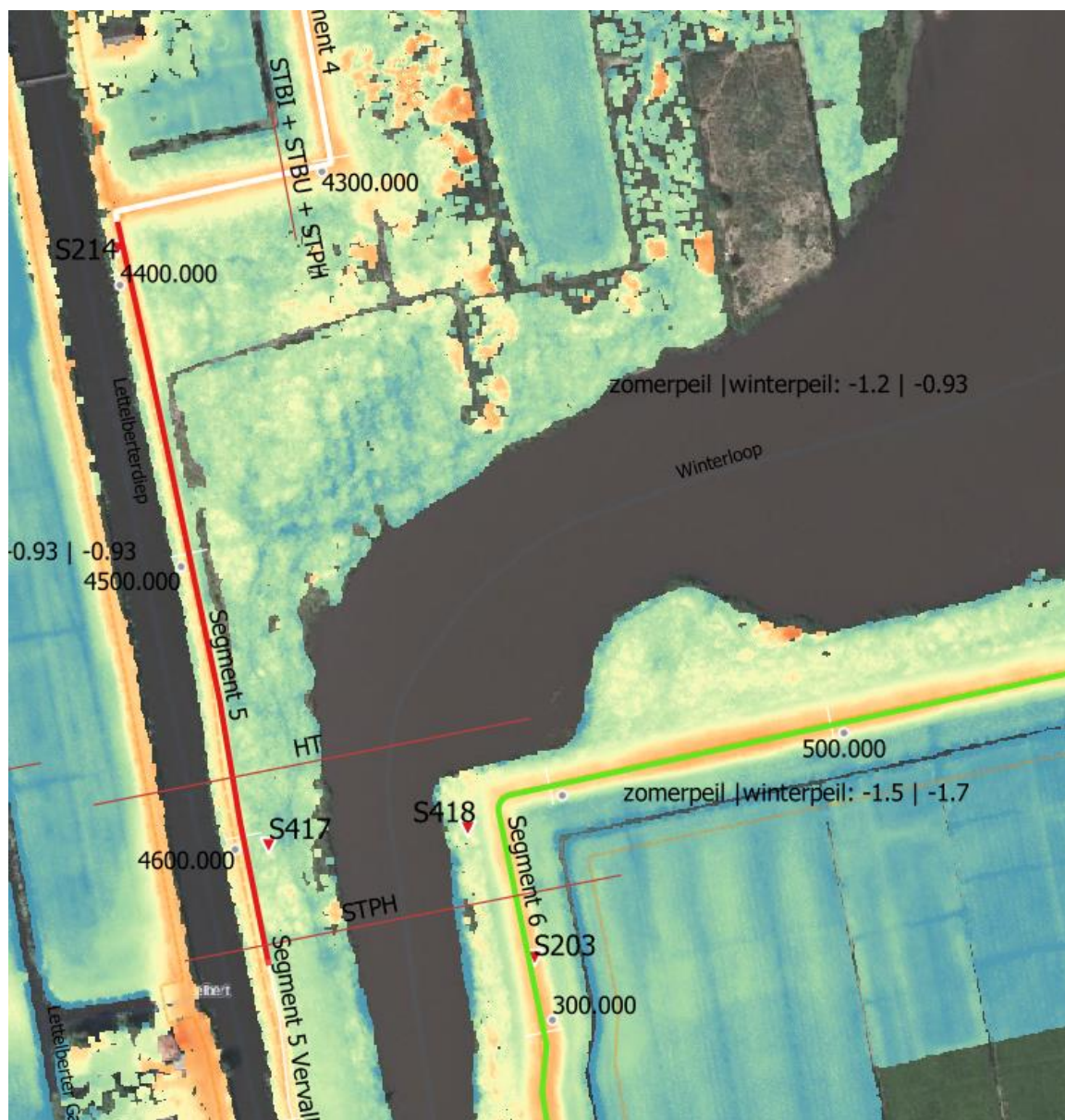
Berekening piping volgens Sellmeijer (TR Zandmeevoerende wellen 2012)									
project:		Zuidelijk Westerkwartier			<div> Bos</div> <div>Witteveen +</div>				
code:		105629							
datum:		24-6-2019							
adviseur		SAAE							
locatie:		LBBB segment 4 S214 @ km 4.300							
aanwezig verval									
ΔH	1.17	m	Maatgevend Verval						
d	0.00	m	Karakteristieke waarde van de afdekkende laag						
$\Delta H - 0,3d$	1.17	m							
berekening kritiek verval ΔH_c									
D	30	m	dikte zandlaag						
L	25	m	Karakteristieke kwelweglengte						
v	1.33E-06	m ² /s	kinematische viscositeit van water bij 10C						
g	9.81	m/s ²	zwaartekrachtversnelling						
k	8.91E-05	m/s	doorlatendheid zandlaag						
κ	1.21E-11	m ²	intrinsieke doorlatendheid zandlaag						
η	0.25	-	sleepkrachtfactor (coefficient van White)						
d_{70}	0.0002	m	70-percentielwaarde van de korrelverdeling						
d_{70m}	2.08E-04	-	Fit parameter						
γ_p'	16.19	kN/m ³	(schijnbaar) volumegewicht zandkorrels onder water						
γ_w	9.81	kN/m ³	volumegewicht water						
θ	37.00	°	rolweerstandshoek zandkorrels						
F1	0.31	-	F Resistance						
F2	0.31	-	F Scale						
F3	0.99	-	F Geometry						
ΔH_c	2.35	m	Kritiek verval						
γ_n	1.20	-	Veiligheidsfactor afhankelijk van betrouwbaarheidsindex						
γ_b	1.30	-	Schematiseringsfactor c.f. TR Grondmechanisch schematiseren						
controle pipingcriterium									
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b]$	1.50	-							
$\Delta H - 0,3d$	1.17	-							
Check									
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b] > \Delta H - 0,3d$		0.78	VOLDOET						
EINDE BEREKENING									

3.5 Segment 5

Het bodemprofiel ten aanzien van hoogte en stabiliteit is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S214. Het bodemprofiel ten aanzien van STPH is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S417. Het maatgevende dwarsprofiel is voor STPH, STBI en STBU is gebaseerd op dwarsprofiel 125

uit; INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg op 4.640 km. Het maatgevende profiel ten aanzien van hoogte is gebaseerd op dwarsprofiel 61 nabij 4.600 km uit situatie.pdf. De demping in de bestaande waterpartij is buiten beschouwing gelaten.

Afbeelding 3.36 Maatgevende sneden segment 5



3.5.1 Bodemopbouw segment 5

Tabel 3.11 Bodemopbouw S214

Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
klei, schoon matig	-0,12
Zand, zwak siltig	-0,50
veen, slap	-1,0

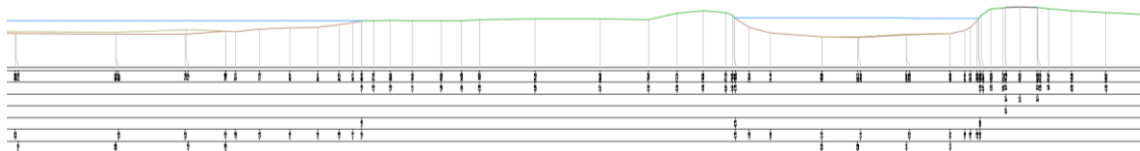
Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
zand, zwak siltig	-2,25
zand, schoon, matig	-5,25
zand, zwak siltig	-8,50
klei, schoon matig	-9,50
zand, schoon, matig	-11,75

3.5.2 Specifieke uitgangspunten

Geometrie bestaande watergangen

Het dwarsprofiel van de waterpartij aan de westzijde van de kering is gebaseerd op dwarsprofiel 125 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg.

Afbeelding 3.37 Dwarsprofiel 125



3.5.3 Resultaat STBI-segment 5

Segment 5 is niet separaat beschouwd ten aanzien van STBI. Segment 5 wordt ten aanzien van STBI gerepresenteerd segment 3. De daar aanwezige slappe laag is gelijkwaardig of dikker en is daarmee maatgevend geacht.

3.5.4 Resultaat STBU-segment 5

Segment 5 is niet separaat beschouwd ten aanzien van STBU. Segment 5 wordt ten aanzien van STBU gerepresenteerd door segment 3. De daar aanwezige slappe laag is gelijkwaardig of dikker en is daarmee maatgevend geacht. In overleg met het waterschap Noorderzijlvest is STBU ten aanzien van het talud in het Lettelberterdiep buiten beschouwing gelaten op basis van segment 3. In 3.3.5 is dit toegelicht.

3.5.5 Resultaten HT-segment 5

Zoals te zien op afbeelding 3.28 en af te leiden uit tabel 3.8 dient het dijklichaam in twee ophoogslagen op een fictieve aanleghoogte van NAP +1,01 m aangebracht te worden om ten tijde van opleveren een hoogte van NAP +0,49 m te behalen. Hiermee wordt een zichtperiode van 50 jaar behaald.

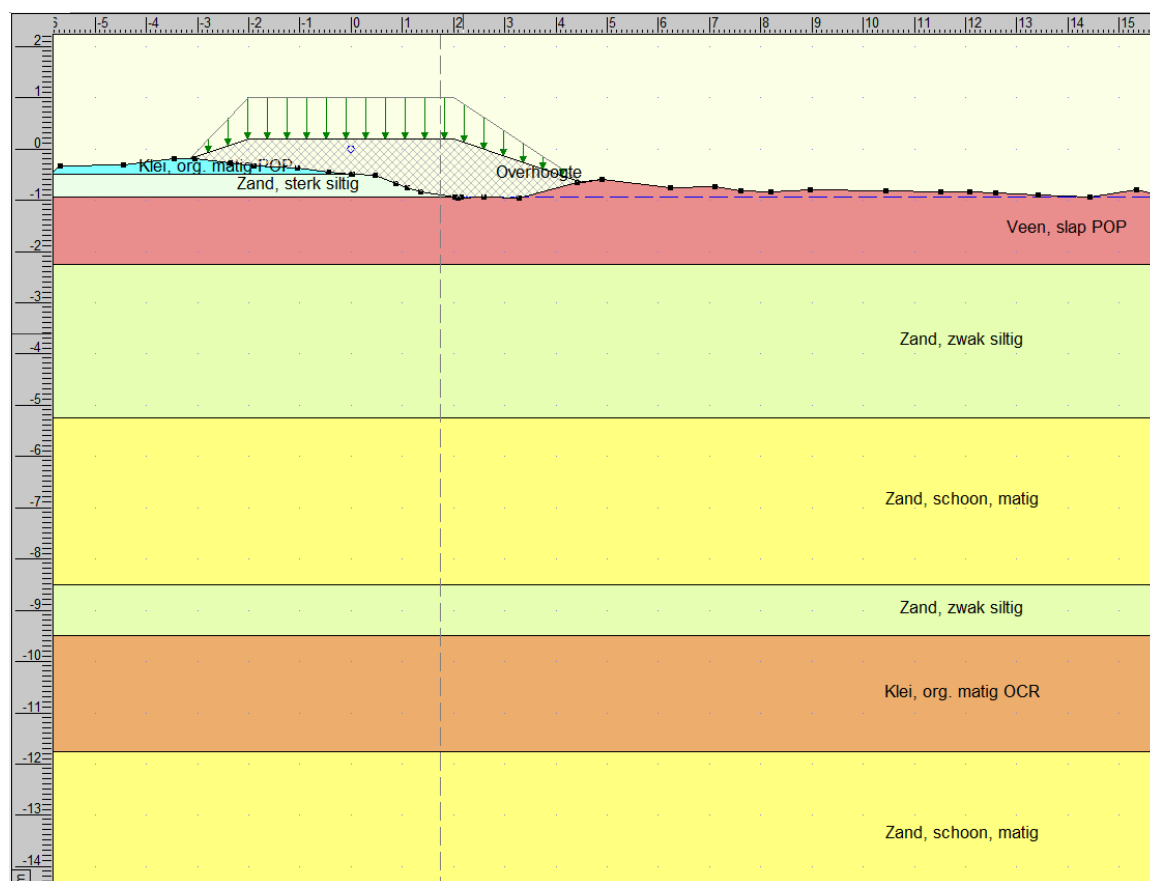
Tabel 3.12 Resultaten zichtperiode segment 5

Niveau huidige maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren [t=6 maand]	Werkelijke opleverhoogte [t=6 maand]
[m +NAP]	[m]	[m +NAP]	[m]	[m +NAP]
-0,94	1,95	1,01	0,52	0,49

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=6 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m+NAP]
0,49	0,14	0,15	0,20	50	0,00

Afbeelding 3.38 Resultaten Zettingsberekening segment 5



3.5.6 Resultaat STPH-segment 5

Afbeelding 3.11 bevat de toets op piping voor segment 5. Hierbij is dwarsprofiel 125 (nabij 4.640 km) als maatgevend beschouwd. Het bodemprofiel ten aanzien van piping is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S417.

Opbarsten/opdrijven

Op basis van sondering S417 is een beperkte dikte van de deklaag aanwezig. Hierbij snijdt de reeds bestaande waterpartij aan de oostzijde van de kade direct in de zandlaag in. Hierdoor ontstaat een open verbinding met het Lettelberterdiep welke eveneens direct in de zandlaag insnijdt. Op basis van dwarsprofiel 125 bedraagt de kwelweglengte circa 30 m.

De onderzijde van de zandlaag is aangetroffen op NAP -11,50 m. De dikte van de zandlaag is daarom aangenomen op 9,5 m.

De maatgevende situatie betreft een hoogwater in het Lettelberterdiep en het lage zomerpeil in de waterberging. Deze situatie is dan ook getoetst en voldoet.

Afbeelding 3.39 Toets op piping segment 5

Berekening piping volgens Sellmeijer (TR Zandmeevoerende wellen 2012)						
project:	Zuidelijk Westerkwartier					
code:	105629					
datum:	24-6-2019					
adviseur	SAAE					
locatie:	LBBS segment 5 S417 @ km 4.640					
aanwezig verval						
ΔH	0.87	m	Maatgevend Verval			
d	0.00	m	Karakteristieke waarde van de afdekkende laag			
$\Delta H - 0,3d$	0.87	m				
berekening kritiek verval ΔH_c						
D	9.5	m	dikte zandlaag			
L	30	m	Karakteristieke kwelweglengte			
v	1.33E-06	m ² /s	kinematische viscositeit van water bij 10C			
g	9.81	m/s ²	zwaartekrachtversnelling			
k	8.91E-05	m/s	doorlatendheid zandlaag			
κ	1.21E-11	m ²	intrinsieke doorlatendheid zandlaag			
η	0.25	-	sleepkrachtfactor (coefficient van White)			
d ₇₀	0.0002	m	70-percentielwaarde van de korrelverdeling			
d _{70m}	2.08E-04	-	Fit parameter			
γ_p'	16.19	kN/m ³	(schijnbaar) volumegewicht zandkorrels onder water			
γ_w	9.81	kN/m ³	volumegewicht water			
θ	37.00	°	rolweerstandshoek zandkorrels			
F1	0.31	-	F Resistance			
F2	0.29	-	F Scale			
F3	1.22	-	F Geometry			
ΔH_c	3.26	m	Kritiek verval			
γ_n	1.20	-	Veiligheidsfactor afhankelijk van betrouwbaarheidsindex			
γ_b	1.30	-	Schematiseringsfactor c.f. TR Grondmechanisch schematiseren			
controle pipingcriterium						
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b]$	2.09	-				
$\Delta H - 0,3d$	0.87	-				
Check						
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b] > \Delta H - 0,3d$	0.42	VOLDOET				
EINDE BEREKENING						

3.6 Segment 6

Het bodemprofiel ten aanzien van stabiliteit is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S418. Het bodemprofiel ten aanzien van hoogte is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende

sondering S203. Het bodemprofiel ten aanzien van STPH is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S205.

Het maatgevende dwarsprofiel voor HT is gebaseerd op dwarsprofiel 03 nabij 0.150 km uit situatie.pdf. Het maatgevende dwarsprofiel voor STBI en STBU is gebaseerd op dwarsprofiel 125 uit; INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg op 4.640 km. Het maatgevende dwarsprofiel ten aanzien van STPH is gebaseerd op dwarsprofiel 87 uit INMETINGEN ZWK TOT 28 maart 2019.dwg op 0.930 km

Afbeelding 3.40 Maatgevende sneden segment 6



3.6.1 Bodemopbouw segment 6

Tabel 3.13 Bodemopbouw S418

Beschrijving grondlaag [-]	b.k. laag [m+ NAP]
veen, slap	-0,98
zand, zwak siltig	-2,5
klei, schoon matig	-6,75
zand, schoon, matig	-7.75

3.6.5 Resultaten HT-segment 6

Zoals te zien op afbeelding 3.43 en af te leiden uit tabel 3.14 dient het dijklichaam in twee ophoogslagen op een fictieve aanleghoogte van NAP +0,83 m aangebracht te worden om ten tijde van opleveren een hoogte van NAP +0,46 m te behalen. Hiermee wordt een zichtperiode van 50 jaar behaald.

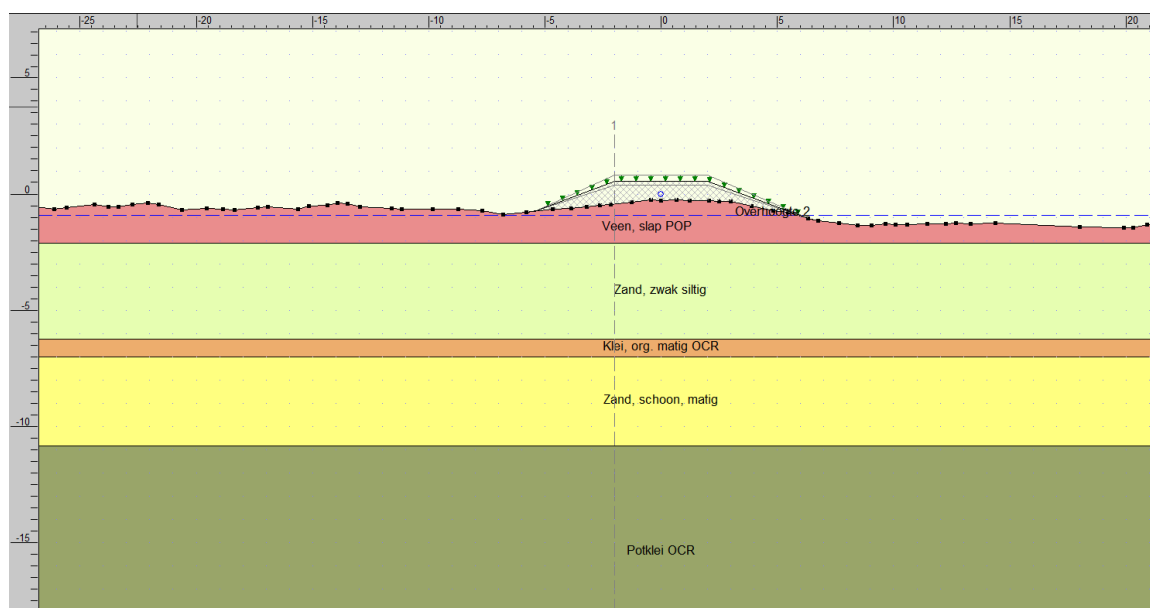
Tabel 3.14 Resultaten zichtperiode segment 6

Niveau huidig maaiveld	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Zetting tot opleveren	Werkelijke opleverhoogte [t=6 maand]
[m + NAP]	[m]	[m + NAP]	[m]	[m + NAP]
-0,45	1,28	0,83	0,38	0,44

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

Werkelijke opleverhoogte [t=6 maand]	Restzetting tot einde zichtperiode	Toeslag klink oxidatie ontwatering	Bodemdaling	Duur zichtperiode	Kruinhoogte einde zichtperiode
[m]	[m]	[m]	[m]	[jaren]	[m + NAP]
0,44	0,15	0,10	0,20	50	0,00

Afbeelding 3.43 Resultaten Zettingsberekening segment 6



3.6.6 Resultaat STPH-segment 6

Afbeelding 3.11 bevat de toets op piping voor segment 6. Hierbij is dwarsprofiel 87 (nabij 0.930 km) als maatgevend beschouwd. Het bodemprofiel ten aanzien van piping is gebaseerd op de voor dit segment maatgevende sondering S205.


Opbarsten/opdrijven

Op basis van sondering S205 is een beperkte dikte van de deklaag (tot NAP -2,25 m) aanwezig. Er is aangenomen dat de reeds bestaande waterpartij aan de noordzijde van de kade direct in de zandlaag insnijdt (op NAP -2,30 m). Hierdoor ontstaat een open verbinding met de kwelsloot aan de zuidzijde van de kade welke op basis van dwarsprofiel 87 eveneens direct in de zandlaag insnijdt (op NAP -2,60 m). Op basis van dwarsprofiel 87 bedraagt de kwelweglengte circa 25 m.

De onderzijde van de zandlaag is aangetroffen op NAP -12,25 m. De dikte van de zandlaag is daarom aangenomen op 10,0 m.

De maatgevende situatie betreft een hoogwater in de waterberging en het zomerpeil (NAP -1,70 m) in de kwelsloot. Deze situatie is dan ook getoetst en voldoet.

Afbeelding 3.44 Toets op piping segment 6

Berekening piping volgens Sellmeijer (TR Zandmeevoerende wellen 2012)							
project:		Zuidelijk Westerkwartier					
code:		105629					
datum:		24-6-2019					
adviseur		SAAE					
locatie:		LBBS segment 6 S205 @ km 0.930					
aanwezig verval							
ΔH	1.37	m	Maatgevend Verval				
d	0.00	m	Karakteristieke waarde van de afdekkende laag				
$\Delta H - 0,3d$	1.37	m					
berekening kritiek verval ΔH_c							
D	10	m	dikte zandlaag				
L	25	m	Karakteristieke kwelweglengte				
v	1.33E-06	m ² /s	kinematische viscositeit van water bij 10C				
g	9.81	m/s ²	zwaartekrachtversnelling				
k	8.91E-05	m/s	doorlatendheid zandlaag				
κ	1.21E-11	m ²	intrinsieke doorlatendheid zandlaag				
η	0.25	-	sleepkrachtfactor (coefficient van White)				
d_{70}	0.0002	m	70-percentielwaarde van de korrelverdeling				
d_{70m}	2.08E-04	-	Fit parameter				
γ_p'	16.19	kN/m ³	(schijnbaar) volumegewicht zandkorrels onder water				
γ_w	9.81	kN/m ³	volumegewicht water				
θ	37.00	°	rolweerstandshoek zandkorrels				
F1	0.31	-	F Resistance				
F2	0.31	-	F Scale				
F3	1.16	-	F Geometry				
ΔH_c	2.75	m	Kritiek verval				
γ_n	1.20	-	Veiligheidsfactor afhankelijk van betrouwbaarheidsindex				
γ_b	1.30	-	Schematiseringsfactor c.f. TR Grondmechanisch schematiseren				
controle pipingcriterium							
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b]$	1.76	-					
$\Delta H - 0,3d$	1.37	-					
Check							
$\Delta H_c / [\gamma_n \cdot \gamma_b] > \Delta H - 0,3d$	0.78	VOLDOET					
EINDE BEREKENING							

SAMENVATTING EN AANDACHTSPUNTEN DEFINITIEF ONTWERP

4.1 Samenvatting ontwerpresultaten

Tabel 4.1 Samenvatting

Segment	Voldoet op stabiliteit	Voldoet op piping	Zichtperiode	Aan te brengen laagdikte	Fictieve aanleghoogte ¹	Opleverhoogte ² [t=aanleg/t=6 maand]
[-]	[ja/nee]	[ja/nee]	[jaren]	[m]	[m+ NAP]	
1A	Ja	Ja	50	0,37	0,30	
1B	Ja	Ja	50	[-]	0,30	
2	Ja	Ja	50	[-]	0,30	
3	Nee	Ja	50	0,68	0,34	0,14
4	Ja	Ja	50	0,38	0,30	
4 grenzend aan Lettelberterdiep	separaat beschouwd (ref 5)					
5	nee	ja	50	1,95	1,01	0,49
6	ja	ja	50	1,28	0,83	0,44

¹ Betreft de hoogte welke zonder tussentijdse zettingen in de uitvoeringsperiode gehaald zou worden.

² Voor locaties waar aangelegd wordt tot NAP +0,30 m is de aanleghoogte ook opleverhoogte (aanleg is opleveren) ter plaatse van locaties waar hoger dient te worden aangelegd is uitgegaan van opleveren op 6 maand na aanleg.

4.2 Aandachtspunten

In voorliggend DO zijn de volgende aspecten niet belicht:

- bekleding in relatie tot de aanzienlijke strijklengtes, windopzet en golfhoogtes;
- indien er een open verbinding is met het watervoerend pakket en het talud van de watergang is het mogelijk dat door uittredend water micro-instabiliteit optreedt. Dit leidt mogelijk tot veel onderhoud van de taluds of schade aan de kades. Ook kan bij hoge waterstanden kwelwater in de teen van de kade uitstromen wanneer geen deugdelijke bekleding op de kade aanwezig is. Op aangeven van Opdrachtgever is dit aspect niet in het ontwerp opgenomen;
- wateroverspanningen in relatie tot uitvoeringsstabiliteit:
 - zoals aangegeven in voorliggend rapport dienen de kadelichamen met overhoogtes aangelegd te worden. Het aanbrengen van grond leidt tot wateroverspanningen in de cohesieve lagen wat de sterkte van de ondergrond negatief beïnvloed. Uitvoeringsstabiliteit en de stabiliteit direct na opleveren is niet beschouwd in voorliggend DO.

5

REFERENTIES

- 1 Witteveen+Bos: Ontwerpbasis ZWK, kenmerk: 105629/19-006.010.
- 2 Witteveen+Bos: Interpretatie geotechnisch onderzoek 105629/16-006.116.
- 3 STOWA, Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, d.d. 28 mei 2015, kenmerk: 2015-15.
- 4 NEN, Geotechnisch ontwerp van constructies Deel 1: Algemene regels, d.d. november 2017, kenmerk: NEN 9997-1+C2.
- 5 Witteveen+Bos: Ontwerp damwand constructie particuliere kade nabij segment 4. Kenmerk: 116831/20-009.315.

