


POVM Eemdijkproef

Analyse aanleg FSP
Product S

POV

MACRO
STABILITEIT



Auteur: M. van der Krogt
Datum: maart 2018

Versie: definitief

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Titel

POVM Eemdijkproef

Project

11200956-004

Kenmerk

11200956-004-GEO-0004-jpjm

Pagina's

94





Samenvatting

Om het werkelijke gedrag van een met damwandconstructie versterkte waterkering onder extreme condities tot na bezwijken betrouwbaar in kaart te brengen is binnen de POVM voor deze principetechniek een full-scale bezwijkproef voorzien. Door bij dezelfde ondergrond- en belastingcondities een full-scale bezwijkproef op een niet constructief versterkte dijk (de 'groene dijk') uit te voeren, wordt een referentie voor het geconstateerde gedrag verkregen.

De basis voor een geslaagde proef is in de ontwerpfase gelegd met de keuze voor een qua ondergrondcondities zo homogeen mogelijke proeflocatie. Bij de aanleg moeten (lokale) verstoringen van deze homogene ondergrondcondities onder invloed van het gefaseerd ophogen door de volgende faalmechanismen worden vermeden:

- Afschuiven van de ondergrond.
- Doorponsen van ophoging in de cohesieve grondlaag.
- Squeezing in cohesieve grondlaag.
- Verlies aan standzekerheid binnen ophoging.
- Inwendig stabiliteitsverlies ophoging en ondergrond.
- Onvoldoende afstroming van wateroverspanningen.
- Uitval van meetapparatuur.
- Onbruikbaar worden van voorzieningen.

Het doel van de analyses beschreven in dit rapport is het beheersen van aanlegfasering ten behoeve van zo homogeen mogelijke ondergrondcondities in de proeffase.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2018	M. van der Krogt		J. Breedevelt		L. Voogt	
				H. de Bruijn			
2	mrt. 2018	M. van der Krogt		J. Breedevelt		L. Voogt	
				H. de Bruijn			

Inhoud

0	Productoverzicht	v
1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.1.1	Aanleiding	1
1.1.2	Probleemstelling	1
1.1.3	Oplossingsrichting	2
1.2	Afbakening	3
1.3	Doelstelling aanleg	3
1.4	Plan van aanpak / leeswijzer	3
1.5	Gebruikte termen en afkortingen	4
2	Algemeen	7
2.1	Beschrijving proeflocatie	7
2.1.1	Bodemopbouw- en samenstelling	8
2.1.2	Grondwaterregime	8
2.2	Beschrijving ophoogfasering	9
2.3	Monitoring	9
2.4	Rekenmodellen	11
2.4.1	Welke rekenmodellen?	11
2.4.2	Uitgangspunten	14
2.4.3	Toetscriteria	15
2.5	Proces vrijgave	16
3	Vrijgave terrein voor ophoogslag 1	17
3.1	Samenvatting metingen	17
3.2	Samenvatting resultaten analyses	17
3.2.1	Stabiliteit	17
3.2.2	Zettingen	17
3.2.3	Doorponsen	17
3.2.4	Squeezing	17
3.3	Conclusies	17
4	Vrijgave terrein voor ophoogslag 2	18
4.1	Samenvatting metingen	18
4.2	Samenvatting resultaten analyses	18
4.2.1	Stabiliteit	18
4.2.2	Zettingen	18
4.2.3	Doorponsen	18
4.2.4	Squeezing	18
4.3	Conclusies	18
5	Vrijgave terrein voor ophoogslag 3	19
5.1	Samenvatting metingen	19
5.1.1	Waterspanningsmetingen cohesieve laag	19

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

5.1.2	Waterspanningsmetingen watervoerende zandlaag	19
5.1.3	Hellingmeetbuismetingen	19
5.2	Samenvatting resultaten analyses	20
5.2.1	Stabiliteit	20
5.2.2	Zettingen	20
5.2.3	Doorponsen	20
5.2.4	Squeezing	20
5.3	Conclusies	20
6	Vrijgave terrein voor ophoogslag 4	22
6.1	Samenvatting metingen	22
6.1.1	Opbolling freatisch peil in ophoging	22
6.1.2	Tussentijdse sonderingen	22
6.2	Samenvatting resultaten analyses	27
6.2.1	Stabiliteit	27
6.2.2	Zettingen	27
6.2.3	Doorponsen	27
6.2.4	Squeezing	27
6.3	Conclusies	27
7	Vrijgave terrein voor ophoogslag 5	29
7.1	Samenvatting metingen	29
7.2	Samenvatting resultaten analyses	29
7.2.1	Stabiliteit	29
7.2.2	Zettingen	29
7.2.3	Doorponsen	29
7.2.4	Squeezing	29
7.3	Conclusies	30
7.4	Aanbevelingen	30
8	Vrijgave terrein voor ophoogslag 6	31
8.1	Samenvatting metingen	31
8.1.1	Waterspanningsmetingen cohesieve laag	31
8.2	Samenvatting resultaten analyses	33
8.2.1	Stabiliteit	33
8.2.2	Zettingen	33
8.2.3	Doorponsen	33
8.2.4	Squeezing	33
8.3	Conclusies	33
9	Vrijgave terrein voor ophoogslag 7	34
9.1	Samenvatting metingen	34
9.1.1	Waterspanningsmetingen cohesieve laag	34
9.2	Samenvatting resultaten analyses	34
9.2.1	Stabiliteit	34
9.2.2	Zettingen	35
9.2.3	Doorponsen	35
9.2.4	Squeezing	35
9.3	Conclusies	35

10 Vrijgave terrein voor ophoogslag 8	36
10.1 Samenvatting metingen	36
10.2 Samenvatting resultaten analyses	36
10.2.1 Stabiliteit	36
10.2.2 Zettingen	36
10.2.3 Doorponsen	37
10.2.4 Squeezing	37
10.3 Conclusies	37
11 Zettingspredicties	38
11.1 Zettingsmeetplaatjes	38
11.2 Waterspanningsmetingen	39
12 Conclusies en aanbevelingen	40
12.1 Conclusies	40
12.1.1 Ophoogfasering en sterkte-ontwikkeling	40
12.1.2 Doorlatendheid en afstroming	41
12.1.3 Zettingen	42
12.1.4 Verschillen in rekenmodellen	42
12.1.5 Betrouwbaarheid sensoren	43
12.1.6 Meerwaarde van toenemend inzicht in grondeigenschappen	50
12.2 Aanbevelingen tbv opbouw- en proeffase	50
 Bijlage(n)	
A Kennisvragen	A-1
B Berekeningsresultaten	B-1
B.1 Vrijgave ophoogslag 1 (0,85 m + N.A.P.)	B-1
B.1.1 Bodemopbouw (initieel)	B-1
B.1.2 Waterspanning	B-2
B.1.3 Belasting	B-3
B.1.4 Sterkte	B-3
B.2 Vrijgave ophoogslag 2 (1,75 m + N.A.P.)	B-5
B.2.1 Sterkte	B-5
B.2.2 Squeezen	B-6
B.3 Vrijgave ophoogslag 3 (2,20 m + N.A.P.)	B-8
B.3.1 Sterkte	B-8
B.3.2 Aanbevelingen	B-9
B.4 Vrijgave ophoogslag 4 (2,70 m + N.A.P.)	B-10
B.4.1 Sterkte op basis van "su measured" (verifiëren met sonderingen)	B-10
B.4.2 Op basis van S ratio, m en grensspanning	B-14
B.5 Vrijgave ophoogslag 5 (3,20 m + N.A.P.)	B-19
B.5.1 Sterkte	B-19
B.6 Vrijgave ophoogslag 6 (3,70 m + N.A.P.)	B-23
B.6.1 Sterkte	B-23
B.7 Vrijgave ophoogslag 7 (4,20 m + N.A.P.)	B-27
B.7.1 Sterkte	B-27



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

B.8 Vrijgave ophoogslag 8 (4,70 m + N.A.P.)
B.8.1 Sterkte

B-30
B-30

C Voorstel voor aangepaste ophoogfasering FSP

C-1

1 Productoverzicht

Als verantwoording voor de invulling van het proefprogramma rondom de POV|Macro-stabiliteit Eemdijkproef zijn de volgende hoofdproducten¹ in Tabel 1.1 voorzien:

Code	Hoofdproducten
A	Algemene werkzaamheden
B	Externe stuurinformatie
C	Interne stuurinformatie
D	Inkoop installatie monitoring, veld- en laboratoriumonderzoek
E	Vergunningen
F	Geotechnisch basisrapport proeflocatie
G	Voorlopig ontwerp aanleg/opbouw FSP
H	Voorlopig ontwerp proef POT
I	Definitief ontwerp proef/herstel FSP/POT
J	Monitoringsplannen FSP en POT (aanleg, opbouw en proef)
K	Inkoop grondwerk t.b.v. aanleg en opbouw FSP
L	Inkoop grondwerk t.b.v. (tussentijds) herstel proef FSP/POT
M	Inkoop en installatie damwanden en hulpconstructies FSP/POT
N	Inkoop overig materieel t.b.v. uitvoering proef FSP/POT
O	Draaiboeken voor aanleg, opbouw, proef en herstel FSP/POT
P	Factual report en analyse reststerkte & restprofiel proef FSP
Q	Factual report en analyse opbouw en proef POT
R	Factual report aanleg FSP (groene en blauwe dijk)
S	Analyse aanleg FSP (groene en blauwe dijk)
T	Factual report opbouw FSP (groene en blauwe dijk)
U	Factual report proef FSP (groene en blauwe dijk)
V	Analyse proef FSP/POT (groen en blauwe dijk, push-over)
W	Dataverwerking en dataopslag

Tabel 1.1 Overzicht van producten bij proefprogramma POV|M Eemdijkproef

Het voorliggende **product S** betreft de analyse van de aanleg van de Full Scale Proef (FSP), dat de aanleg van de zandophoging heeft gestroomlijnd en op basis van het factual report van de aanleg (afzonderlijk **product R²**) is opgesteld.

¹ zie aanbieding met Deltares kenmerk 11200956-001-GEO-0003-ydh van 10 mei 2017;

² "POVM Eemdijkproef – Factual report aanleg FSP", projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-012-GEO-0003, versie concept, februari 2018;

2 Inleiding

2.1 Achtergrond

2.1.1 Aanleiding

Binnen het huidige Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP2), een samenwerking tussen Waterschappen en Rijksoverheid, is een aantal project-overstijgende verkenningen (POV's) opgezet met als doel om dijkversterking beter, sneller en goedkoper te maken. Tegen deze achtergrond is geconstateerd dat het aantal te versterken dijkvakken in het HWBP-programma vanwege onvoldoende sterkte voor macrostabiliteit omvangrijk is. De HWBP-opgave waarbij macrostabiliteit maatgevend is, betreft 287 km. Hiervan is aan 69,5 km een hoge urgentie toegekend en opgenomen in de programmering 2015-2020. Dit vormde de aanleiding voor het opzetten van de POV|Macrostabiliteit, in het vervolg afgekort tot POV|M.

Binnen de POV|M, die is onderverdeeld in vier inhoudelijke clusters, zoeken waterschappen, het bedrijfsleven en kennisinstituten samen naar innovaties om het faalmechanisme macrostabiliteit bij dijken effectiever te kunnen aanpakken. De focus ligt hierbij op het verder helpen van de concepten die in theorie binnen de HWBP-versterkingsopgave in de referentieprojecten toegepast kunnen worden. Bij het uitdagen van de markt kunnen technieken worden voorgesteld die met de huidige richtlijnen en technische rapporten nu nog slecht kunnen worden beoordeeld. POV|M-cluster "Innovaties in versterkingstechnieken" stelt zich tot doel om voor vier principetechnieken generieke technische rapporten uit te werken, waaronder de techniek "damwanden en rekbare constructies". Dergelijke constructies worden al veelvuldig als stabiliteit-verhogende constructie (SVLC) toegepast.

2.1.2 Probleemstelling

Op dit moment ontbreekt het nog aan inzicht in het werkelijke (vervormings)gedrag onder extreme condities (i.e. combinatie van hoogwater en opdrijven achterland) van een waterkering met een damwandconstructie als SVLC. Deze extreme condities treden in de praktijk zelden op. En er is ook nog niet gevalideerd in welke mate het sterkte- en vervormingsgedrag van de waterkering met dit objecttype in het daartoe meest geschikt rekenmodel (gebaseerd op de EEM) en de werkelijkheid overeenkomen. Onder meer doordat in de praktijk (vanuit geohydrologisch oogpunt) steeds vaker discontinue damwanden worden toegepast, die ten opzichte van een continue wand mogelijk afwijkend sterkte- en vervormingsgedrag vertonen.

Deze witte vlekken in de kennis bemoeilijken het leggen van de juiste relatie tussen het voorgeschreven en in de analyse gerealiseerde betrouwbaarheidsniveau van de combinatie van damwandconstructie en de overige delen van de waterkering (grond). En daarmee het aanscherpen van de huidige ontwerpaanpak³, dat noodzakelijk is voor het beter en goedkoper constructief versterken van gronddijken. Terwijl dit objecttype in verschillende verschijningsvormen al veelvuldig is toegepast, en naar verwachting ook in de toekomst relevant blijft.

³ deze ontwerpaanpak (bestaande uit een veiligheidsfilosofie en rekenmethodiek) kan als locatie-specifiek, conservatief en pragmatisch worden gekarakteriseerd;

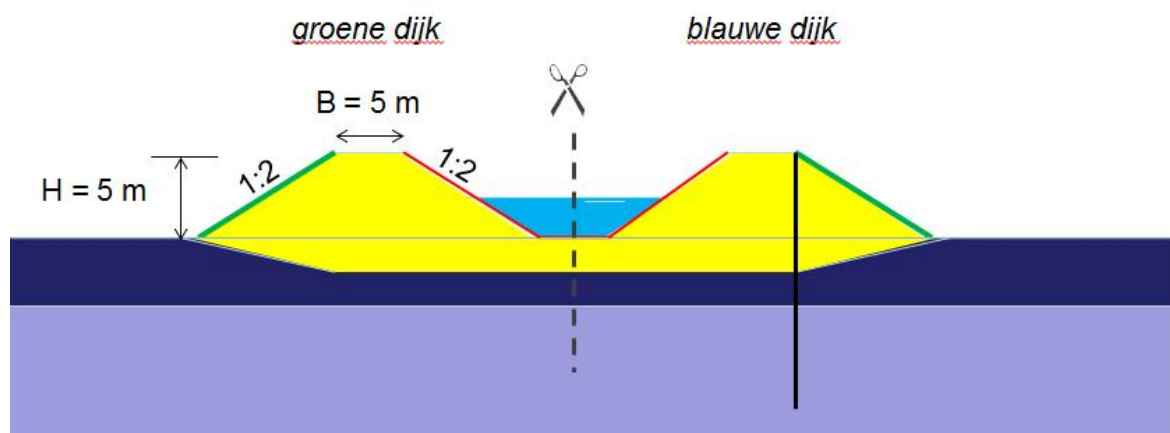
2.1.3 Oplossingsrichting

Om het werkelijke gedrag van een met damwandconstructie versterkte waterkering (de 'blauwe dijk') onder extreme condities tot na bezwijken betrouwbaar in kaart te brengen is binnen de POV|M voor deze principetechniek een full-scale bezwijkproef voorzien. De proef op de blauwe dijk heeft ook tot doel om de kennisvragen in Bijlage A te beantwoorden en een betrouwbare en complete set monitoringsgegevens vast te leggen, zodat deze als case voor rekentechnische validatie (door derden) kan dienen. Door bij dezelfde ondergrond- en belastingcondities ook een full-scale bezwijkproef op een niet constructief versterkte dijk (de 'groene dijk') uit te voeren, wordt een referentie voor het geconstateerde gedrag verkregen.

Wat betreft de full-scale bezwijkproeven gelden verder de volgende doelstellingen:

1. Het (gefaseerd) laten bezwijken van de twee proefdijken conform het mechanisme "macrostabiliteit binnenwaarts".
2. Het aanhouden van een proefopzet waarmee zo dicht mogelijk bij een reële bezwijk-situatie van een dijk wordt gebleven, omwille van de vertaalbaarheid⁴ van de resultaten.
3. Het mogelijk maken van een vergelijking tussen het sterkte- en vervormingsgedrag van de blauwe dijk met dat van een groene dijk (als referentie).
4. In lijn met het voorgaande, het zoveel mogelijk aanhouden van een gelijke proefopzet bij de groene en blauwe dijk.

In de definitiefase⁵ van de full-scale proef is er geadviseerd een onverankerde continue stalen damwand in de blauwe dijk aan te brengen, waarbij de extreme condities bestaan uit een combinatie van hoogwater, een bovenbelasting en afnemende effectieve spanningen⁶ in de grond. Hierbij wordt getracht de plastische eigenschappen (i.e. plastisch buigend moment) van de onverankerde damwand te benutten. Dit zal tot (relatief) grote deformaties van de blauwe dijk leiden, waarmee kan worden nagegaan op welk moment in het bezwijkproces de waterkerende functie van dit systeem in het geding komt.



Figuur 2.1 Dwarsdoorsnede over proefdijken

⁴ hiermee wordt bedoeld op de mate waarin de beschikbare rekenmodellen het werkelijke gedrag van de proefopstelling zowel voorafgaand aan de proef (predictie) als naderhand (postdictie) kunnen voorspellen, en niet in hoeverre de proefopstelling qua bodemopbouw en bezwijkmechanisme overeenkomsten heeft met de unieke situatie bij POV|M-referentieprojecten;

⁵ POV|M-rapport met titel 'POV|M full-scale test, Activiteit 2 – definitiefase', v1.0 definitief, februari 2017;

⁶ door het afgraven van het binnendijkse maaiveld tot een oprijfveiligheid van circa 1,0

In de definitiefase is voor beide full-scale proeven tot een locatie bij Eemdijk in het beheergebied van Waterschap Vallei en Veluwe nabij het Eemmeer gekomen.

2.2 Afbakening

De full-scale bezwijkproeven worden uitgevoerd op nieuw op te bouwen dijklichamen op de proeflocatie. Afgezien van de definitiefase, waarin de keuzes wat betreft het te beproeven constructietype en de proeflocatie zijn onderbouwd, zijn dan ook de volgende fasen voorzien:

- Ontwerpfase (vaststellen van opbouwwijze proefdijk en dimensies onderdelen) realisatiefase, die bestaat uit:
 - Aanlegfase (aanleggen van grondlichamen inclusief interne voorzieningen).
 - Opbouwfase (opbouwen van proefdijken met monitoring en externe voorzieningen).
 - Proeffase (uitvoeren van de proeven en vastleggen proefresultaten).
 - Herstelfase (herstellen proeflocatie na bezwijken proefdijk).
- Analysefase (interpreteren van de proefresultaten).

Het voorliggende rapport betreft de aanleg van de blauwe en groene proefdijk.

De aanleg omvat niet alleen maar grondwerk (zandkernen en kleibekledingen), maar ook het aanbrengen van de (interne en externe) voorzieningen en het aanbrengen van de geotechnische en constructieve monitoringsinstrumenten.

2.3 Doelstelling aanleg

De basis voor een geslaagde proef is in de ontwerpfase gelegd met de keuze voor een qua ondergrondcondities zo homogeen mogelijke proeflocatie. Bij de aanleg moeten (lokale) verstoringen van deze homogene ondergrondcondities onder invloed van het gefaseerd ophogen door de volgende faalmechanismen worden vermeden:

- Afschuiven van de ondergrond.
- Doorponsen van ophoging in de cohesieve grondlaag.
- Squeezing in cohesieve grondlaag.
- Verlies aan standzekerheid binnen ophoging.
- Inwendig stabiliteitsverlies ophoging en ondergrond.
- Onvoldoende afstroming van wateroverspanningen
- Uitval van meetapparatuur.
- Onbruikbaar worden van voorzieningen.

Het doel van de analyses beschreven in dit rapport is het beheersen van aanlegfasering.

2.4 Plan van aanpak / leeswijzer

Dit rapport begint met een opsomming van de belangrijkste uitgangspunten voor de ophoogfasering en de uitvoeringsstabiliteit. Daarna wordt per ophoogslag een samenvatting van de gehanteerde uitgangspunten, berekeningsresultaten en conclusies beschreven. Het rapport eindigt met de algemene conclusies met betrekking tot de aanleg.

Tijdens de aanleg zijn diverse memo's geschreven met betrekking tot de vrijgave van de ophoogslagen. Deze memo's zijn bijgevoegd in Bijlage B.

2.5 Gebruikte termen en afkortingen

De volgende afkortingen worden in de voorliggende rapportage gebruikt:

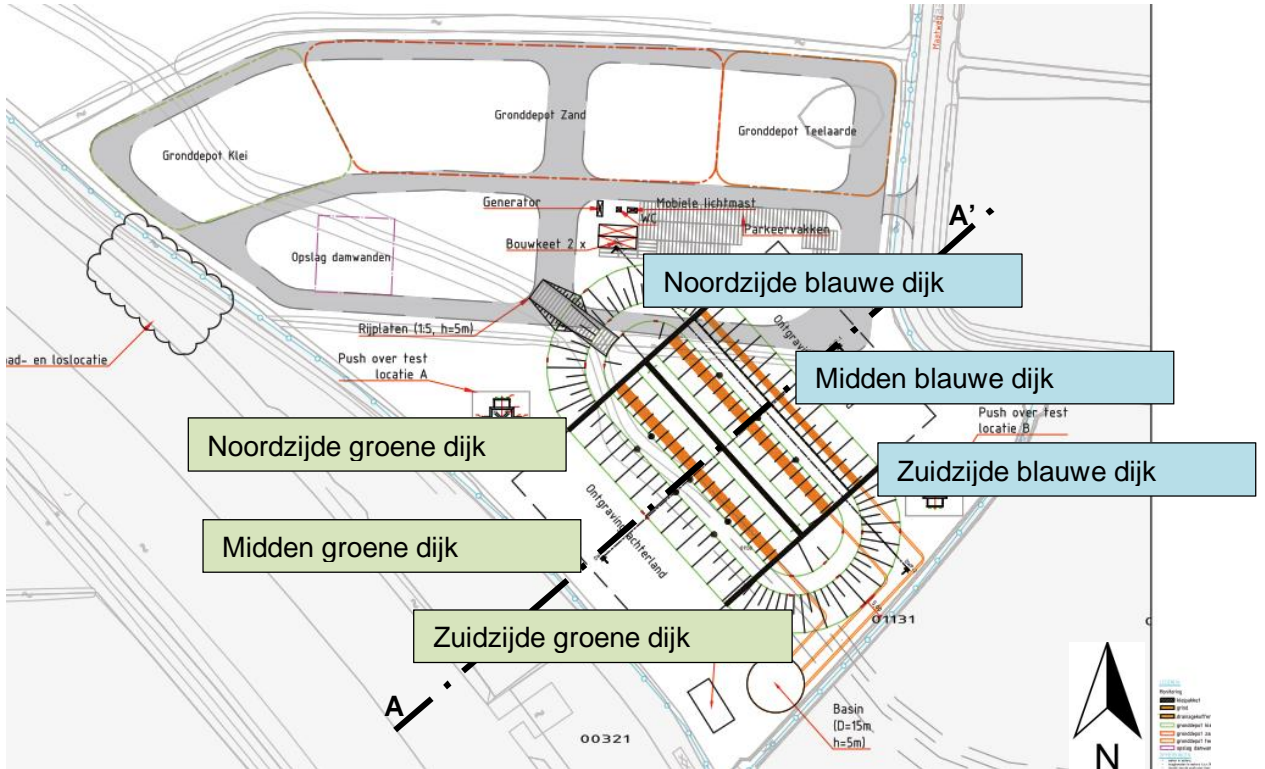
DLT	Deltares.
DO	Definitief ontwerp.
FSP	Full-scale proef
FSP-blauw	Full-scale proef op blauwe proefdijk
FSP-groen	Full-scale proef op groene proefdijk
OM	Observational Method.
POT	Pull-over test.
POV M	Project-overstijgende Verkenning Macro stabiliteit.
PT	Projectteam.
VO	Voorlopig ontwerp.
W+B	Witteveen+Bos.
WSR	Waterschap Rivierenland.
WSVV	Waterschap Vallei en Veluwe.

In Tabel 2.1 is een beschrijving van de gebruikte definities gegeven. Deze zijn op plattegrond van de proeflocatie (Figuur 2.2) en schetsjes in Figuur 2.3 en Figuur 2.4 aangegeven.

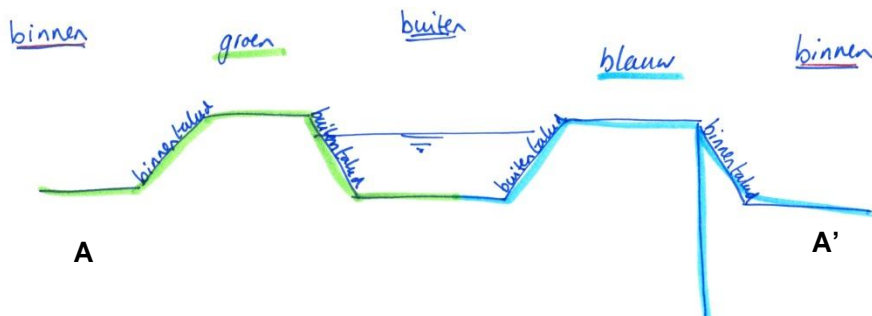
Term	Beschrijving
Groene dijk	Oostelijke deel van de ringdijk, constructief versterkte proefdijk
Blauwe dijk:	Westelijke deel van de ringdijk, niet constructief versterkte proefdijk
Noord	Dijkdoorsnede aan de respectievelijk noordzijde, in het midden of aan de zuidzijde van de betreffende dijk.
Midden	
Zuid	
Buitentalud	Talud aan de hoogwaterzijde van de dijk (gezien vanuit de dijk). In dit geval is dit aan de binnenzijde van de ringdijk
Binnentalud	Talud aan de polderzijde van de dijk (gezien vanuit de dijk). In dit geval is dit aan de buitenzijde van de ringdijk.
Buitenwater	Waterbassin temidden van de ringdijk

Tabel 2.1 Gebruikte definities met betrekking tot de aanleg van de proefdijk

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

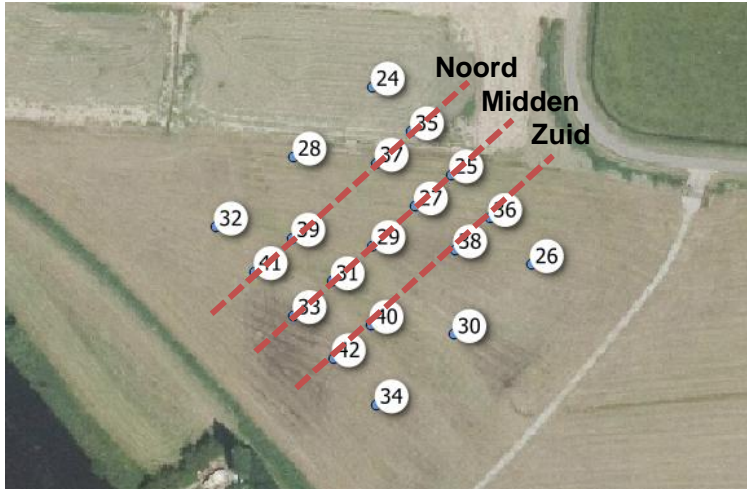


Figuur 2.2 Plattegrond proeflocatie en definities



Figuur 2.3 Definitie groen/blauw, binnen/buiten

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



Figuur 2.4 Definitie locatienummers en meetraaien noord, midden en zuid

3 Algemeen

3.1 Beschrijving proeflocatie

In de definitiefase⁷ is voor de full-scale bezwijkproeven tot een locatie in het beheergebied van Waterschap Vallei en Veluwe nabij het Eemmeer gekomen. Dit proefterrein gelegen aan de rivier de Eem bevindt zich aan de Maatweg te Eemdijk, zie Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Locatie proefterrein Eemdijk (bron: Google Maps)

Een bovenaanzicht van dit proefterrein, inclusief het huidige gebruik als gronddepot met tijdelijke bouwwegen, wordt in Figuur 3.2 weergegeven.



Figuur 3.2 Satellietbeeld van proeflocatie van 26 november 2015 (bron: Nationaal Satellietdataportaal)

⁷ POV|M-rapport met titel 'POVM full-scale test, Activiteit 2 – definitiefase', v1.0 definitief, februari 2017;

In Figuur 3.3 wordt een impressie gegeven van de proeflocatie voor de full-scale proeven, op het moment dat deze nog in gebruik is als gronddepot voor een lokale dijkversterking.



Figuur 3.3 Impressie van proeflocatie voorafgaand aan de aanleg- en opbouwfase

3.1.1 Bodemopbouw- en samenstelling

Voorafgaand aan de aanleg zijn de initiële hoogteligging, bodemopbouw en bodemsamenstelling met aanvullende sonderingen en boringen in beeld gebracht en zijn grondmonsters van de bovenste klei-, veen- en zandlagen genomen om op basis van laboratoriumproeven de initiële sterkte- en stijfheidsparameters van de locaties vast te stellen. Dit is samen met het oriënterende grondonderzoek, globale grondonderzoek en gedetailleerde veldonderzoek in de producten F/abcde beschreven. Op basis van deze factual reports is tot de bodemopbouw op de proeflocatie in Tabel 3.1 gekomen.

Laag nr.	Grondsoort	Bovenkant laag [m.NAP – m.NAP]	Onderkant laag [m.NAP – m.NAP]
1	Klei, zandig	0,1 tot -0,1	-0,3 tot -0,4
2	Klei (onverzadigde zone)	-0,3 tot -0,4	-0,9 tot -1,0
3	Klei (verzadigde zone)	-0,9 tot -1,0	-1,7 tot -2,1
4	Veen	-1,7 tot -2,1	-4,1 tot 4,35
5	Zand	-4,1 tot -4,35	-9,5 tot -10,0
6	Klei, leem	-9,5 tot -10,0	-10,8 tot 11,0
7	Zand	-10,8 tot 11,0	ca. -17
8	Klei	ca. -17,0	-

Tabel 3.1 Globale bodemopbouw proeflocatie gronddepot Eemdijk

Qua bodemopbouw is er geen verschil tussen de voorbelaste delen waar de voormalige zomerdijk heeft gelopen en de niet-voorbelaste delen.

3.1.2 Grondwaterregime

Uit de nulmeting van de waterspanningsmeters blijkt conform het factual report Monitoring (product R) dat het polderpeil op het proefterrein op circa NAP -0,75 m ligt. Midden in het proefterrein is de freatische grondwaterstand op circa NAP -0,45 m aangetroffen. De stijghoogte in de 1^e watervoerende zandlaag varieert rond het peil NAP -0,50 m en staat in verbinding met de rivier de Eem.

3.2 Beschrijving ophoogfasering

Onderstaand is de initiële planning (d.d. 30-06-2017) voor het ophoogschema weergegeven. De planning is om per 4 weken een slag van 1,0 meter zand op te brengen. Daarmee wordt de totale ophoging ca. 7 meter. Uitgaande van maximaal 2 meter zetting, zal de proefdijk dan een hoogte bereiken van minimaal N.A.P.+5,0m.

- Woensdag 28 juni (slag 2).
- Woensdag 19 juli (slag 3).
- Donderdag 24 augustus (slag 4).
- Dinsdag 12 september (slag 5).
- Dinsdag 3 oktober (slag 6).
- Dinsdag 24 oktober (slag 7).

Op basis van monitoring en het beschikbare laboratoriumonderzoek is er na slag 3 (d.d. 25-09-2017) besloten om minder dan de geplande meter per vier weken op te hogen en is er besloten om de ophoogfasering aan te passen naar 0,5m per 3 weken. Het begeleidende memo is opgenomen onder bijlage C. In Bijlage C is de feitelijke ophoogfasering weergegeven, inclusief de hoogte na de ophoging.

Ophoogslag	Start ophoging (aantal wk na vorige slag)	Dikte [m]	Hoogte terp blauw + groen [m + N.A.P.]	Hoogte terp kopse kant en midden [m + N.A.P.]
0		-	-0,1	-0,10
1	12-06-2017	1,0	+0,85	+0,85
2	28-06-2017 (2)	1,0	+1,75	+1,75
3	17-07-2017 (2,5)	0,5*	+2,20	+2,70
4	21-08-2017 (4,5)	0,5*	+2,70	+3,20
5	21-09-2017 (5)	0,5*	+3,25	+3,75
6	09-10-2017 (2,5)	0,5*	+3,70	+4,20
7	25-10-2017 (2,5)	0,5*	+4,20	+4,70
8	15-11-2017 (3)	0,5*	+4,70	+5,20
9 groen	12-01-2018 (6)	0,5-0,7	+5,20 (alleen groen)	+5,20
9 blauw		0,5-0,7	+5,20 (alleen blauw)	+5,20

Licht grijs: onder voorbehoud

* De zetting tussen twee ophoogslagen is grotendeels gecompenseerd in iets grotere dikte dan 0,5m.

Tabel 3.2 Globale bodemopbouw

3.3 Monitoring

Om de aanleg te monitoren wordt gebruikt gemaakt van diverse metingen. Vooraf is beschikbaar:

- Inmeting maaiveld.

Daarnaast is (bijna) continu beschikbaar:

- 12 locaties waterspanningsmetingen op -1,5 m + NAP en - 3,0 m + NAP (kruin, teen).
- 2 locaties waterspanningsmeting diepe zand en slecht doorlatende klei - 9 m + NAP en - 10 m + NAP (teen).

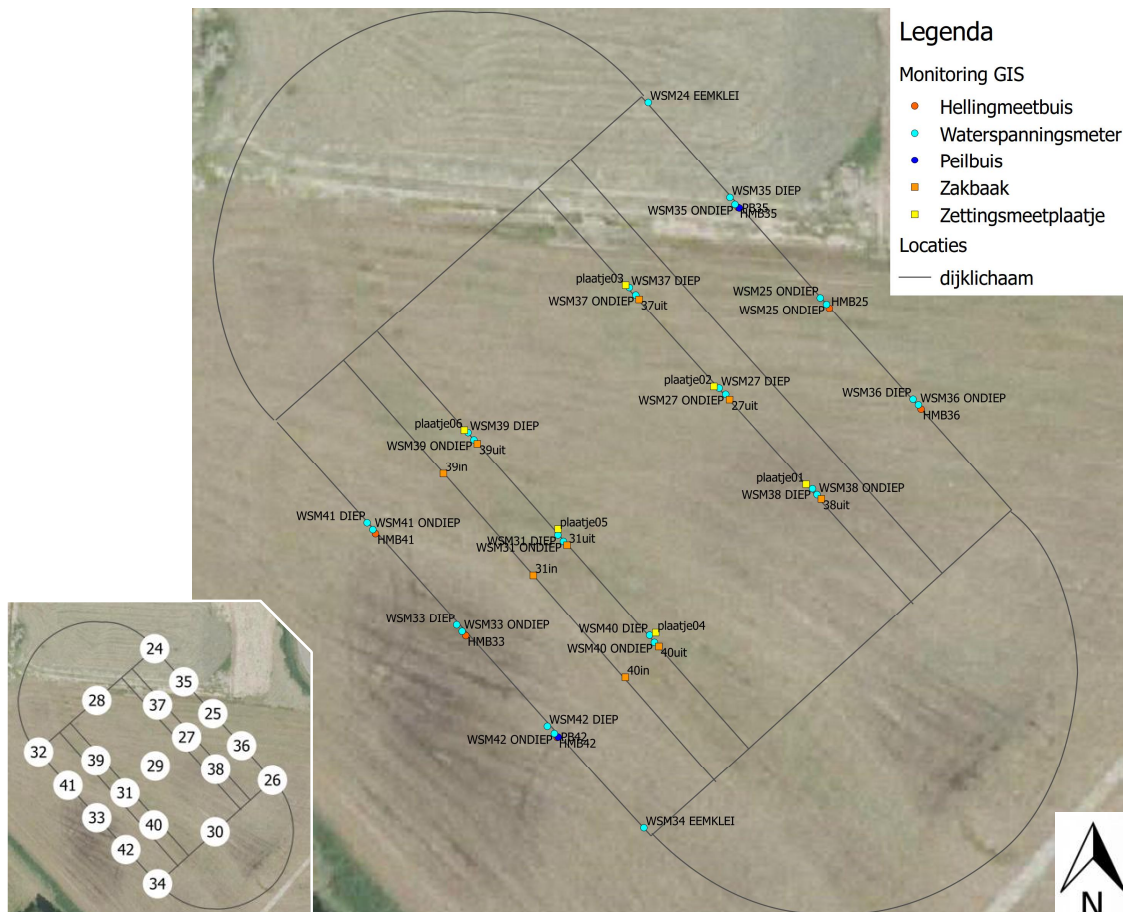
11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

- 6 locaties zettingsmetingen met zettingsmeetplaatjes (kruin).
- Waterstand Eem.

Na bepaalde ophoogslagen zijn de volgende metingen beschikbaar:

- Uitlezing van 6 Hellingmeetbuizen (teen).
- Hoogtes bovenkant buis waterspanningsmeters (kruin en teen).
- Hoogte zakbaken (kruin).
- Terreinmeting ophoging.
- Waterpeil in zakbaken.

De locatie van de meetinstrumenten is weergegeven in Figuur 3.4. Voor de verdere beschrijving van de monitoring wordt verwezen naar het factual report Aanleg (product R).



Figuur 3.4 Locatie as-buit monitoring. De omtrek van het dijklichaam is ruwweg aangegeven

3.4 Rekenmodellen

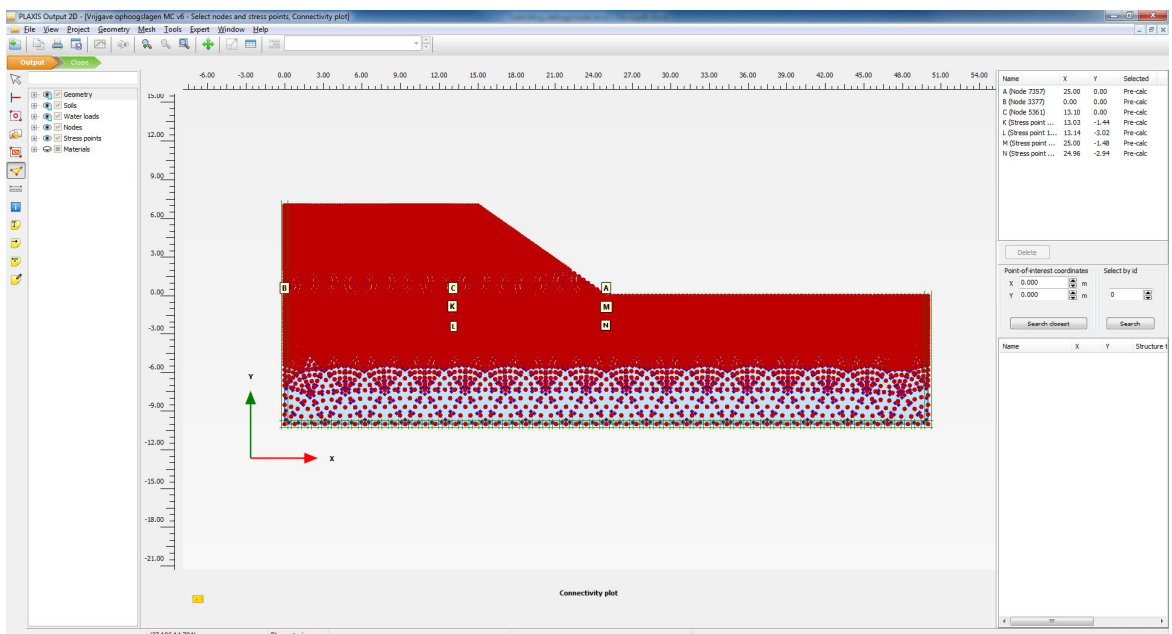
3.4.1 Welke rekenmodellen?

- 2D stabiliteit (D-GeoStability, glijvlak modellen Bishop, Uplift-Van, Spencer).
- 2D stabiliteit (PLAXIS, D-Settlement).
- Squeezing conform NEN9997_1.
- Doorposen conform NEN9997_1.

Toelichting op PLAXIS t.b.v. analyse zettingen

Ten behoeve van de OM is het gewenst een predictie model te hebben voor de hoeveelheid opgetreden en nog te verwachten zetting. Met behulp van de nog te verwachten hoeveelheid zetting kunnen de opleverniveaus van de groene en blauwe dijk worden bepaald.

- Ten behoeve van het voorlopige ontwerp van de FSP is een bovengrens benadering gemaakt voor de zettingen. Hierbij is een relatief hoge doorlatendheid gehanteerd, zodat de ondergrond relatief snel kan consolideren. Berekeningen zijn gemaakt met D-Settlement en geverifieerd met behulp van een (eenvoudig) PLAXIS-model. Voor de benodigde hoeveelheden werd een bovengrens van de zettingen geschat op 2 m.
- Tijdens de aanlegfase van de FSP is meer gedetailleerd grondonderzoek beschikbaar gekomen, daarbij zijn monitoringsresultaten (zettingen, waterspanningen) vergaard. Op basis van deze aanvullende informatie is een meer gedetailleerd PLAXIS predictie-model gemaakt voor de zettingen. Het model is opgezet voor locatie 27 (zie Figuur 3.4, midden kruin blauwe dijk). De zettingen zijn uitgelezen voor punt C (zie Figuur 3.5, locatie vergelijkbaar met de in de deze raai aanwezige zettingsmeetplaatje).



Figuur 3.5 Geselecteerde knopen en spanningspunten in meer gedetailleerd PLAXIS predictie-model

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

De gehanteerde parameters voor de slappe lagen zijn benoemd in Tabel 3.3. De slappe lagen zijn gemodelleerd met het Soft Soil Creep (SSC) model. In Figuur 3.6 wordt een indruk gegeven van de aangehouden fasering in het gedetailleerde PLAXIS predictie-model.

Identification		veen	klei
Identification number		4	5
Material model		Soft soil creep	Soft soil creep
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		RGB 224, 232, 130	RGB 127, 196, 204
Comments			
γ_{unsat}	kN/m ³	10	13
γ_{sat}	kN/m ³	10	13
λ^* (lambda*)		0.33	0.164
κ^* (kappa*)		0.09	0.028
μ^*		0.035	0.011
e_{init}		10	3
c_{ref}	kN/m ²	6	6
ϕ (phi)	°	20	20
ψ (psi)	°	0	0
v_{ur}		0.15	0.15
K_0^{nc}		0.658	0.658
M		1.11	1.16
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.989	0.989
v_u		0.495	0.495
$K_w,ref / n$	kN/m ²	1.00E+05	3.21E+05
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	2	2
Strength		Rigid	Rigid
R_{inter}		1	1
K_0 determination		Automatic	Automatic
OCR		1	1
POP	kN/m ²	9	17
k_x	m/day	5.00E-03	1.30E-03
k_y	m/day	5.00E-03	1.30E-03
e_{init}		10	3
c_k		2.4	0.6

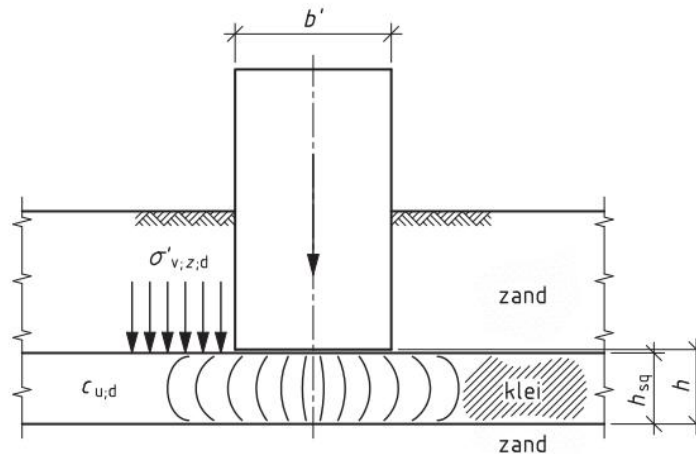
Tabel 3.3 Gehanteerde parameters voor de slappe lagen

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

ID	Calculation type	Loading type (D)	Pore pressure calculation type	Ignore undr. behaviour (A,B) (D)	Ignore suction (D)	Reset displacements to zero (D)	Use default iter parameters (D)	Updated mesh (D)	Updated water pressure (D)	Time interval	Tolerated error (D)	Reached local time (E)
Initial [InitialPhase]	K0 procedure	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000 day	0.01000	0.000 day
slag 1 aanbrengen - 1 dag T = 1 [Phase_13]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	1.000 day
slag 1 - 16 dagen - T = 16 [Phase_1]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15.00 day	0.01000	16.00 day
slag 2 aanbrengen - 1 dag T = 17 [Phase_14]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	17.00 day
slag 2 - 21 dagen - T = 37 [Phase_2]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	37.00 day
slag 3 aanbrengen - 1 dag T = 38 [Phase_15]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	38.00 day
slag 3 - 34 dagen - T = 71 dagen [Phase_3]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33.00 day	0.01000	71.00 day
slag 4 aanbrengen - 1 dag T = 72 [Phase_16]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	72.00 day
slag 4 - 31 dagen - T = 102 [Phase_4]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	102.0 day
slag 5 aanbrengen - 1 dag T = 103 [Phase_17]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	103.0 day
slag 5 - 15 dagen - T = 117 [Phase_5]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14.00 day	0.01000	117.0 day
slag 6 aanbrengen - 1 dag T = 118 [Phase_18]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	118.0 day
slag 6 - 21 dagen - T = 138 [Phase_6]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	138.0 day
slag 7 aanbrengen - 1 dag T = 139 [Phase_19]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	139.0 day
slag 7 - 21 dagen - T = 159 [Phase_7]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	159.0 day
slag 8 aanbrengen - 1 dag T = 160 [Phase_20]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	160.0 day
slag 8 - 21 dagen - T = 180 [Phase_8]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	180.0 day
slag 9 aanbrengen - 1 dag T = 181 [Phase_21]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	181.0 day
slag 9 - 21 dagen - T = 201 [Phase_9]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	201.0 day
slag 10 aanbrengen - 1 dag T = 202 [Phase_22]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	202.0 day
slag 10 - 21 dagen - T = 222 [Phase_10]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00 day	0.01000	222.0 day
slag 11 aanbrengen - 1 dag T = 223 [Phase_23]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000 day	0.01000	223.0 day
60 dagen consolidatie tot start proef [Phase_12]	Consolidation	Staged construction	Phreatic	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60.00 day	0.01000	283.0 day

Figuur 3.6 Gehanteerde fasering in gedetailleerd PLAXIS predictie-model (noot: de hier gehanteerde fasering is niet exact gelijk aan de werkelijk gerealiseerde fasering)

Toelichting op rekenmodel squeezing



Figuur 6.h — Zijdelings wegpersen van grond onder de fundering (squeezen)

waarbij:

— in geval van een strookvormige fundering met een verhouding $l'/b' \geq 10$:

$$\sigma'_{sq;d} = \left((\pi + 1) + \frac{b'}{2 \times h_{sq}} \right) \times c_{u;d} + \sigma'_{v,z;d}$$

Formule voor vierkante of ronde fundering is gunstiger

waarin:

- R_d is de rekenwaarde van de component van de draagkracht loodrecht op het funderingsoppervlak, in kN;
- $\sigma'_{sq;d}$ is de rekenwaarde voor de effectieve grondspanning aan de bovenzijde van de cohesieve laag waarbij zijdelings wegpersen optreedt, in kPa;
- A' is het effectieve funderingsoppervlak, bepaald volgens 6.5.2.2(b), in m²;
- $\sigma'_{v,z;d}$ is de rekenwaarde van de effectieve verticale spanning in een punt op diepte z, bepaald volgens 6.5.2.2(g), in kPa. De diepte z is de bovenkant van de cohesieve laag;
- $c_{u;d}$ is de rekenwaarde voor de ongedraineerde schuifsterkte van de cohesieve laag, bepaald volgens 3.1, in kPa;
- b' is de effectieve funderingsbreedte, bepaald volgens 6.5.2.2(b), in m; voor een cirkelvormige fundering geldt dat de diameter van de fundering gelijk is aan 1,13 maal de effectieve funderingsbreedte b;
- h_{sq} is de dikte van de cohesieve laag, in m.

3.4.2 Uitgangspunten

Als uitgangspunt voor de sterkte wordt de ongedraineerde sterkte (critical state: CSSM) volgens SHANSEP methode genomen. Deze sterkte kan bepaald zijn met laboratoriumonderzoek, of via een correlatie met de conusweerstand. De volgende informatie is beschikbaar of komt beschikbaar gedurende het project.

Beschikbaar vooraf:

- Klasse 1 en klasse 2 sonderingen.
- Nkt factor Maatpolder.

Gedurende het project:

- Laboratorium resultaten (DSS, K0CRS, pg, Nkt, S, m).
- Nkt factor Full Scale proef.
- Aanvullend grondonderzoek na ophoogslagen.

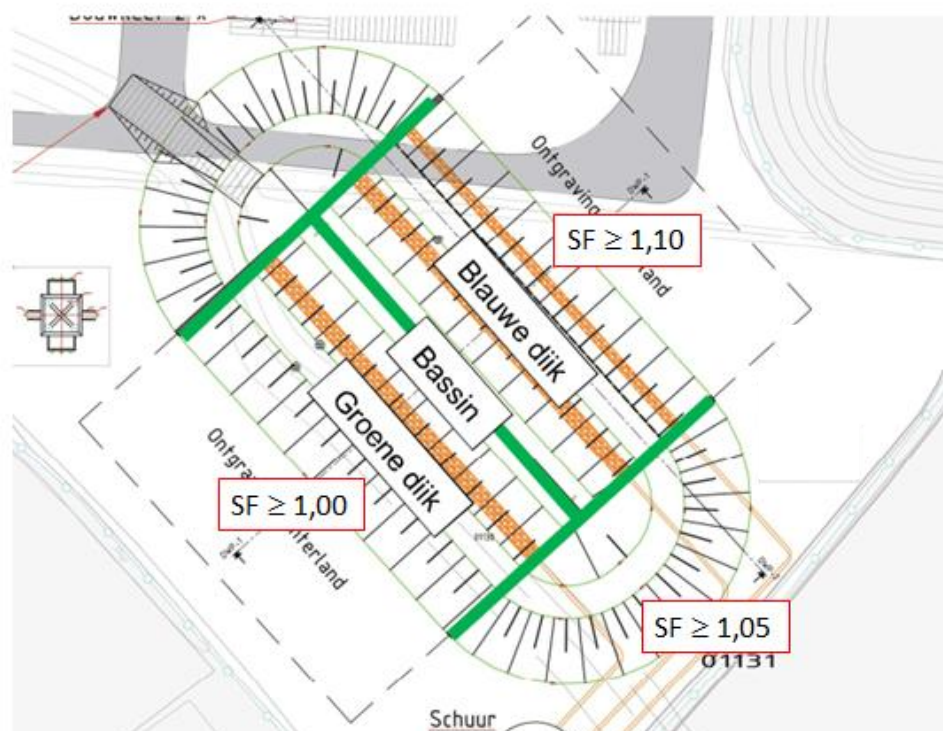
Als belasting op het dijklichaam wordt het zand van de ophoogslag en van het materieel (rupskraan) als uitgangspunt genomen.

3.4.3 Toetscriteria

Voor 2D stabiliteitsommen wordt een stabiliteitsfactor $>1,1$ bij gemiddelde waarden voor de sterkte voldoende geacht om door te gaan met het de ophoofasering.

Dit toetscriteria is aangescherpt na ophoogslag 3. De toetscriteria zijn als volgt aangescherpt, zie Figuur 3.7:

- Groene dijk: $SF > 1,0$.
- Kopse kanten $SF > 1,05$ (de kopse kanten liggen er gemiddeld 0,50m hoger bij dan de proefdijken).
- Blauwe dijk: $SF > 1,10$.



Figuur 3.7 Aangepaste criteria voor de ophoofasering.

3.5 Proces vrijgave

Qua proces is het volgende binnen het projectteam afgesproken:

- Mark K. legt binnen PRODUCT R1 al metingen vast.
- Huub stuurt meest actuele grondsterkte uit labonderzoek naar Mark K.
- Mark K. vat alle metingen in beknopte (standaard) memo samen, waarin ook gezamenlijke berekeningsuitgangspunten (bv welke onzekerheden wel/niet, kraanbelasting, criteria stabiliteit) zijn opgenomen.
- Mark K. voert D-serie uit, Mark P. voert PLAXIS berekeningen en handberekeningen squeezing/doorponen uit.
- Mark K. vat gezamenlijke conclusies samen in email.
- Gezamenlijk bespreken en aanscherpen van email (o.b.v. resultaten) met Dennis/Huub/Arny.
- Joost stuurt email naar aannemer grondwerk (Liebregts) voor vrijgave terrein met Dennis/Huub/Arny in cc.
 - Chris Vosters (uitvoerder): c.vosters@fl-liebregts.nl, 06 23 00 89 16.
 - Kees Groeneveld (projectmanager): k.groeneveld@fl-liebregts.nl, 06 31 67 49 75.

4 Vrijgave terrein voor ophoogslag 1

4.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte initieel maaiveld	-0,10 [m NAP]	profielmeting na afgraven
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	7 [kPa]	Nkt Maatpolder, LKMP25
ongedraineerde sterkte veenlaag	7-15 [kPa]	Nkt Maatpolder, LKMP25
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,75 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag	-0,75 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag	-0,75 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,50 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,40 [m NAP]	

Tabel 4.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

4.2 Samenvatting resultaten analyses

4.2.1 Stabiliteit

Macrostabieleit bij ophoging 1 meter zand en 1 meter afdekklei. Zie Bijlage B.1.
SF = 2,11.

4.2.2 Zettingen

Niet beschouwd, omdat de invloed op dit moment beperkt wordt geacht.

4.2.3 Doorponen

Niet beschouwd, omdat de invloed op dit moment beperkt wordt geacht.

4.2.4 Squeezing

Niet beschouwd, omdat de invloed op dit moment beperkt wordt geacht.

4.3 Conclusies

Stabiliteit gewaarborgd. Ophoogslag 1 (1,0 meter ophoging) vrijgeven.

5 Vrijgave terrein voor ophoogslag 2

5.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+0,85 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	7 [kPa]	Initiële sterkte
ongedraineerde sterkte veenlaag	7-15 [kPa]	Initiële sterkte
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,75 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag	+1,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag	+1,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,4 [m NAP]	
zetting	0,10 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 5.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl referentie) tbv uitgangspunten

5.2 Samenvatting resultaten analyses

5.2.1 Stabiliteit

Conform Bijlage B.2 macrostabiliteit bij een extra ophoging van 1 meter zand en 1 meter afdekklei:

SF = 1,28.

Modellering met grensspanning:

SF = 1,34.

5.2.2 Zettingen

Niet beschouwd, omdat de invloed op dit moment beperkt wordt geacht.

5.2.3 Doorponsen

Doorponsen zal geen maatgevend mechanisme zijn in dit geval, omdat het alleen relevant is bij meenemen van veel hogere sterkte deklaag. Dat is in dit geval niet gedaan.

5.2.4 Squeezing

Uit de handberekening volgt dat squeeze net maatgevend zou kunnen zijn. In een PLAXIS berekening lijken de vervormingen en mate van plasticiteit nog acceptabel.

5.3 Conclusies

Stabiliteit gewaarborgd. Slag 2 van een ophoging van 1 meter zand vrijgeven.

6 Vrijgave terrein voor ophoogslag 3

6.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+1,75 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	8 – 6,5 [kPa]	Initiële sterkte LKMP25
ongedraineerde sterkte slappe kleilaag	8 – 3 [kPa]	Initiële sterkte LKMP42
ongedraineerde sterkte veenlaag	7-15 [kPa]	Initiële sterkte LKMP25
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,75 [m NAP]	Zakbaak peilbuis +0,5m NAP niet in berekening
waterspanning kleilaag	+1,2 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag	+1,2 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,4 [m NAP]	
Zetting groen	0,10 [m]	Zettingsmeetplaatjes
Zetting blauw	0,30 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 6.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

- 6.1.1 Waterspanningsmetingen cohesieve laag
Na de tweede ophoogslag zijn de waterspanningen verder toegenomen. De afbouw van waterspanningen is beperkter. Vooral de blauwe dijk laat een grote toename in waterspanning na ophoging zien (bijna 100% van de ophoging wordt door de waterspanning opgenomen). Voor de groene dijk is dit minder (60%).
- 6.1.2 Waterspanningsmetingen watervoerende zandlaag
De stijghoogte in de watervoerende zandlaag wordt beïnvloed door de ophoging, omdat het water afstroomt naar de onderliggende zandlaag. De toename is beperkt, <20cm.
- 6.1.3 Hellingmeetbuismetingen
De hellingmeetbuis op locatie 33 laat een uitbuiking (van 10 cm) zien, op een diepte van -2,0 tot -2,5m+NAP. Dit is afwijkend ten opzichte van de andere hellingmeetbuizen, wat duidt op een wegpersing van lokaal slappere grond.

6.2 Samenvatting resultaten analyses

6.2.1 Stabiliteit

Er zijn conform Bijlage B.3 een aantal gevoeligheidssommen gemaakt:

- Uitgangssituatie met sterkte (su) uit sondering 25 (representatief).
- Sterkte uit lokaal slechtste sondering 42.
- Sterkte uit lokaal slechtste sondering 42, met een minimaal geachte aanwezigheid van 5kPa schuifsterkte.

	2,5 meter zand (huidige situatie)	2,5 meter zand + afdekklei
Su uit sondering 25	1,19	1,12
Su uit sondering 42 (verlopend van 8 tot 3 kPa)	0,99	0,97
Su uit sondering 42, (verlopend van 8 tot 5 kPa	1,12	1,07

6.2.2 Zettingen

Niet beschouwd.

6.2.3 Doorponsen

Niet beschouwd.

6.2.4 Squeezing

Niet beschouwd.

6.3 Conclusies

Op basis van de huidige kennis over de ondergrond (uit labonderzoek en veldmetingen) en een aantal rekenkundige beschouwingen van de stabiliteit en sterkte van de ophoging concluderen wij dat het nog niet verantwoord is om het terrein nu al vrij te geven voor een derde ophoogslag van 1 m. Zeker niet als wij ook meenemen dat er bovenaan het talud van de ophoging een kraan staat. Vandaar de volgende opmerkingen:

- We achten het op dit moment wel verantwoord om vanaf maandag 17 juli een derde ophoogslag van 0,5 m zand langs de taludranden aan te brengen.
- Gezien de sterkte en stabiliteit van de huidige ophoging kunnen we het terrein nog niet vrijgeven om ook de bijbehorende kleibekleding met een dikte van 0,5 m aan te brengen.
- De overige delen (middenterrein en kopse kanten) kunnen met 1 m worden opgehoogd. Er is hiervoor geen expliciete berekening gemaakt, maar o.b.v. de resultaten voor de maatgevende snede langs rand is ingeschat dat als de stoorlaag (lage schuifsterkte) niet aanwezig is, dat dan 1 m ophogen acceptabel is.

Na het opbrengen van totaal 2,5 meter zand, worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- De 2,5 meter zand op de taluds en 3 meter zand op het middenterrein en de kopse kanten zijn stabiel.
- Het verschil in stabiliteit met en zonder de aanbreng van kleibekleding is klein (geringe achteruitgang van de stabiliteit: 1,12 versus 1,07).



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

- Gegeven het bovenstaande, wordt het verantwoord geacht om de kleibekleding aan te brengen tot het niveau van het zand op de testdijken (dus tot 2,5 m ophoging).

7 Vrijgave terrein voor ophoogslag 4

7.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+2,20 [m NAP]	profielmeting
hoogte kopse kanten	+2,70 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	10 [kPa]	Laboratoriumonderzoek.
ongedraineerde sterkte slappe kleilaag	10 [kPa]	Aanpassingspercentage
ongedraineerde sterkte veenlaag	14 [kPa]	40-50% van ca 2.5*17kPa.
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,75 [m NAP]	Zakbaak peilbuis +0,5m NAP niet in berekening
waterspanning kleilaag (blauw)	+2,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (blauw)	+2,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag (groen)	+1,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (groen)	+1,6 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,4 [m NAP]	
Zetting groen	0,20 [m]	Zettingsmeetplaatjes
Zetting blauw	0,50 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 7.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

7.1.1 Opbolling freatisch peil in ophoging

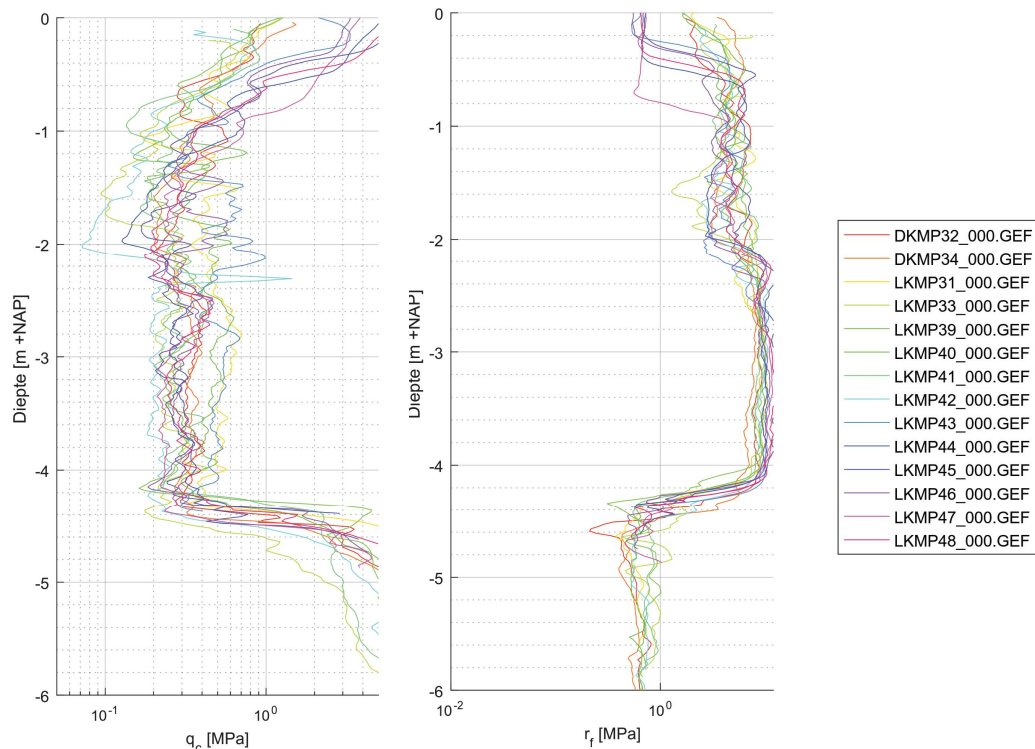
Uit peilbuismetingen in de zakbaken, volgt dat het freatisch niveau in de zandterp wat gezakt is. Er is ook een verschil tussen de groene en blauwe dijk: het niveau in de groene dijk is hoger. Dit betekent in ieder geval dat de compartimentering met kleikoffers werkt. De verhoging blijft beperkt en nemen we niet mee in de berekeningen.

7.1.2 Tussentijdse sonderingen

De aanvullende sonderingen t.p.v. het talud aan de groene kant in Figuur 7.1 bevestigen het idee dat de slappe klei niet onder het gehele talud aanwezig is. Enkel sondering 44 laat op -2,0m+NAP nog een kleine teruggang in de sondeerweerstand zien (0.13MPa, vergelijkbaar met sondering 25). De teruggang wordt niet in sondering 47 gevonden.

Op de luchtfoto van 2016 is een natte plek zichtbaar (zie Figuur 7.2). Vermoedelijk is dit ongeveer de locatie waar de slappe klei zit. Opmerking: mogelijk is de grond ter plaatse van de zuidelijk kopterp ook minder sterk vergeleken met de andere locaties, omdat hier ook een wat nattere plek zichtbaar is. Op basis hiervan wordt aangenomen dat de slappe plek onder het talud aanwezig is tot een afstand van circa 5,5 meter ten opzichte van de binnenteen.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

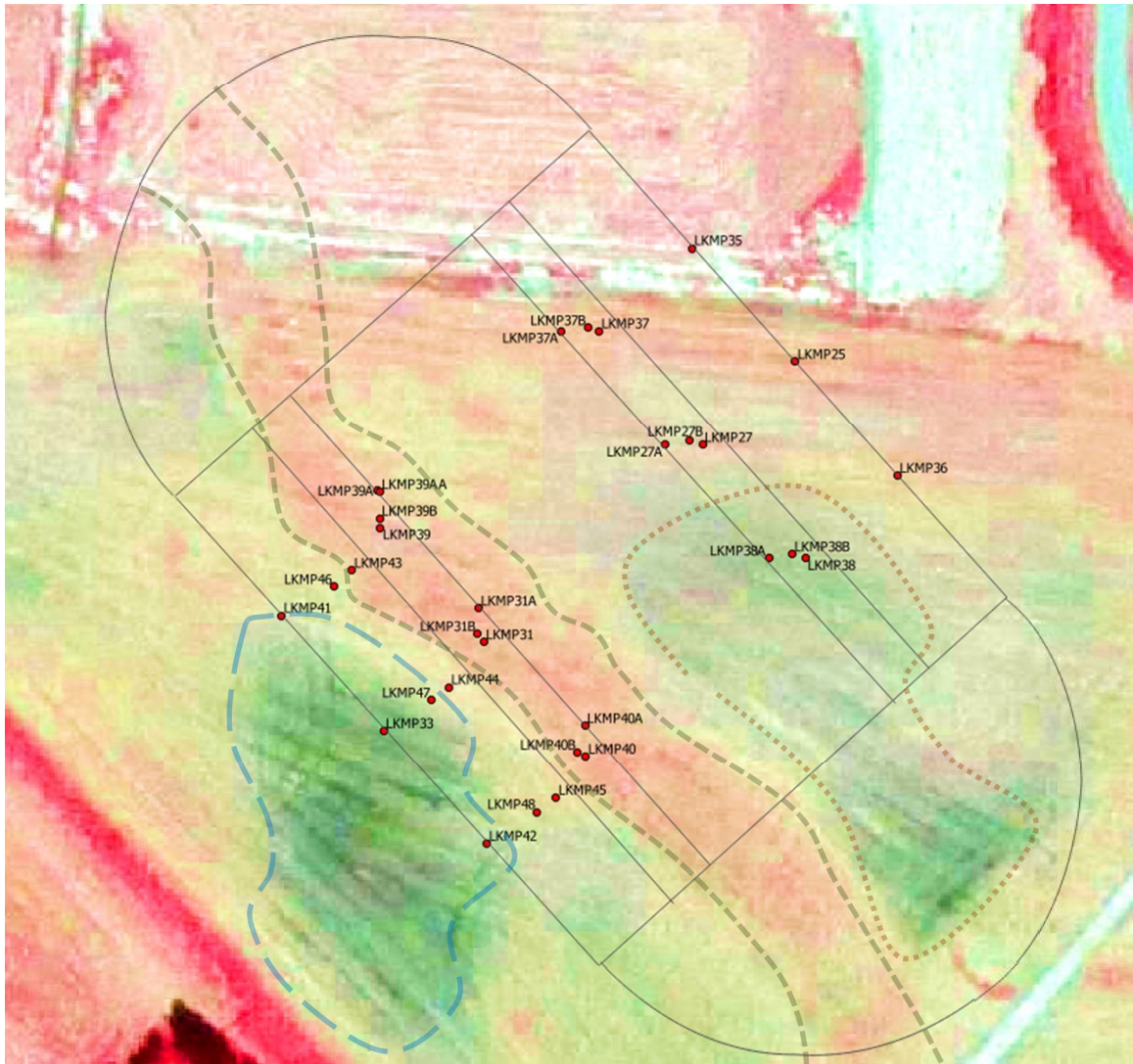


Figuur 7.1 Aanvullende sonderingen t.b.v. talud groene proefdijk

Door het projectteam is 20 juli een aantal aanvullende hand torvane testen gemaakt naar aanleiding van vrijgave slag 3. Bij talud groene dijk (aan Eemzijde van oude zomerkade) lijkt een slappe (organische) kleilaag voor te komen. De sterkte van deze laag is nu bepalend in de uitvoeringsstabiliteit, terwijl de tot nu toe beschikbare informatie tegenstrijdig lijkt:

- Sonderingen en (weinig) labtesten tot zover suggereren lage sterktes in deze laag, s_u initieel is in de range van 3-5 kPa.
- Eerder gemaakte field vane testen (woensdag 19 juli 2017) suggereren veel hogere s_u waarden, range 15-30 kPa.

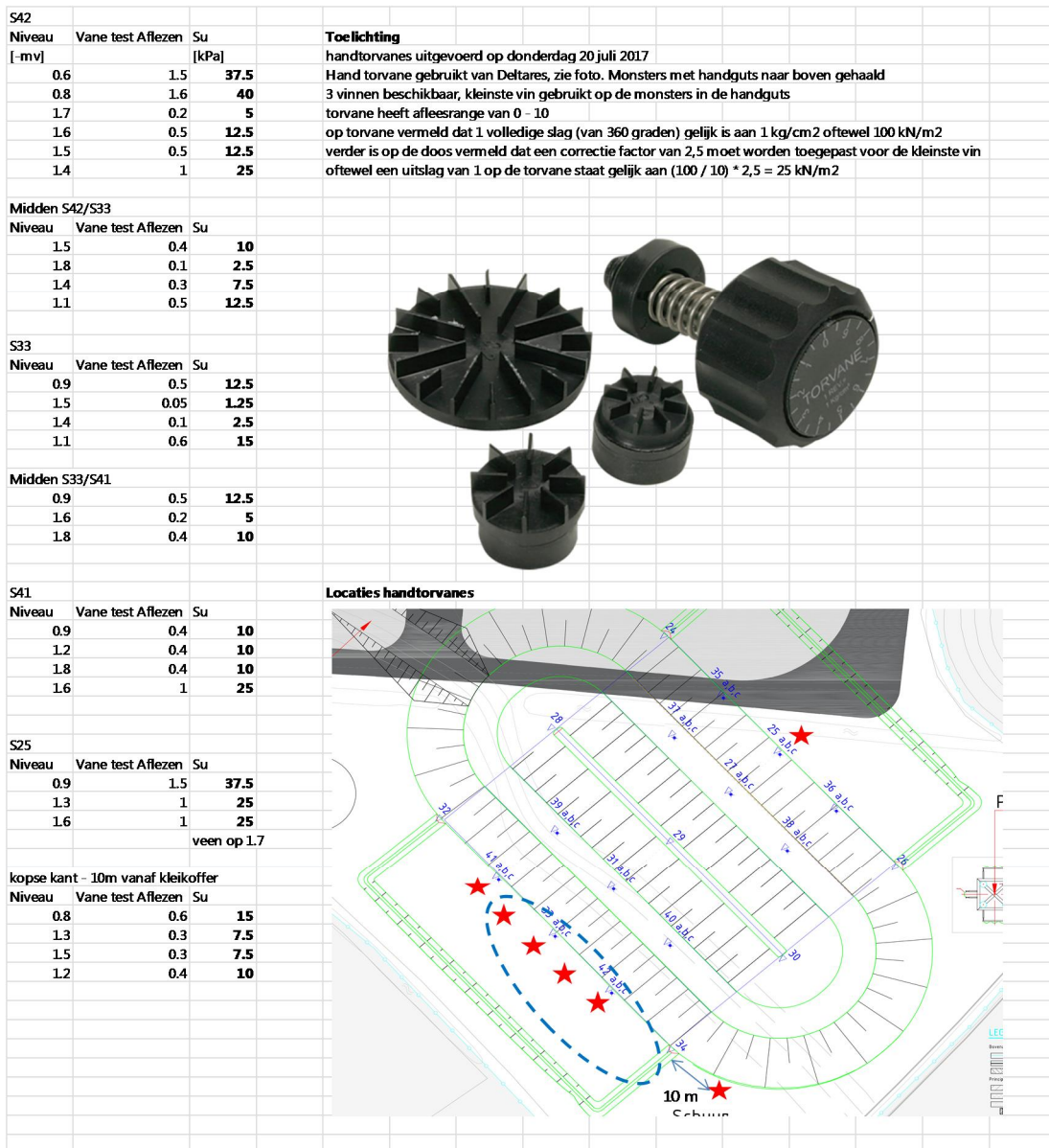
Vermoeden bestaat dat de field vane testen te hoge waarden geven, waarom is voor nu onbekend. Om meer inzicht te krijgen zijn de hand torvanes uitgevoerd. Resultaten zijn hieronder in Figuur 7.3 weergegeven.



Figuur 7.2 Blauw omlijnd de natte plek ter plaatse van de groene dijk. In groen de plaats van het voorbelaste gedeelte door een oude kade. In bruin gestippeld een andere natte plek op het terrein. Infrarood Satellietbeeld <http://www.pdok.nl>

In Figuur 7.3 is rechts onderin m.b.v. een blauwe gestippelde lijn het gebied geschetst waar su waarden kleiner dan of gelijk aan 5 kPa zijn gevonden. De laag waarin deze waarden zijn gevonden komt voor op ca. mv -1,5 a -2 m en lijkt een ondergeconsolideerde kleilaag met veel (nog niet vergane) planten(riet)resten. Mogelijkheid is dat buitendijks van de oude zomerkade een plas ("draak") heeft gelegen waar deze laag in combinatie met riet is afgezet.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

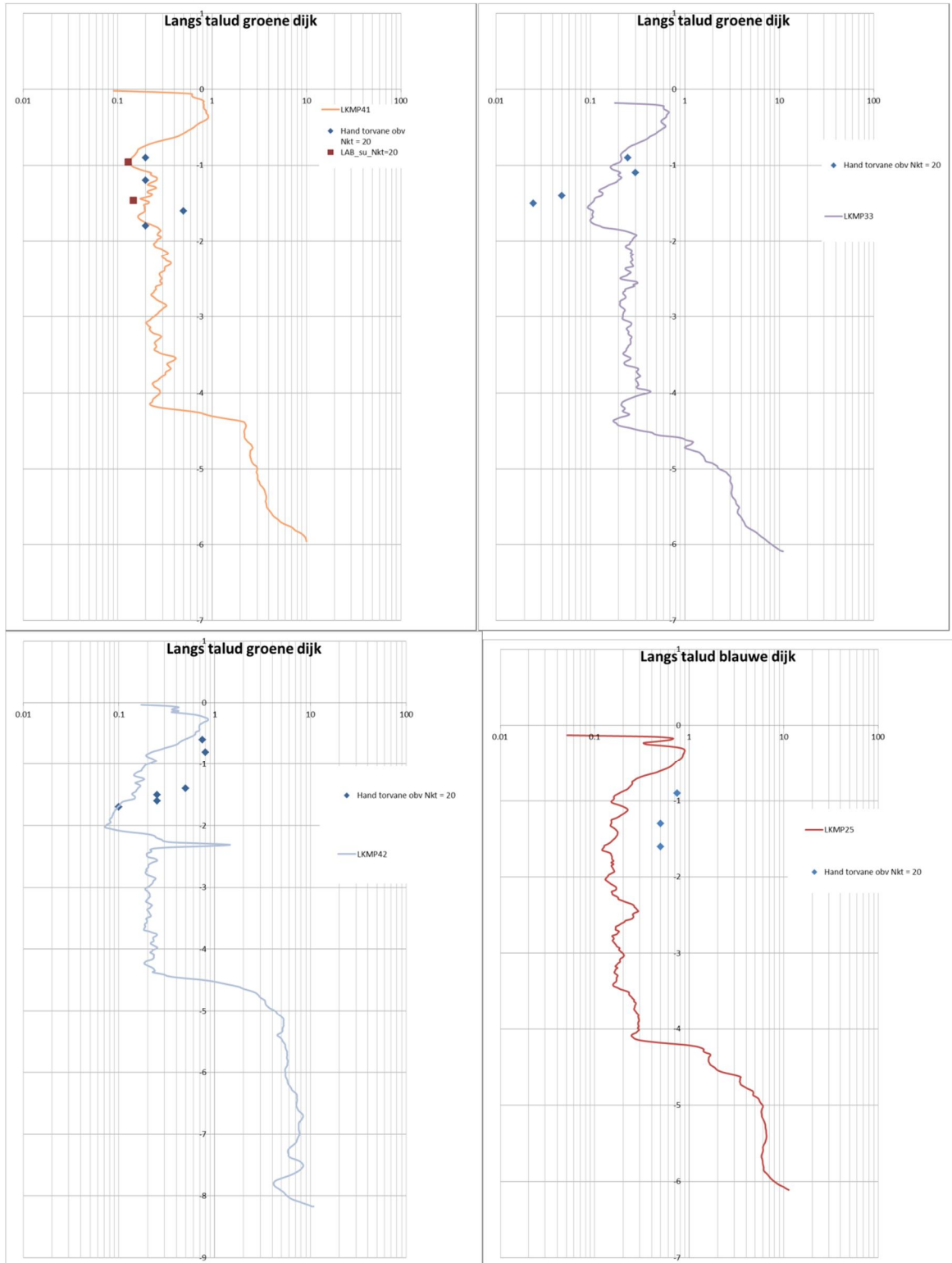


Figuur 7.3 Resultaten hand torvane

De gevonden hand torvane waarden zijn in Figuur 7.4 geplot in de klasse 1 sonderingen (uitgaande van een Nkt = 20) alsmede de nu beschikbare resultaten voor de kleisterkte (1 DSS en 1 TRX op B41).

Er kan niet veel waarde worden gehecht aan de exacte waarde uit de hand torvane. Echter de orde grootte van de getallen wordt als realistisch ervaren en is in lijn met de klasse 1 sonderingen en de tot nu toe verkregen lab resultaten. Ook naar aanleiding van de visuele beschouwing van de met de guts gestoken monsters lijkt de orde grootte realistisch. Hiermee wordt geconcludeerd dat de absolute grootte van de field vane resultaten niet realistisch is, in (onderling) relatieve zin geven de field vanes wel een indicatie van (relatieve) sterkte.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



Figuur 7.4 Geïnterpreteerde hand torvane waarden geplot in klasse 1 sonderingen

7.2 Samenvatting resultaten analyses

7.2.1 Stabiliteit

Uit de stabiliteitsberekeningen volgen conform Bijlage B.4 de volgende stabiliteitsfactoren voor een ophoging van 0,5m tot NAP+2,70m en NAP+3,20m voor de kopse kanten.

	SF
Blauwe dijk (NAP+2,70m)	1,23
Groene dijk (NAP+2,700m)	1,10
Kopterp (NAP+3,20m)	1,14

7.2.2 Zettingen

Niet nader beschouwd.

7.2.3 Doorponsen

Niet nader beschouwd.

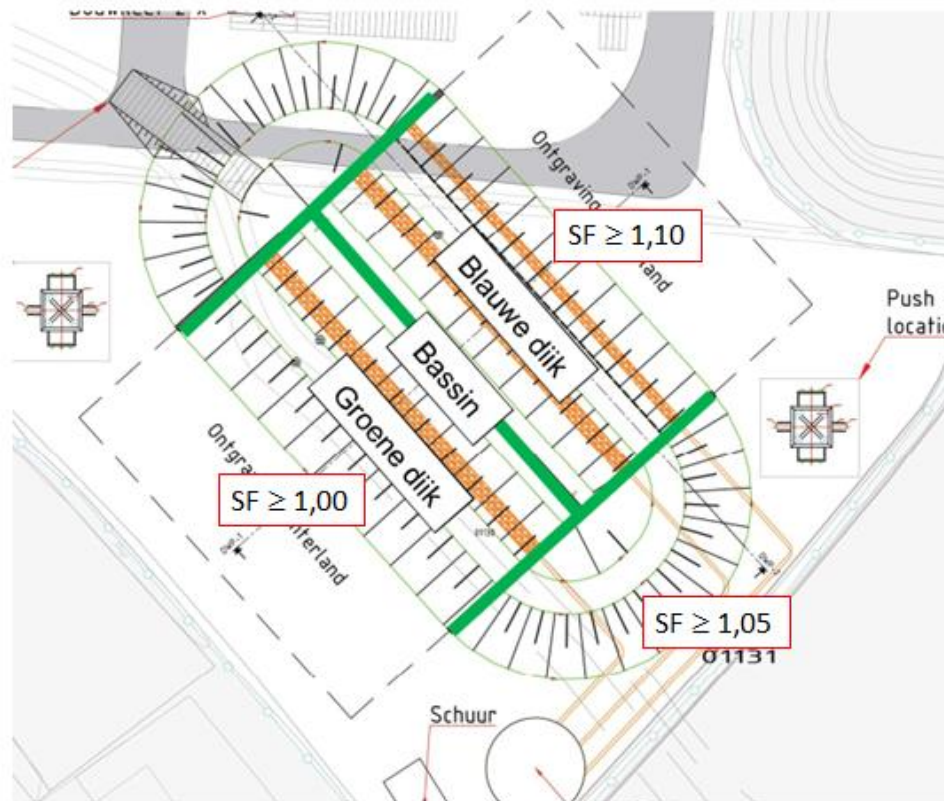
7.2.4 Squeezing

Niet nader beschouwd.

7.3 Conclusies

Op basis van de analyse resultaten (Bijlage B.4) is besloten om de ophoogfasering aan te passen en de aanpak te verscherpen. De achtergronden worden besproken in Deltares memo 11200956-012-GEO-0001-m (zie Bijlage C). De verscherpte aanpak leidt tot de volgende eisen voor stabiliteit.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



De berekende stabiliteitsfactoren voldoen aan het gestelde (aangescherpte) criterium, zodat de ophoogslag van 0,50m tot NAP+2,70 en NAP+3,20m voor het middenterrein en de kopse kanten kan worden vrijgegeven.

8 Vrijgave terrein voor ophoogslag 5

8.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+2,70 [m NAP]	profielmeting
hoogte kopse kanten	+3,20 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	16 [kPa]	Laboratoriumonderzoek.
ongedraineerde sterkte slappe kleilaag	12 [kPa]	Aanpassingspercentage
ongedraineerde sterkte veenlaag	22 [kPa]	45-55% van ca 3.0*17kPa.
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,75 [m NAP]	Zakbaak peilbuis +0,3m NAP niet in berekening
waterspanning kleilaag (blauw)	+2,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (blauw)	+2,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag (groen)	+1,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (groen)	+2,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,2 [m NAP]	
Zetting groen	0,7 [m]	Zettingsmeetplaatjes
Zetting blauw	0,3 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 8.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

8.2 Samenvatting resultaten analyses

8.2.1 Stabiliteit

Conform de resultaten in Bijlage B.5 geldt:

	SF	Criterium
Blauwe dijk (NAP + 3,20 m)	1,25	>1,10 OK
Groene dijk (NAP + 3,20 m)	1,08	>1,00 OK
Kopterp (NAP + 3,70 m)	n/a	>1,05 OK

8.2.2 Zettingen

Niet nader beschouwd.

8.2.3 Doorponsen

Niet nader beschouwd.

8.2.4 Squeezing

Niet nader beschouwd.

8.3 Conclusies

De berekende stabiliteitsfactoren voldoen aan het gestelde aangescherpte eisen, zodat de ophoogslag van 0,50m tot NAP+3,20 voor de taluds en NAP+3,70m voor het middenterrein en de kopse kanten kan worden vrijgegeven.

	SF	Criterium
Blauwe dijk (NAP+3,20m)	1,25	>1,10 OK
Groene dijk (NAP+3,20m)	1,08	>1,00 OK
Kopterp (NAP+3,70m)	n/a	>1,05 OK

8.4 Aanbevelingen

Gezien er een verhoogde waterstand is waargenomen op de Eem, en het winterseizoen (stormseizoen) gaat beginnen, is het verstandig om het effect van een hogere waterstand en dus hogere stijghoogte in de watervoerende laag te beoordelen.

9 Vrijgave terrein voor ophoogslag 6

9.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+3,20 [m NAP]	profielmeting
hoogte kopse kanten	+3,70 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	18 [kPa]	concept interpretatie
ongedraineerde sterkte slappe kleilaag	16 [kPa]	laboratoriumonderzoek ⁸
ongedraineerde sterkte veenlaag	24 [kPa]	Aanpassingspercentage 45-55% van ca 3.5*17kPa.
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,75 [m NAP]	Zakbaak peilbuis +0,3m NAP niet in berekening
waterspanning kleilaag (blauw)	+3,25 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (blauw)	+3,25 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag (groen)	+1,75 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (groen)	+2,75 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,4 [m NAP]	
Zetting groen	0,8 [m]	Zettingsmeetplaatjes
Zetting blauw	0,4 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 9.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

9.1.1 Waterspanningsmetingen cohesieve laag

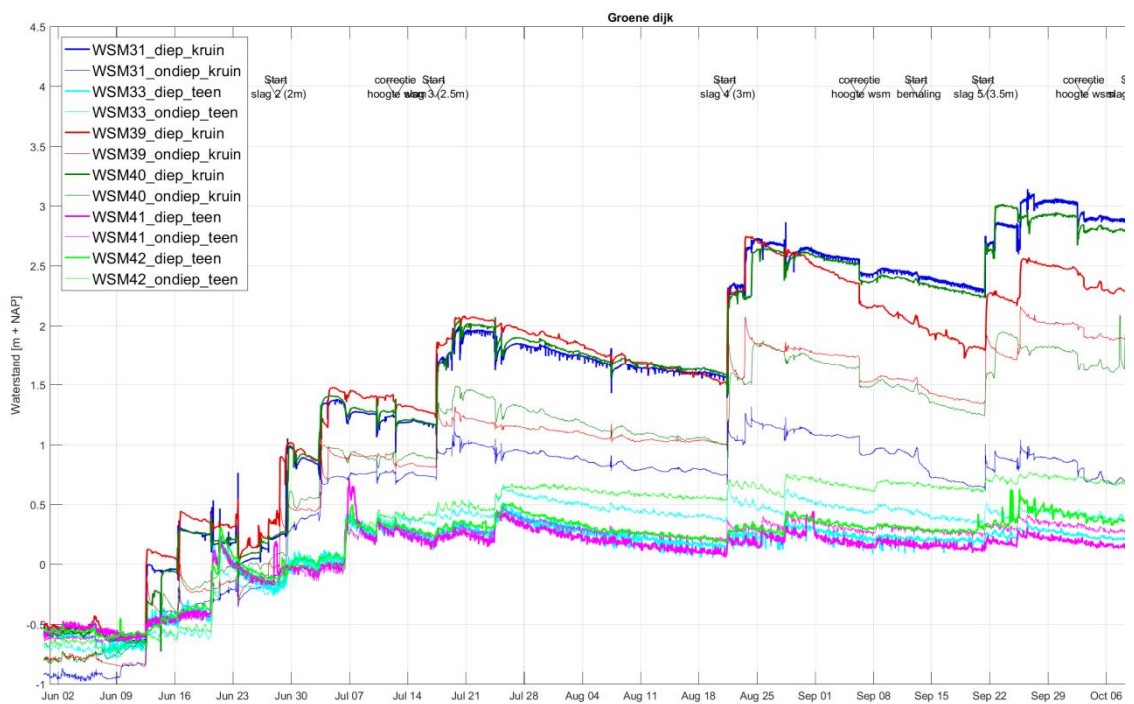
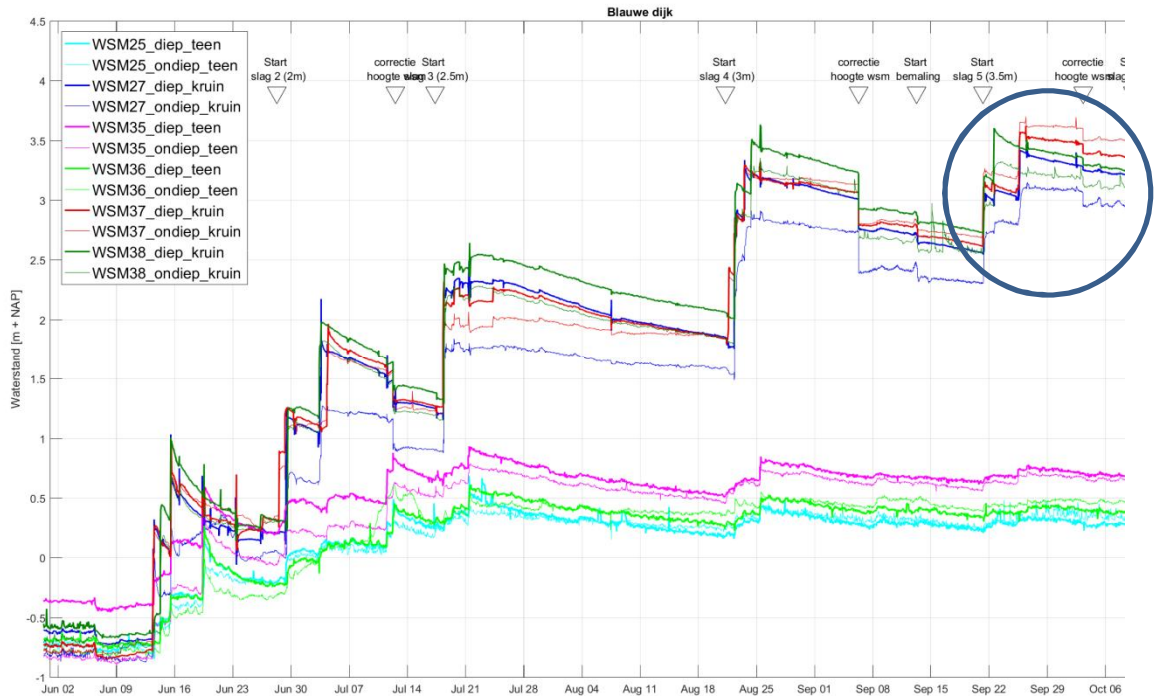
Van de het opgebrachte gewicht is initieel bijna 100% in een toename van de waterspanning gaan zitten. Na 2,5 weken consolideren is een gedeelte al geconsolideerd.

Het aansluiten van de pomp lijkt te leiden tot een iets snellere afname van wateroverspanningen aan het begin van de ophoogslag, te zien in de blauwe cirkel.

Doordat de bovenkant van de terp steeds smaller wordt, is de toename in waterspanning ter plaatse van de binnenteen steeds beperkter.

⁸ "POVM Eemdijkproef – Geotechnisch basisrapport, Product F4", projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-006-GEO-0004-gbh, versie concept, oktober 2017;

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



9.2 Samenvatting resultaten analyses

9.2.1 Stabiliteit

Met de beschreven uitgangspunten zijn conform Bijlage B.6 voor de volgende stabiliteitsfactoren berekend voor een ophoogslag van 50 centimeter tot NAP + 3,70 voor de taluds en het middenterrein en voor de kopterpen tot NAP + 4,20.

	SF
Blauwe dijk (NAP + 3,70 m)	1,10
Groene dijk (NAP + 3,70 m)	1,11
Kopterp(NAP + 4,20 m)	1,09

9.2.2 Zettingen

Niet nader beschouwd.

9.2.3 Doorponsen

Niet nader beschouwd.

9.2.4 Squeezing

Niet nader beschouwd.

9.3 Conclusies

De berekende stabiliteitsfactoren voldoen aan het gestelde aangescherpte eisen, zodat de ophoogslag van 0,50m tot NAP+3,70 voor de taluds en het middenterrein en NAP+4,20m voor en de kopse kanten kan worden vrijgegeven. Aangezien het middenterrein al op NAP+3,7m ligt, wordt hier dus niet extra opgehoogd. Op deze plaats moet later het waterbassin komen.

	SF	Criterium
Blauwe dijk (NAP + 3,70 m)	1,10	>1,10 OK
Groene dijk (NAP + 3,70 m)	1,11	>1,00 OK
Kopterp(NAP + 4,20 m)	1,09	>1,05 OK

Verder blijkt uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat een hoogwater op de Eem (met bijbehorende toename in de stijghoogte in het diepe zand) leidt tot een afname in de SF van ongeveer 0,05. Dit zal geen invloed hebben op de ophoogfasering.

10 Vrijgave terrein voor ophoogslag 7

10.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+3,70 [m NAP]	profielmeting
hoogte kopse kanten	+4,20 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	20 [kPa]	concept interpretatie
ongedraineerde sterkte slappe kleilaag	18 [kPa]	laboratoriumonderzoek ⁹
ongedraineerde sterkte veenlaag	27 [kPa]	Aanpassingspercentage 45-60% van ca 4*17kPa.
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,50 [m NAP]	Zakbaak peilbuis +0,3m NAP niet in berekening
waterspanning kleilaag (blauw)	+3,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (blauw)	+3,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag (groen)	+2,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (groen)	+3,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,4 [m NAP]	
Zetting groen	0,8 [m]	Zettingsmeetplaatjes
Zetting blauw	0,4 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 10.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

10.1.1 Waterspanningsmetingen cohesieve laag

De toename in waterspanning ten gevolge van het aanbrengen van slag 6 heeft tot een relatief kleine instantane wateroverspanning geleid. Een mogelijke verklaring is dat het middenterrein niet is opgehoogd, waardoor (door spanningsspreiding) de toename van wateroverspanningen niet 100% is.

10.2 Samenvatting resultaten analyses

10.2.1 Stabiliteit

Met de beschreven uitgangspunten zijn conform Bijlage B.7 voor de volgende stabiliteitsfactoren berekend voor een ophoogslag van 50 centimeter tot NAP + 4,20 voor de taluds en het middenterrein en voor de kopterpen tot NAP + 4,70.

⁹ "POVM Eemdijkproef – Geotechnisch basisrapport, Product F4", projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-006-GEO-0004-gbh, versie concept, oktober 2017;

	SF
Blauwe dijk	1,14
Groene dijk	1,16
Kopterp	1,15

10.2.2 Zettingen
Niet nader beschouwd.

10.2.3 Doorponen
Niet nader beschouwd.

10.2.4 Squeezing
Niet nader beschouwd.

10.3 Conclusies

De berekende stabiliteitsfactoren voldoen aan het gestelde aangescherpte eisen, zodat de ophoogslag van 0,50m tot NAP+4,20m voor de taluds en het middenterrein en NAP+4,70m voor en de kopse kanten kan worden vrijgegeven. Het middenterrein blijft op NAP+3,7m liggen; hier wordt dus niet meer opgehoogd. Op deze plaats moet later het waterbassin komen.

	SF	Criterium
Blauwe dijk	1,14	>1,10 OK
Groene dijk	1,16	>1,00 OK
Kopterp	1,15	>1,05 OK

11 Vrijgave terrein voor ophoogslag 8

11.1 Samenvatting metingen

Uitgangspunten		Referentie
hoogte proefdijk	+4,20 [m NAP]	profielmeting
hoogte kopse kanten	+4,70 [m NAP]	profielmeting
bovenbelasting (afmeting)	2,5 [m]	Rupskraan
Bovenbelasting (grootte)	5 [kN/m ²]	Rupskraan
gedraineerde sterkte ophoogzand (wrijvingshoek)	30 [graden]	
ongedraineerde sterkte kleilaag	22 [kPa]	concept interpretatie
ongedraineerde sterkte slappe kleilaag	20 [kPa]	laboratoriumonderzoek ¹⁰
ongedraineerde sterkte veenlaag	28 [kPa]	Aanpassingspercentage 45-60% van ca 4.5*17kPa.
freatisch grondwaterpeil kern ophoging	-0,50 [m NAP]	Zakbaak peilbuis +0,3m NAP niet in berekening
waterspanning kleilaag (blauw)	+4,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (blauw)	+4,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning kleilaag (groen)	+2,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning veenlaag (groen)	+3,0 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterspanning watervoerende zandlaag	-0,5 [m NAP]	waterspanningsmeters
waterpeil Eem	-0,4 [m NAP]	
Zetting groen	0,9 [m]	Zettingsmeetplaatjes
Zetting blauw	0,5 [m]	Zettingsmeetplaatjes

Tabel 11.1 Samenvatting metingen proefdijk (incl. referentie) t.b.v. uitgangspunten

11.2 Samenvatting resultaten analyses

11.2.1 Stabiliteit

Met de beschreven uitgangspunten zijn conform Bijlage B.8 voor de volgende stabiliteitsfactoren berekend voor een ophoogslag van 50 centimeter tot NAP+4,70 voor de taluds en het middenterrein en voor de kopterpen tot NAP+5,20.

	SF
Blauwe dijk	1,14
Groene dijk	1,18
Kopterp	1,10

11.2.2 Zettingen

Niet nader beschouwd.

¹⁰ "POVM Eemdijkproef – Geotechnisch basisrapport, Product F4", projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-006-GEO-0004-gbh, versie concept, oktober 2017;

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

11.2.3 Doorponzen
Niet nader beschouwd.

11.2.4 Squeezing
Niet nader beschouwd.

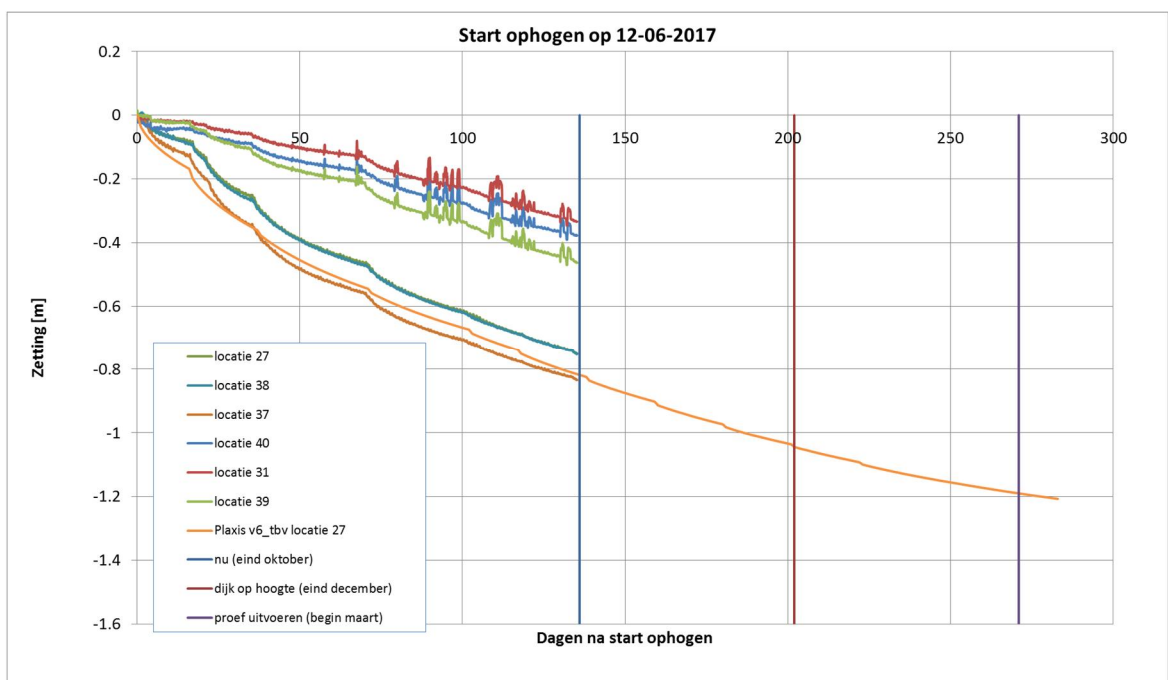
11.3 Conclusies

	SF	Criterium
Blauwe dijk	1,14	>1,10 OK
Groene dijk	1,18	>1,00 OK
Kopterp	1,10	>1,05 OK

12 Zettingspredicties

12.1 Zettingsmeetplaatjes

Met PLAXIS is een predictie-model ten behoeve van de zettingen is opgezet op basis van de parameters welke beschikbaar zijn gekomen uit het gedetailleerde grondonderzoek. Op basis van deze parameters is (zonder al te veel fitten) tot een redelijk vergelijk gekomen met de beschikbare monitoringsresultaten (zettingen en waterspanningen), zie Figuur 12.1.



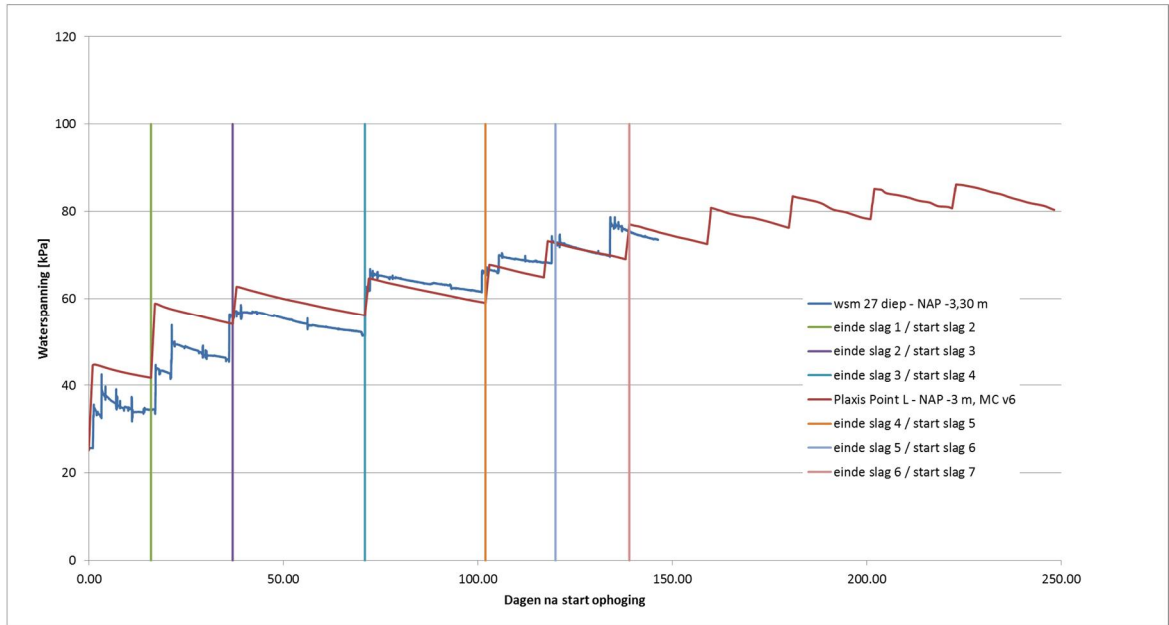
Figuur 12.1 Vergelijk PLAXIS-predictie (locatie 27, punt C) met zettingsmeetplaatjes voor blauwe proefdijk

Uit de tijdens de aanlegfase vergaarde monitoringsresultaten en op basis van het gedetailleerde predictie-model is gebleken dat de ondergrond niet zo snel consolideert als gedacht, hierdoor zijn ook de optredende zettingen kleiner dan verwacht tijdens de VO fase.

Met behulp van het predictie model is ook een poging gewaagd e zettingen bij de groene dijk te reproduceren. Dit lukt echter niet direct. Bij verhoging van de grensspanning conform de lab resultaten wordt er voor de eerste (herbelast tak) nog steeds een veel slapper gedrag gevonden in het model dan volgt uit de gemeten zettingen. Het lijkt dus dat ook de laagniveaus en/of eigenschappen per laag moeten worden aangepast. Uit de sonderingen en labdata wordt echter niet direct een rechtvaardiging voor een grofstoffelijke aanpassing van dezen gevonden. Omwille van de voortgang is geen verdere tijd besteed aan dit model.

12.2 Waterspanningsmetingen

Ook zijn de waterspanningen vergeleken voor de 4 beschikbare waterspanningsmeters in de beschouwde raai. Voor één van deze locaties is het vergelijking vertoond in Figuur 12.2.



Figuur 12.2 Vergelijk predictie (locatie 27, punt L) en observatie voor waterspanningsmeter "27 diep" op (initieel) NAP -3.3 m onder de kruin blauwe dijk

13 Conclusies en aanbevelingen

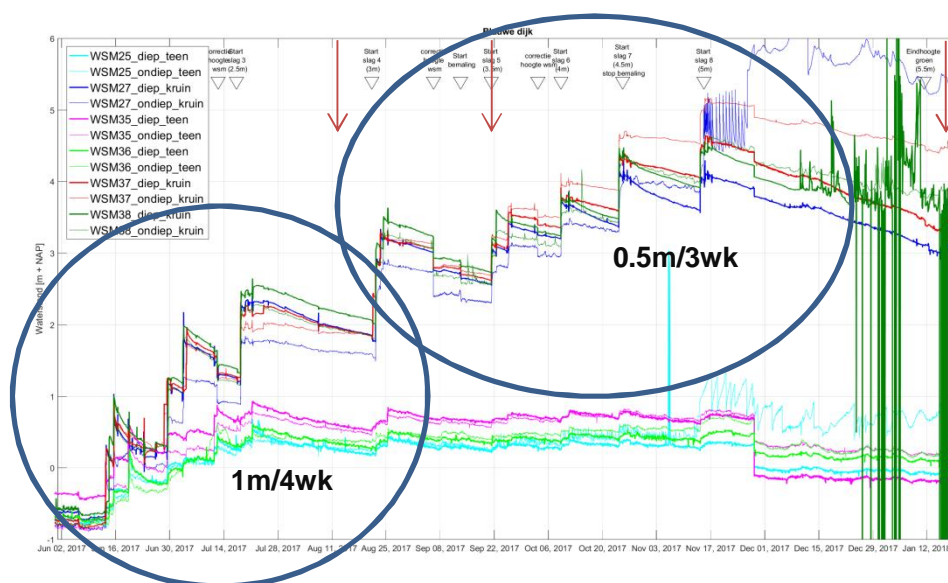
13.1 Conclusies

13.1.1 Ophoofasering en sterkte-ontwikkeling

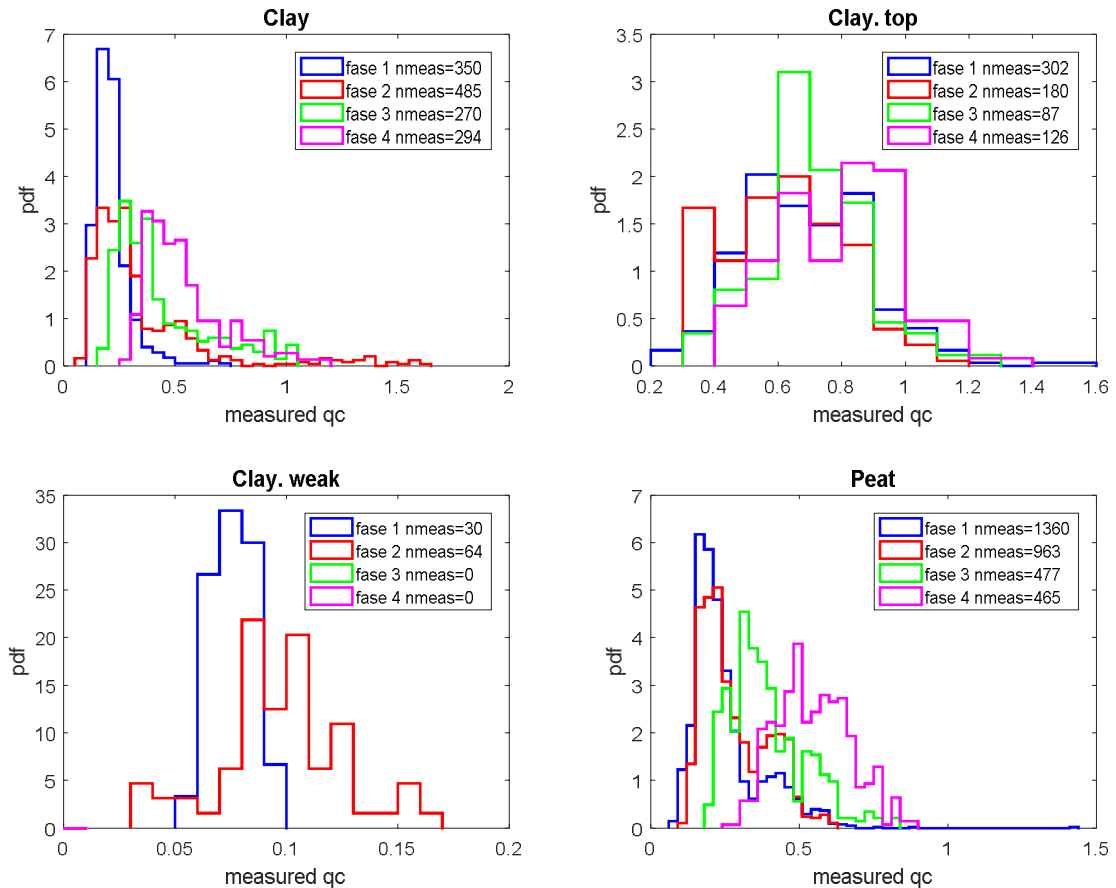
Vooraf was de ophoogsnelheid ingeschat op 1 meter ophogen per vier weken. Voor de eerste twee ophoogslagen was deze ophoogsnelheid geen probleem. Ondanks de afname van waterspanning door consolidatie werd nog geen sterkteontwikkeling geboekt, omdat de klei en veenlaag een bepaalde mate van overconsolidatie hadden, conform de SHANSEP theorie. Met de initieel aanwezige sterkte kon de ophoging tot 2,5m zand zonder instabiliteit gedaan worden.

Na de bouwvak vakantie, is de ophoofasering aangepast naar 0,5 meter per drie weken (zie Bijlage C), waardoor de stapgrootte kleiner is. Vanaf dat moment, is door consolidatie de effectieve spanning naar verwachting boven de grensspanning gekomen, waardoor er wel sterkteontwikkeling plaats kon vinden.

Deze sterkteontwikkeling is ook terug te zien in de analyse van de conusweerstand van de tussentijdse sonderingen. De drie rondes hebben plaatsgevonden begin augustus 2017, eind september 2017 en begin januari 2018, zie pijlen in waterspanningsverloop in Figuur 13.1. Op het eerste tussentijdse meetmoment is maar in een beperkt aantal sondeerwaarden een toegenomen conusweerstand waargenomen (de rode histogrammen in Figuur 13.2). Op het tweede meetmoment ca. 6-8 weken later, is in een veel groter aantal metingen een toegenomen conusweerstand waargenomen. Deze (groene) histogrammen in Figuur 13.2 laten een significant hoger gemiddelde zien, maar ook een grotere spreiding. De sterkteontwikkeling is ook te zien in de metingen van het derde tussentijdse meetmoment (fase 4).



Figuur 13.1 Totaalbeeld waterspanningen blauwe proefdijk



Figuur 13.2 Gemeten toename in conusweerstand

13.1.2 Doorlatendheid en afstroming

De ondergrond op de proeflocatie is opgebouwd uit klei op een veenlaag. Het overspannen water kan dus afstromen naar het ondergelegen zandpakket en naar boven in de zandterp. Dat laatste is waargenomen door een verhoging van het freatisch vlak in het zandlichaam. Ook de gemeten stijghoogte in het watervoerend pakket laat een stijging zien met het opbrengen van belasting en een geleidelijke daling met de consolidatie. Door de tweezijdige afstroming zal de wateroverspanning in het midden van de twee lagen het grootste zijn.

De waterspanning is tijdens de aanleg op twee dieptes gemeten: onderin de kleilaag en in het midden van de veenlaag. Deze metingen kunnen gefit worden om een betere inschatting te krijgen van de horizontale en verticale doorlatendheid van de lagen. Mogelijk is een belangrijk aspect hierbij de spanningsverspreiding: naarmate de zandterp hoger wordt, wordt er over een steeds kleinere breedte zand opgebracht. Op een grotere diepte kan dit tot verschillen in spanningstoename leiden.

Daarnaast is opgevallen dat de waterspanning in het voorbelaste gedeelte (onder de vroegere zomerkade) bij het opbrengen van de belasting minder sterk reageert. De afname van wateroverspanning gaat wel in een gelijk tempo. Uiteindelijk zal dit dus leiden tot een lagere wateroverspanning. Door de voorbelasting is er echter ook minder zetting geweest en

dus minder zand opgebracht. De totale belasting is dus ook lager geweest. Het verdient aanbeveling om te controleren of deze effecten opheffen en wat de invloed is op de effectieve spanning en dus grensspanning/schuifsterkte.

13.1.3 Zettingen

Uit de tijdens de aanlegfase vergaarde monitoringsresultaten en op basis van het gedetailleerde predictie-model is gebleken dat de ondergrond niet zo snel consolideert als gedacht, hierdoor zijn ook de optredende zettingen kleiner dan verwacht tijdens de VO fase. Voor wat betreft de nog te verwachten zettingen en het gewenste afwerk niveau van de dijken wordt het volgende voorgesteld:

- De vervormingssnelheid van de zettingsplaatjes lijkt voor alle locaties op dit moment (eind oktober 2017) grofweg gelijk, oftewel de nog berekende zetting met het PLAXIS-predictie model vanaf dit moment (eind oktober 2017) tot start proef is een redelijke maat voor alle locaties.
- De nog verwachte vervorming vanaf dit moment (eind oktober 2017) tot start proef (begin maart) is ca. 40 cm.
- Uitgaande van aanbrengen van de laatste slag eind december is het afwerkniveau ca. NAP +5,2 m. De restzetting vanaf dit moment tot start proef is ca. 0,20 m.
- In bovenstaande waarden zit dan geen "veiligheid", voorgesteld wordt om nog enige marge te nemen:
 - Qua hoeveelheden uitgaan van gemiddeld nog 50 cm zetting tot uitvoering proef;
 - Qua afwerkniveau uitgaan van NAP +5,30 m.

13.1.4 Verschillen in rekenmodellen

De uitvoeringstabiliteit is berekend met glijvlakken Bishop en Uplift Van. De beide glijvlakmodellen leiden tot vergelijkbare stabiliteitsfactoren. Naarmate de proefterp hoger wordt en het glijvlak dieper, kan met Uplift Van een lagere stabiliteitsfactor gevonden worden, omdat het passieve deel van het glijvlak dan korter is. Spencer (vrij glijvlak) leidt tot onverklaarbaar lagere veiligheidsfactoren.

De sterkte kan op meerdere manieren gemodelleerd worden in de stabiliteitssommen. De wijze van modellering beïnvloedt ook het resultaat. Er is met diverse rekenmethodes gewerkt, namelijk:

- SHANSEP met grensspanning.
- Sigma-tau curves.
- Su (ongedraineerd) berekend.

De eerste methode met grensspanning lijkt de meest voor de hand liggende methode, gegeven het grondgedrag. Echter, de implementatie in de stabiliteitssoftware is gebaseerd op een constante OCR of POP. Dat betekent dat het resultaat sterk afhankelijk is van de gekozen locatie van de grensspanning¹¹.

Het probleem met een constante POP speelt niet bij de modellering met sigma-tau curves, welke de SHANSEP lijn benaderen. Echter, doordat intern in het rekenprogramma met een

¹¹ Deze aanbeveling is bekend en wordt meegenomen bij ontwikkeling van de stabiliteitssoftware
POVM Eemdijkproef

cohesie, wrijvingshoek en normaalspanning gerekend wordt, is de sterkte orde 10%-15% lager dan gewenst.

Omdat met beide bovenstaande methodes het lastig is om te controleren of de juiste sterkte gemodelleerd is, is gebruik gemaakt van een ‘harde invoer’ van ongedraineerde schuifsterkte per grondlaag. Hierbij is handmatig de effectieve spanning en schuifsterkte berekend en toegekend aan lagen onder en naast het dijklichaam.

Over het algemeen komt de handmatig gemodelleerde sterkte goed overeen met de in PLAXIS berekende waarde op basis van het SHANSEP model. De veiligheidsfactoren zijn ook van dezelfde orde grootte. De ligging van het maatgevende glijvlak is grotendeels gelijk.

13.1.5 Betrouwbaarheid sensoren

Onderstaand zijn de bevindingen over de betrouwbaarheid van de sensoren samengevat:

- Zettingsmeetplaatjes zijn continue uitgelezen en geven betrouwbare resultaten.
- Zakbaken en zakbaak peilbuismetingen zijn handmatig uitgevoerd, maar zijn ook betrouwbaar gebleken.
- De waterspanningsmeters zijn minder betrouwbaar bevonden. Deze zijn gevoelig voor: verstopping van het filter en gasvorming. Hiermee en door de ongelijke zetting kunnen de gemeten waarden niet altijd eenduidig geïnterpreteerd worden. Daarnaast zijn ook andere storingen opgetreden, zoals kabelbreuk en een defecte loggerbox. Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de (on)betrouwbare monitoring.

Een belangrijk deel van de monitoring tijdens de aanleg van de dijk t.b.v. de full-scale damwandproef zijn de waterspanningsmetingen. Voor het DO zijn de metingen ook van belang. Daarom is het belangrijk om de metingen te verklaren en afwijkende trends te beschrijven.

Overzicht locatienummers

In onderstaande tabel staan de locatienummers van de monitoring genoemd. De tabellen in dit document volgen onderstaande indeling, zodat de meetgegevens op verschillende locaties met elkaar vergeleken kunnen worden.

	Groen			Blauw		
	teen	kruin		kruin	teen	
Kop noord	32		28			24
Noord	41	39in 39uit		37uit 37in	35	
Midden	33	31in 31uit	29	27uit 27in	25	
Zuid	42	40in 40uit		38uit 38in	36	
Kop zuid	34		30			26

Opvallendheden

- 1) De waterspanningen onder de kruin blauwe dijk zijn in absolute zin hoger dan de waterspanningen onder de kruin van de groene dijk

Door meer zetting, is ter plaatse van de blauwe dijk meer zand opgebracht dan ter plaatse van de groene dijk. Ten gevolge van de hogere belasting is meer wateroverspanning ontstaan. Het verschil tussen de blauw en groen is tussen de 40 en 70 centimeter. Dit komt overeen met een extra gewicht van het opgebrachte zand tussen de 7-12kPa (ca. 1 meter water). Voor de meetraaien en midden en zuid klopt dit ongeveer (7kPa midden, 10kPa zuid). Voor de noordraai is het verschil groter, ca 12-20kPa.

- De meting van wsm37 ondiep (blauw noordoost) wijkt hiervan af. Deze waterspanningsmeter laat dus minder consolidatie dan de andere meters zien. Er kan geen verklaring worden gegeven voor de afwijkende meting.

Zakking maaiveld (zakbaken, links; zettingsmeetplaatjes, rechts). Beide metingen zijn betrouwbaar.

-0.52	-0.49	-0.99
-0.78	-0.28	-0.93
-0.70	-0.22	-0.95

-0.53	-0.90
-0.39	-0.83
-0.43	-0.83

Dikte van de opgebrachte zandlaag:

5.22	5.19	5.69
5.48	4.98	5.63
5.40	4.92	5.65

2) Bij de blauwe dijk 'volgen' de ondiepe waterspanningsmeters onder de kruin (initieel op NAP -1.5m) de diepe waterspanningsmeters (initieel op NAP -3.0), bij de groene dijk nemen de ondiepe waterspanningsmeters onder de kruin eerst af. Dit gebeurt ongeveer na slag 2. Daarna beginnen er ook weer meters op te lopen.

De aflopende waterspanningen ondiep zouden het gevolg kunnen zijn van ongelijke zetting ter plaatse van de groene dijk. Lokaal zijn er verschillen doordat een deel is voorbelast en een deel niet. Dit is ook te zien aan de verschillen in zettingen gemeten in de zakbaken in de binnen- en buitenkruin van de groene dijk. De afstand is slechts 5 meter, maar het verschil in zetting is ruim een halve meter. Ook zijn er scheurtjes gezien in het zandlichaam. Op de volgende pagina is een inschatting gemaakt van de gezette ondergrond, op basis van 1 meter zetting onder de terp en 50 cm zetting onder het voorbelaste gedeelte.

De ongelijk zettende grond kan leiden tot verstoringen in de meting van waterspanningen door scheurtjes in de ondergrond of gasvorming of verstopping bij het filter.

Recent geeft waterspanningsmeter 31 abrupt geen juiste meetwaarden meer (spanning - 75kPa). Deze waterspanningsmeter is dus kapot.

Er zijn geen scheuren waargenomen bij de noordraai. Hier is het voorbelaste gedeelte ook breder (te zien aan het hogere initiële maaiveld en de kleine verschilzetting tussen de zakbaken binnen en buitenkruin. Deze meting lijkt dus wel correct. De meting laat wel een vreemde trend zien rond 7 september, nadat de buis is opgelengd en na de inmeting en

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

plaats-correctie. Later komt de meting wel weer bij de andere metingen. Er is dus geen reden om deze waterspanningsmeting te negeren.

De metingen van de zakking van de waterspanningsmeters (dd 17 oktober) tonen aan dat er een geleidelijk verloop van zetting over de diepte is.

Zakking maaiveld

-0.52	-0.49	-0.99
-0.78	-0.28	-0.93
-0.70	-0.22	-0.95

Zakking waterspanningsmeter ondiep (initieel NAP-1.50m)

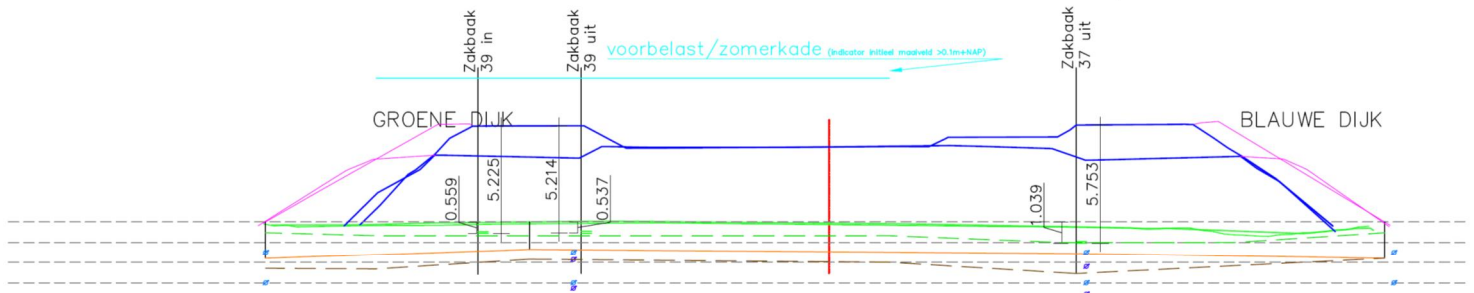
-0.36	-0.70
-0.24	-0.65
-0.23	-0.64

Zakking waterspanningsmeter ondiep (initieel NAP-1.50m)

-0.27	-0.56
-0.20	-0.44
-0.19	-0.55

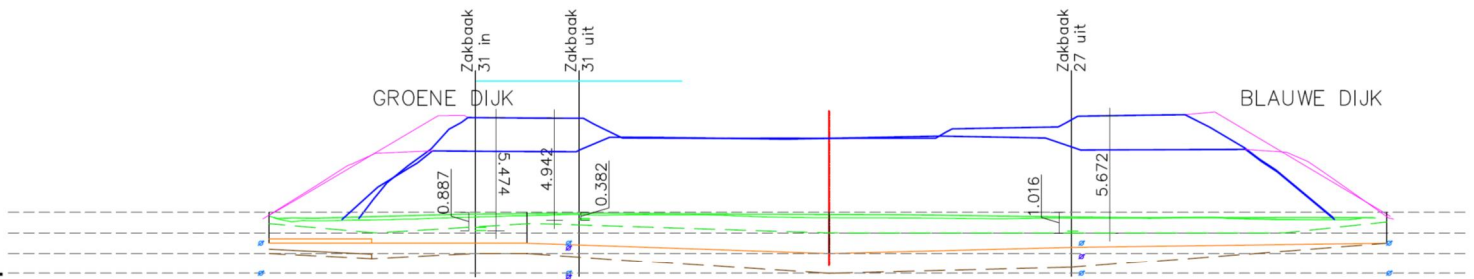
Gegevens in tekeningen:

- Profielmeting terp na slag 5 en 8 (zand donkerblauw en klei magenta).
- Zettingen ter plaatse van zakkaken. (groene streepjes).
- Originele diepte waterspanningsmeter + gezette diepte (17-10).
- Inmeting zettingslang initiele maaiveld (groen).
- Geschatte zetting maaiveld gemiddeld 1 meter, 50 cm onder voorbelaste deel (groen stipfel).
- Geschatte breedte voorbelaste gedeelte op basis van terreinhoogte initieel (lichtblauw).
- Onderkant kleilaag (oranje, uit sonderingen lineair geïnterpoleerd tussen de metingen).
- Geschatte onderkant kleilaag na zetting gemiddeld 1 meter, 50 cm onder voorbelaste deel (bruin stipfel).



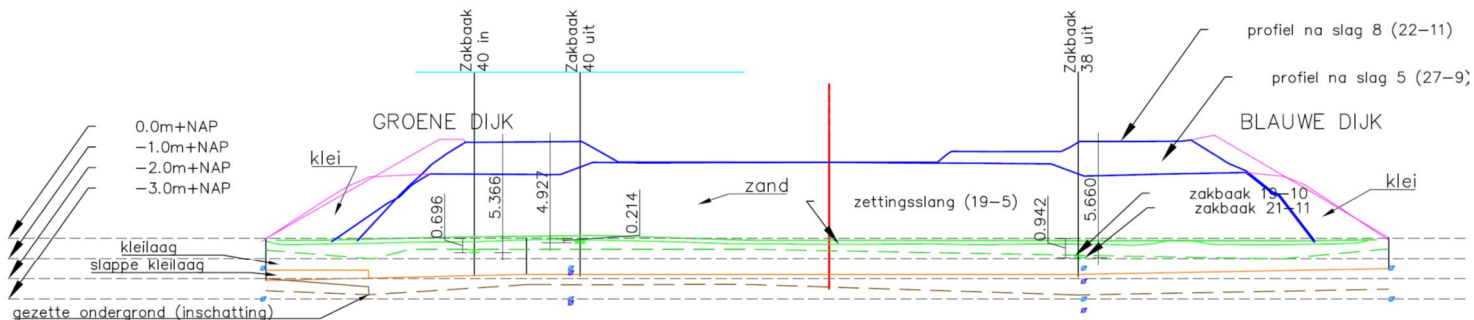
DP-3-NOORD

MAAIVELDHOOGTE IN METERS ZAND - KLEI	-0.01	1.57	4.78	4.71	4.71	4.72	3.63	3.63	3.68	3.68	3.71	3.70	4.11	4.16	4.18	4.51	4.79	4.78	4.94	3.27	-0.12
AFSTAND UIT AS IN METERS			-17.37	-15.88	4.71	-11.94	-9.89	-8.29	3.68	3.68	3.71	3.70	4.11	4.16	4.18	4.51	4.79	4.78	4.94	3.27	-0.12
MAAIVELDHOOGTE IN METERS ONTGRAVEN LEEFLAAG	-8.11	-0.09	0.00	-15.88	0.06	0.08	-10.07	-8.29	0.03	0.02	0.01	-0.05	7.03	4.16	-0.23	-0.25	-0.31	-0.27	-0.52	-0.28	-8.99



DP-2-MIDDEN

MAAIVELDHOOGTE IN METERS ZAND - KLEI	-0.04	0.54	1.14	4.78	4.79	4.66	4.66	3.70	3.68	3.69	3.69	4.14	4.22	4.23	4.75	4.81	4.83	4.96	0.21	-0.10	
AFSTAND UIT AS IN METERS				-17.60	-14.29	-11.98	-11.98	-10.08	-5.70	-2.44	3.69	3.69	4.14	4.22	4.23	4.75	4.81	4.83	4.96	0.21	-0.10
MAAIVELDHOOGTE IN METERS ONTGRAVEN LEEFLAAG	-8.96	-0.17	-0.12	0.00	0.04	0.06	-11.98	-10.08	0.00	0.00	-0.01	-0.02	10.37	12.13	12.13	15.64	17.35	-0.16	-0.16	-0.16	-8.18



DP-1-ZUID

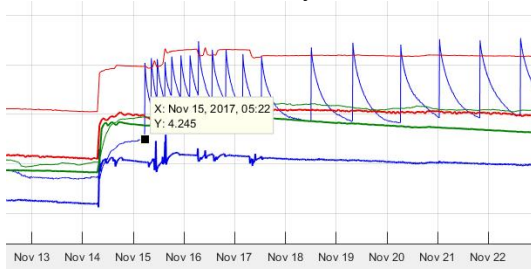
MAAIVELDHOOGTE IN METERS ZAND - KLEI	-0.03	2.87	4.82	4.80	4.67	4.71	4.34	3.71	3.70	3.70	3.70	4.23	4.22	4.22	4.71	4.72	4.78	5.02	2.16	0.03	
AFSTAND UIT AS IN METERS			-17.25	-12.05	-11.39	-10.26	-10.26	-4.08	-3.24	-3.24	-1.92	3.70	3.70	4.22	4.22	4.71	4.72	4.78	5.02	2.16	0.03
MAAIVELDHOOGTE IN METERS ONTGRAVEN LEEFLAAG	-0.10	-0.10	0.04	0.06	-12.05	-10.26	-10.26	-4.08	-3.24	-3.24	-1.92	3.70	3.70	4.22	4.22	4.71	4.72	4.78	5.02	2.16	0.03

3) De waterspanning in de teen laat vanaf ophoogslag 3 een zeer beperkte reactie zien op de volgende ophoogslagen.

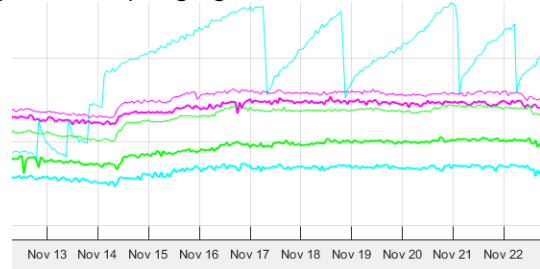
Dit komt doordat de ophoging steeds smaller is (minder gewicht) en meer naar binnen gaat. Door belastingspreiding is er toch nog een kleine reactie te zien. De metingen zijn consistent met elkaar (binnen 0,25m stijghoogte, ongeveer gelijk aan de initiële situatie). Meting wsm42 (groene dijk, teen, ondiep) is hierop een uitzondering, maar het verschil is beperkt. Opvallend is dat de locaties met de dikste kleilaag bij de teen (42 bij de groene dijk en 35 bij de blauwe dijk) de hoogste wateroverspanningen en dus de minste consolidatie laten zien.

4) Beide ondiepe waterspanningsmeters in de middenraai aan de blauwe zijde laten vreemde signalen zien.

De afwijkende (oplopende en neergaande) signalen zijn begonnen op 15 november 2017 om 5:22 uur en 14 november 2017 om 2:00 uur. Ophoogslag 8 is begonnen op 14 november 2017 om 7:00 uur. Het lijkt dus onwaarschijnlijk dat de ophoging dit veroorzaakt.



25 ondiep teen blauw



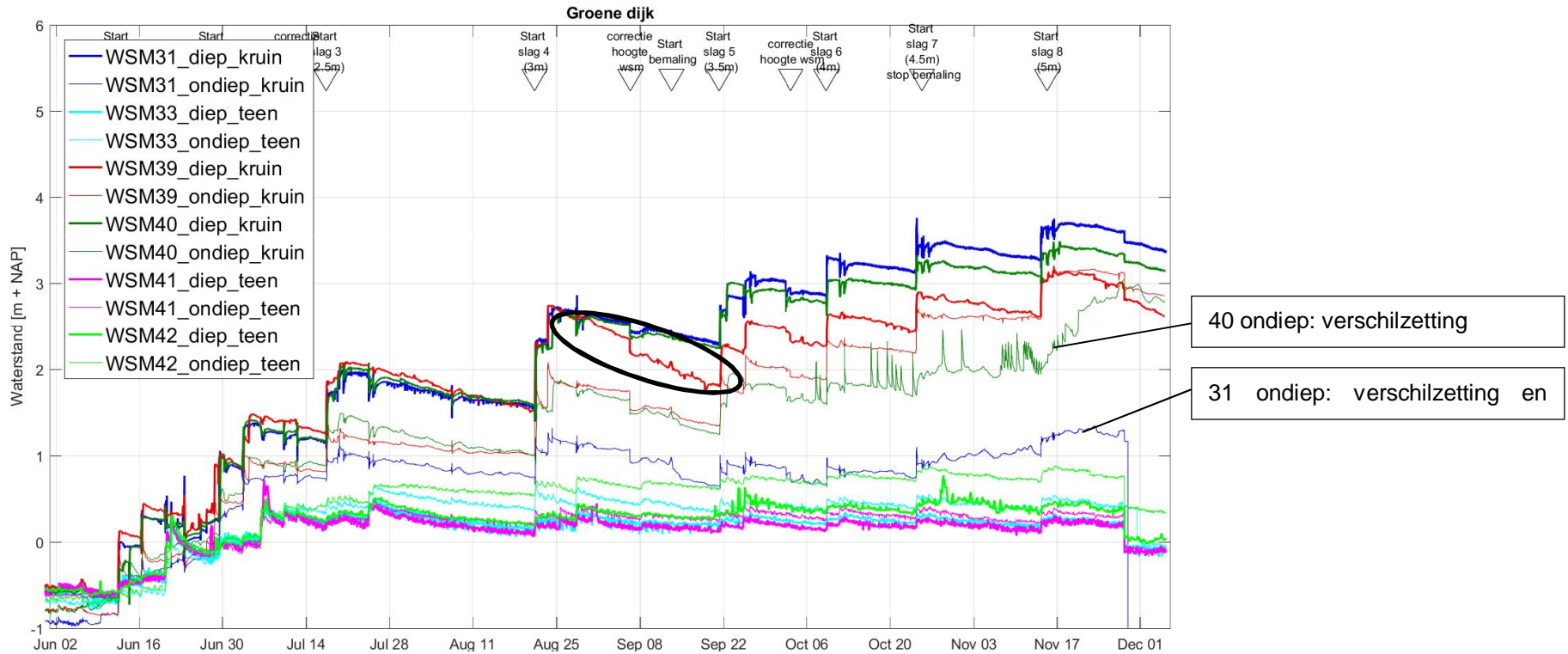
27 ondiep kruin blauw

De signalen zijn te regelmatig om bezwijken aan te duiden. Wat er precies aan de hand is bij deze meters is niet te zeggen. Mogelijk is er sprake van gasvorming.

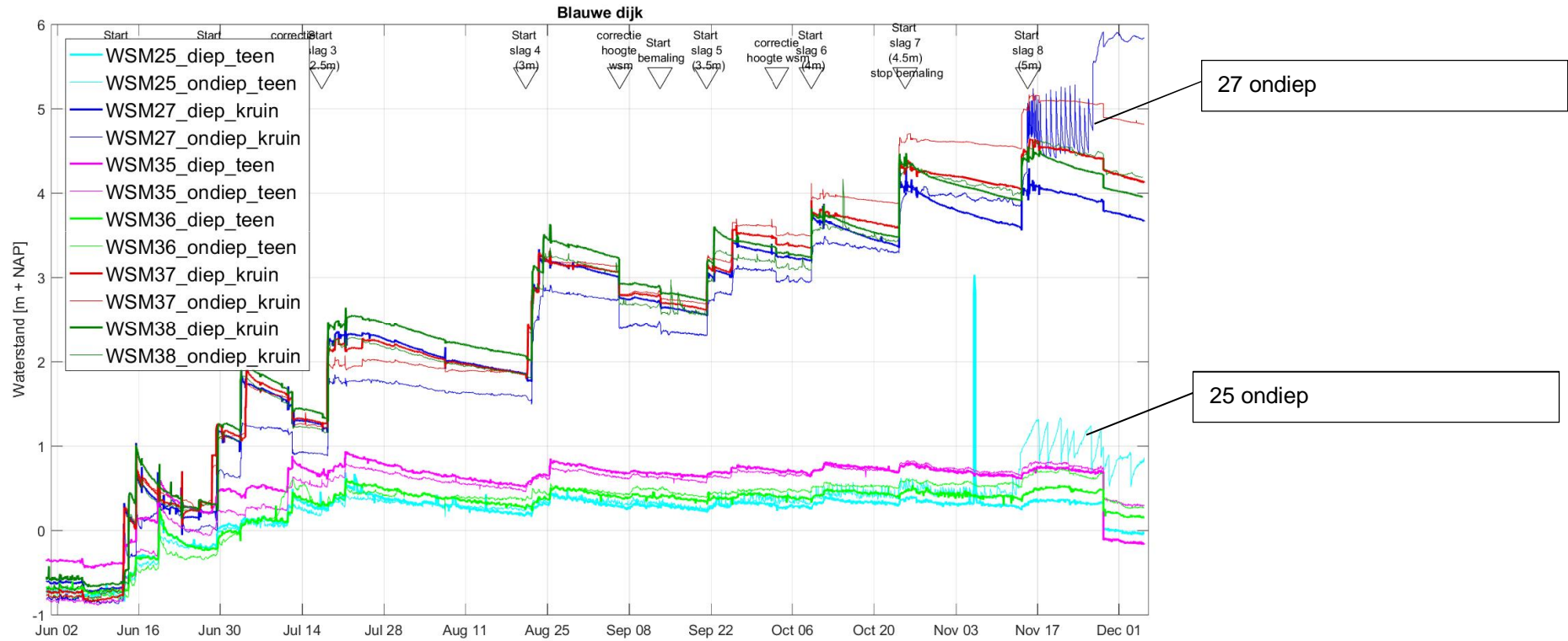
Conclusies:

- Onbetrouwbare waterspanningen:
 - 40 ondiep kruin groen: verschilzetting.
 - 31 ondiep kruin groen: verschilzetting en later kapot.
 - 25 ondiep teen blauw.
 - 27 ondiep kruin blauw.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



13.1.6 Meerwaarde van toenemend inzicht in grondeigenschappen

Gedetailleerd grondonderzoek heeft een meerwaarde. Vooral de combinatie van verschillende metingen, zoals boringen, sonderingen, laboratoriumonderzoek, en in situ metingen maakt de ondergrond inzichtelijk.

Voorafgaand aan de proef was het vraag of de sterkte-ontwikkeling bij ophogen van overgeconsolideerde grond te monitoren is met sonderingen. Gemiddeld genomen over alle metingen van de conusweerstand is de sterkte-ontwikkeling wel te zien. Bij het vergelijken van opeenvolgende sonderingen op eenzelfde locatie, is de sterkte-ontwikkeling niet altijd goed te zien. Dit valt mogelijk te verklaren door de heterogeniteit op korte afstand. De afstand tussen de sonderingen was in dit geval orde 2-4 meter, wat erop duidt dat de natuurlijke variatie in conusweerstand op die afstand en/of de meetonzekerheid bij sonderen groter is dan de sterkte-toename op het moment van meten. Opgemerkt wordt dat de verwachte sterkte-toename op dat moment ook relatief klein werd verondersteld.

De laatste ronde sonderingen kan mogelijk meer inzicht geven in de invloed van de lokale heterogeniteit, meetonzekerheid en de sterkte-toename.

13.2 Aanbevelingen tbv opbouw- en proeffase

Uit bovenstaande samenvatting volgen de volgende aanbevelingen ten behoeve van de opbouw en proeffase:

- Sterkte-toename is aanzienlijk, de laatste ophoogslag gebruiken om de wateroverspanning in de grondlagen weer omhoog te brengen.
- Geen sigma-tau curves gebruiken om SHANSEP lijnen mee te modelleren.

Verder uit te zoeken:

- Sterkte-ontwikkeling monitoring.
- Consolidatie vs effectieve spanning.
- Heterogeniteit vs meetonzekerheid.

A Kennisvragen

De aanleg van de FSP-groen/blauw moeten uiteindelijk leiden tot een complete en betrouwbare dataset, op basis waarvan antwoord kan worden gegeven op deze kennisvragen¹².

	4BPB simulaties zónder grond	4BPB simulaties mét grond	POT (dis)continue wand	FSP restprofiel en -sterkte binnentalud	FSP groene dijk	FSP blauwe dijk
Hoe goed kunnen de beschikbare rekenmodellen het werkelijk optredende gedrag in de proeven voorspellen?	X	X	X	X	X	X
Welke invloed hebben het (dis)continue karakter van de damwand én mate van inbedding in grond op doorsnede-klasse volgens Eurocode 3 - deel 5?	X	X	X			
Hoe gedraagt zich een in grond ingebedde plank na het ontstaan van een plastisch scharnier. Is er met inbedding een hoger moment toelaatbaar dan zonder inbedding?	X	X	X			
Wat is de meest werkelijkheidsgetrouwe benaderingsmethode voor het restprofiel en de reststerkte?				X		
Wat is het waterkerende vermogen van de blauwe dijk uitgaande van de elastische capaciteit van de damwand? En wat is deze na bereiken van een plastisch scharnier?					X	X
Hoe werkt de krachtsverdeling in de onverankerde damwand onder extreme condities?						X
In welke verhouding worden de sterkte van grond en damwand gemobiliseerd, gaande van nul belasting naar doorgaand bezwijken?						X
Hoeveel vervorming van het systeem is nodig in het traject van elastisch naar plastisch gedrag van de damwand (voor het ontstaan van een plastisch scharnier)?						X
Hoe ziet het vervormingsproces tot na bezwijken eruit, inclusief het ontstaan van restprofiel? Welke volgorde van deelmechanismen treedt er daarbij op?						X
Wat zijn de vervormingen tot aan bezwijken: <ul style="list-style-type: none"> ...bij een waterkering zonder SVLC (groene dijk)? ...bij een waterkering met SVLC (blauwe dijk)? ...tpv 'aansluiting' (oftewel de verschilvervorming tussen de groene en blauwe dijk, beredeneerd op basis van de resultaten van de groene en blauwe dijk)? 					X	X
Tot welke (relatieve) vervormingen in de omgeving leidt het					X	X

¹² ontleend aan Deltares aanbieding met kenmerk 11200956-0001-GEO-0001-jvm van 6 april 2017;

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

	4BPB simulaties zónder grond	4BPB simulaties mét grond	POT (dis)continue wand	FSP restprofiel en -sterkte binnentalud	FSP groene dijk	FSP blauwe dijk
vervormingsproces van de waterkering met SVLC?						

Tabel A.1: Overzicht van kennisvragen en link naar proef

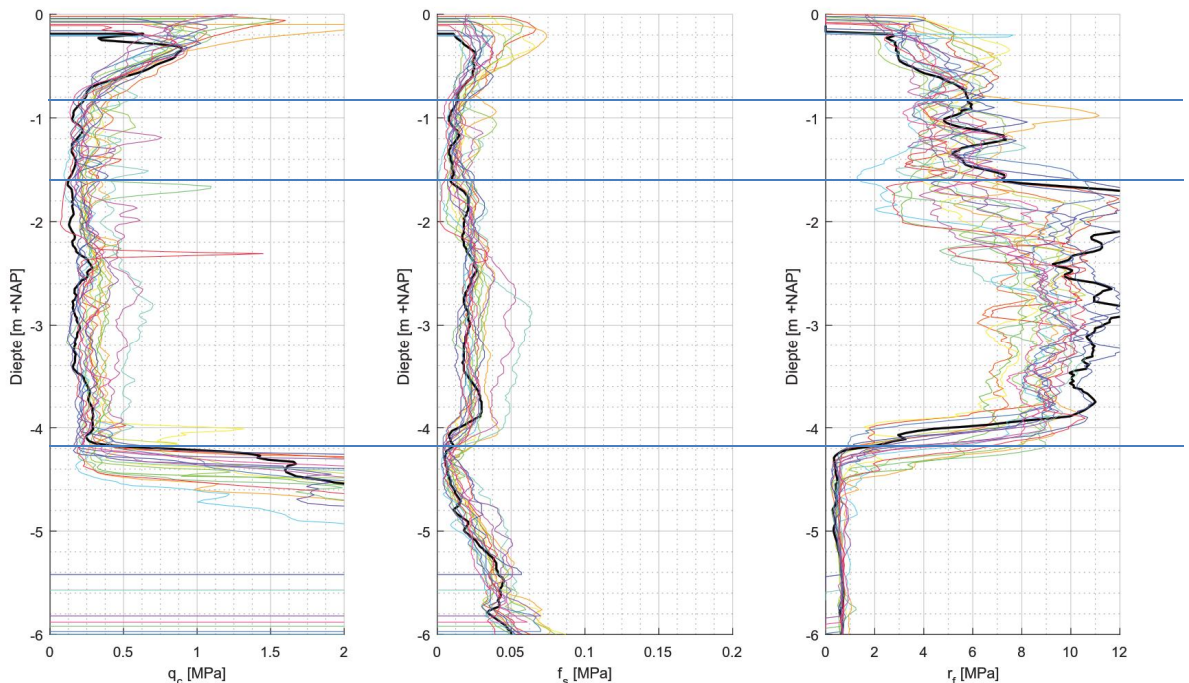
B Berekeningsresultaten

B.1 Vrijgave ophoogslag 1 (0,85 m + N.A.P.)

B.1.1 Bodemopbouw (initieel)

Oorspronkelijk lag het maaiveld tussen -0,10m en +0,20m +N.A.P. Voor ophogen is de toplaag verwijderd. Voor de hoogte van het maaiveld vóór ophogen wordt -0,10m + N.A.P. aangehouden. De bodemopbouw wordt uit sondering LKMP25 (zwart) afgelezen:

Laag	m + N.A.P.
Klei 1	-0,10 -0,85
Klei 2	-0,85 -1,60
Veen	-1,60 -4,20
Zandlaag	-4,20 -6,00

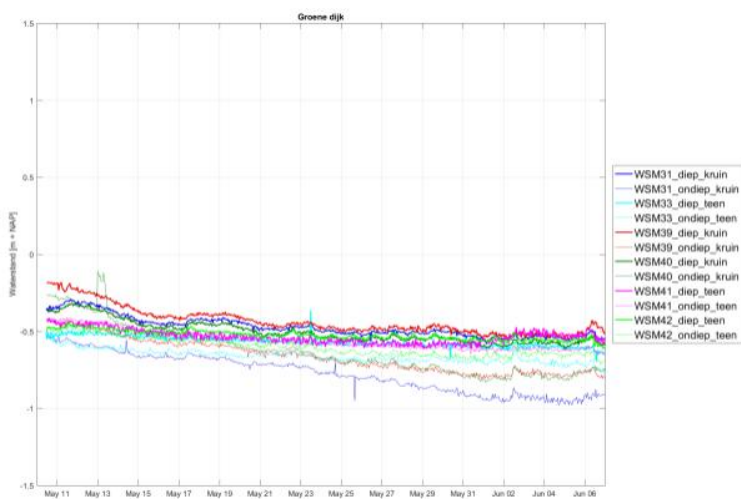
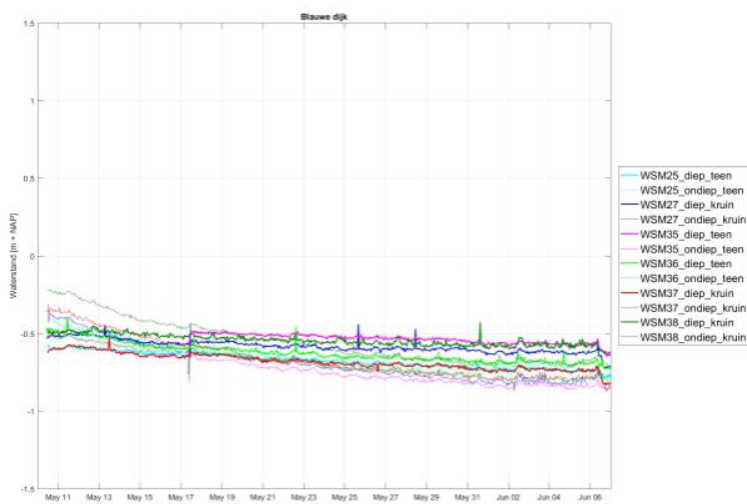


Zettingen als gevolg van de ophogingen worden verdisconteerd als samendrukking van de veenlaag. Bovenliggende lagen zakken mee. Voor de zakking worden de zettingsmetingen en terreinmetingen gebruikt.

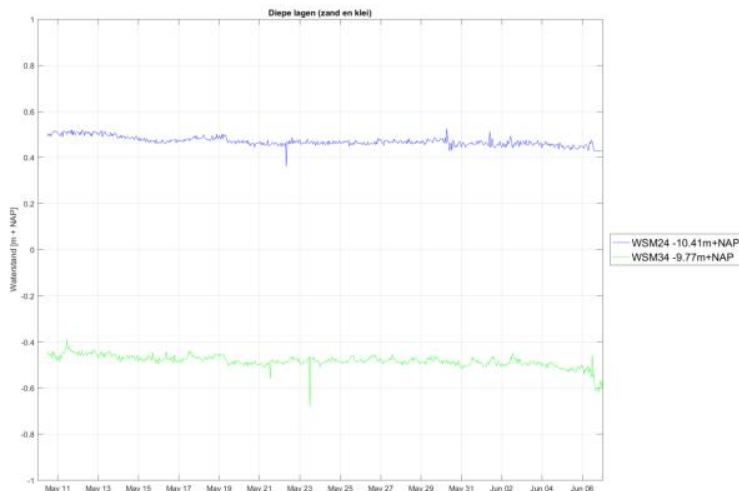
11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

B.1.2 Waterspanning

Diepte [m+N.A.P.]	Laag	Gemiddelde stijghoogte [m+N.A.P]
-1,50	Klei	+0,75
-3,00	Veen	+0,50
-9,77	Eerste watervoerende zandlaag	-0,50
-10,41	Ondoorlatende kleilaag onder zandlaag	+0,50



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



B.1.3 Belasting

Op de ophoging wordt zand uitgereden met een rupskraan van het type CAT 324D. Gewicht 24790kg. Afmetingen rups: 0,8m x 3,83m. Afstand buitenkant rups-buitenkant rups: 3,39m.

Er wordt uitgegaan van een belastingbreedte van 2,5 meter, met spanningsverspreiding over de orde grootte van het glijvlak: 20 meter. In het dwarsprofiel wordt een spanningsverspreiding van 30 graden toegepast. Dit betekent een 2D schematisering met een uniforme belasting van $243\text{kN} / (20 \times 2,5) = 5 \text{ kN/m}^2$.



B.1.4 Sterkte

Blauwe dijk midden (locatie 25-27) wordt als representatief geacht. Daarnaast zijn de conusweerstand onder de groene dijk al hoger doordat voorbelasting van een oude kade. Eigenschappen materialen van:

- NEN tabel (zand).
- Dijkversterking Maatpolderkade (Nkt klei, veen).
- Inschatting (S, m klei, veen).

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

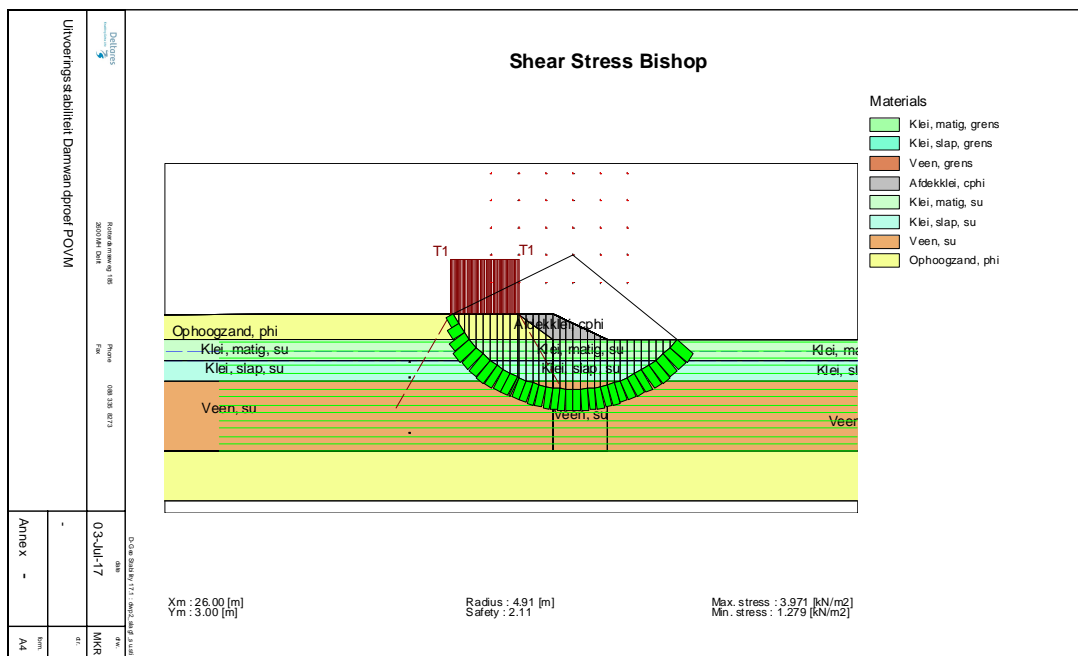
Laag	γ nat [kN/m ³]	γ droog [kN/m ³]	c [kN/m ²]	Phi [grad]	S [-]	m [-]	Nkt (O / N) [-]
Ophoogzand	19	17	0	30			
Klei 1	15	15			0,21	0,90	22,6 / 19,2
Klei 2	14	14			0,21	0,90	22,6 / 19,2
Veen	10	10			0,55	0,90	18,5 / 21,6
Zandlaag	20	18	0	30			
afdekklei	17	17	2	22			

Met de Nkt onder (conus) zijn de volgende schuifsterktes uit de sondering afgeleid.

Laag	Su top [kPa]	Su bottom [kPa]
Klei 1	8,0	8,0
Klei 2	8,0	6,5
Veen	6,5	12,0

De bovengenoemde sterkte is volgens de "su measured" in de stabiliteitssoftware overgenomen.

Conclusie: stabiliteit gewaarborgd (SF=2,11)



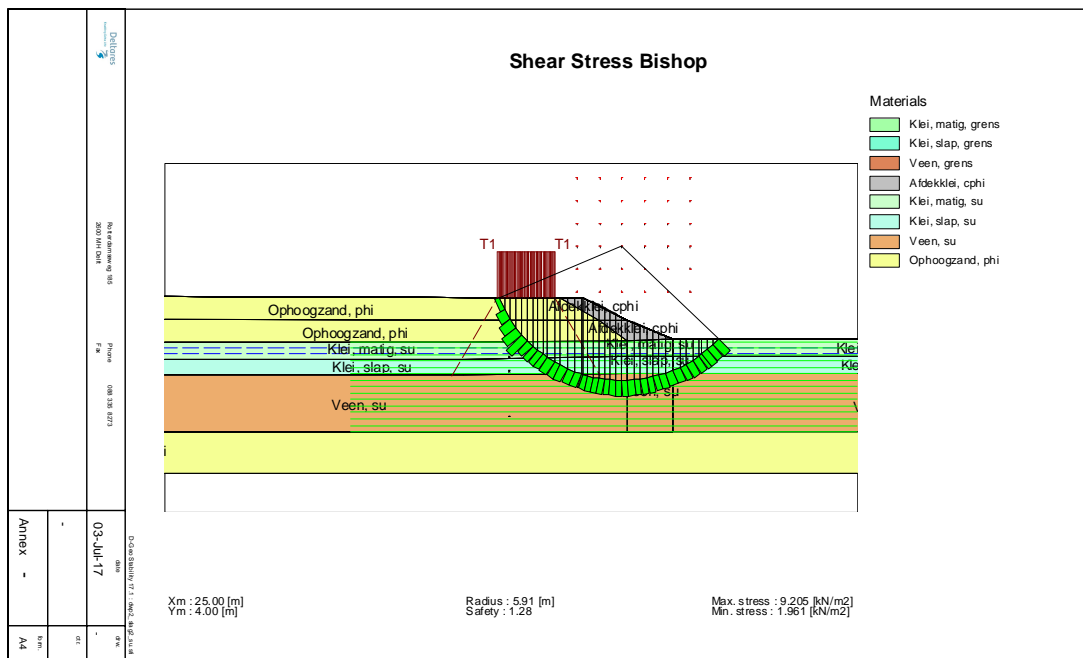
B.2 Vrijgave ophoogslag 2 (1,75 m + N.A.P.)

B.2.1 Sterkte

De sterkte wordt gemodelleerd met de methode “su measured”. Er zijn geen aanpassingen ten opzichte van ophoogslag 1 gemaakt.

Zettingen (ca 10 cm aan de zijde van de blauwe dijk) zijn verdisconteerd in de berekening, maar hebben geen significante invloed op de stabiliteit.

Conclusie: stabiliteit gewaarborgd (SF=1,28)



Modellering met grensspanning

Voor de sterkte tijdens/na ophoging wordt de schuifsterkte onder de dijk berekend via: $su = \sigma'_{vi} \cdot S \cdot OCR^m$ met $OCR = \sigma'_{vy} / \sigma'_{vi}$. De grensspanning wordt in het midden van de laag gemodelleerd.

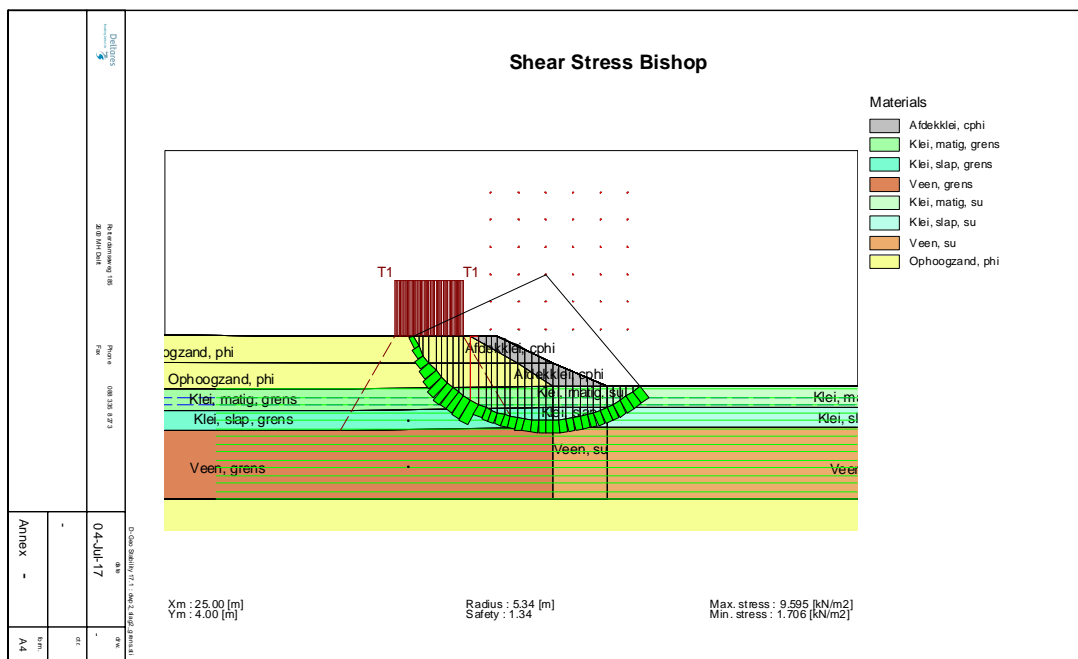
De grensspanning en m-exponent voor klei is het gemiddelde van vijf K0-CRS testen. De grensspanning en m-exponent voor veen is het gemiddelde van drie K0-CRS testen.

Laag	Diepte [m + N.A.P.]	σ'_{vi} [kPa]	σ'_{vy} [kPa]	OCR [-]	S [-]	m [-]	Su [kPa]
Klei 2	-1,35	13,4	35	2,6	0,21	0,90	6,7
Veen	-3,00	14,4	35	2,4	0,55	0,88	17,3

De sterkte naast de dijk wordt gemodelleerd met su measured,

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Conclusie: stabiliteit gewaarborgd en SF in dezelfde orde als su measured (SF=1,34)



B.2.2 Squeezezen

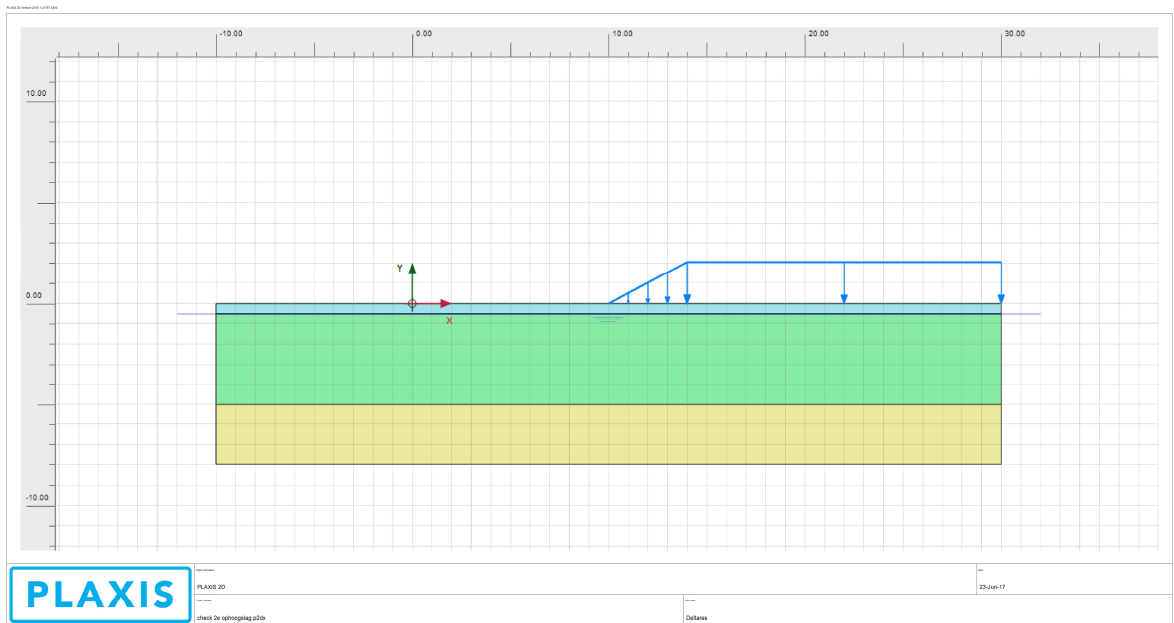
Methode EC			
sigma'_sq,d		43 kPa	
b'	0 m	conservatief op 0	
hsq	5 m	dikte slappe klei en veenlaag	
cud	8 kPa	ondergrens cu waarde obv sonderingen en Nkt is 7kPa	
		10% aanpassing tgv eerste slag ->8kPa	
sigma'vzd	10 kPa	spanning op slappe kleilaag tgv deklaag	
		geschat op $0,7 \cdot 14 \text{ kN/m}^3 = \text{ca. } 10 \text{ kPa}$	

Uit methode EC volgt een max spanningstoename op bovenkant slappe laag van 33 kPa.

Verwachte spanningstoename op bovenkant slappe laag is $2 \cdot 17 = 34 \text{ kPa}$.

Uit deze eenvoudige handberekening volgt dat squeezezen net maatgevend zou kunnen zijn. In werkelijkheid neemt de sterkte toe met de diepte in de slappe laag en is er een verlopend talud. Aanvullend is een Plaxis berekening gemaakt. Hierbij is een su van 7 kPa gehanteerd aan de bovenkant van de slappe laag en 12 kPa (1 kPa/m toename) aan de onderzijde van de slappe laag. In dit geval lijken de vervormingen en mate van plasticiteit nog acceptabel.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



Doorpsonen zal geen maatgevend mechanisme zijn in dit geval. Alleen relevant bij meenemen van veel hogere sterkte deklaag, dat is in dit geval niet gedaan.

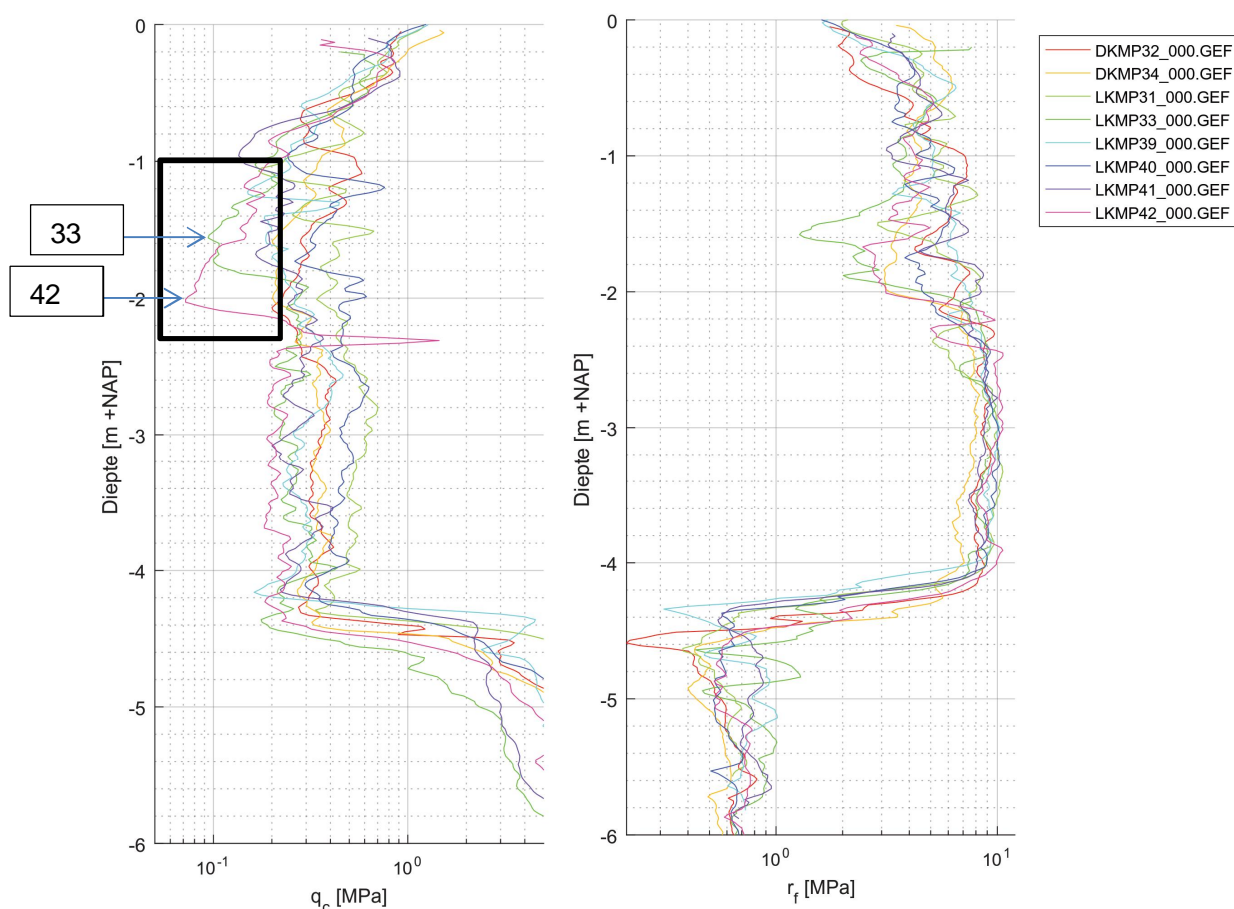
B.3 Vrijgave ophoogslag 3 (2,20 m + N.A.P.)

B.3.1 Sterkte

Er wordt uitgegaan van initiële sterkte, zonder aanpassing als gevolg van consolidatie (geen toegenomen effectieve spanning). Dit is conservatief, omdat bijna alle waterspanningsmeters een afnemende waterspanning laten zien. Slechts op enkele locaties worden nog toenemende waterspanning geobserveerd. Dit zijn voornamelijk de ondiepe waterspanningsmeters (-1,50m+NAP) op de plaats waar een vroegere stroomgeul heeft gelegen. Hier heeft dus waarschijnlijk al een voorbelasting plaatsgevonden.

Met name aan de kant van de groene dijk zit tussen NAP – 1,5 en NAP – 2,0 m een sterk organische kleilaag. Deze laag consolideert zeer slecht en heeft een lage sterkte. Deze lage sterkte volgt uit zowel laboratoriumwerk als uit de sondeerweerstand. In onderstaande figuur is dat gevisualiseerd.

Tussen een niveau van NAP – 1,5 en NAP – 2,0 m loopt de sondeerweerstand extreem terug zodat er nog een ongedraineerde schuifsterkte aanwezig is van circa 3 kPa. Dit is onvoldoende en kan gaan leiden tot wegpersingen.



Er zijn een aantal gevoeligheidsommen gemaakt:

- Uitgangssituatie met sterkte (su) uit sondering 25 (representatief).
- Sterkte uit lokaal slechtste sondering 42.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

- Sterkte uit lokaal slechtste sondering 42, met een minimaal geachte aanwezigheid van 5kPa schuifsterkte.

Het wordt op dit moment niet verantwoord geacht om een hele meter zand op te brengen over het gehele terrein. Hieronder zijn de resultaten voor de gevoeligheidsanalyses met verschillende schuifsterktes weergegeven. Omdat de slappe klei alleen ter plaatse van de groene dijk aanwezig wordt verondersteld wordt de volgende ophoging verantwoord geacht:

- Talud blauwe en groene dijk: ophogen van 0,5 meter tot ca. 2,70m + N.A.P.
- Kopse kanten van de taluds ophogen met 1,0 meter tot ca. 3,20m + N.A.P.

	2,5 meter zand (huidige situatie)	2,5 meter zand + afdekklei
Su uit sondering 25	1,19	1,12
Su uit sondering 42 (verlopend van 8 tot 3 kPa)	0,99	0,97
Su uit sondering 42, (verlopend van 8 tot 5 kPa	1,12	1,07

B.3.2 Aanbevelingen

Door de kopse kanten wel alvast verder op te hogen wordt getracht het risico voor het project te verkleinen. Een instabiliteit op de kopse kant heeft namelijk geen invloed op de uitvoering van de proef. Andersom, als er geen instabiliteit optreedt levert dit een beter 'gevoel' voor de stabiliteit ter plaatse van de taluds.

B.4 Vrijgave ophoogslag 4 (2,70 m + N.A.P.)

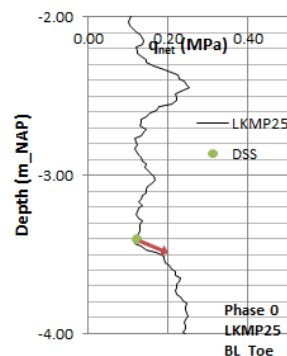
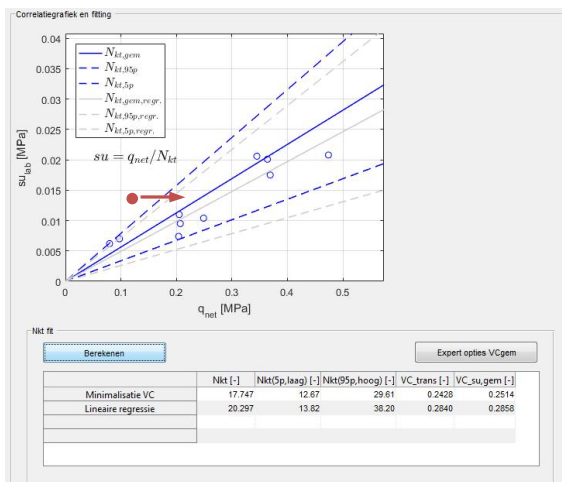
B.4.1 Sterkte op basis van “su measured” (verifiëren met sonderingen)

Er zijn gevoeligheidsberekeningen voor de stabiliteit gemaakt, om te bepalen bij welke schuifsterkte (voor de slappe kleilaag en veenlaag) de stabiliteit voldoende geacht wordt. Met behulp van de tussentijdse sonderingen (met eventueel sterktoename en wel/geen aanwezig van de slappe klei) kan dan beslist worden of de ophoging van 0,50 verantwoord is.

Uit onderstaande tabel met gevoeligheden wordt geconcludeerd dat de stabiliteit gewaarborgd is ($SF > 1,10$) als de s_u over de hele kleilaag groter is dan 12 kN/m^2 . In dat geval moet de s_u over de veenlaag ook groter zijn dan 12 kN/m^2 , om te voorkomen dat een diepere glijcirkel maatgevend wordt (berekening 4).

	Berekening 1	Berekening 2	Berekening 3	Berekening 4
Su kleilaag [kN/m2]	10	11	12	12
Su kleilaag [kN/m2]	10	11	12	12
Su veenlaag [kN/m2]	14	14	14	12
SF [-]	1,03	1,07	1,18	1,10
Onderkant glijcirkel	Klei	Klei	Klei	Veen

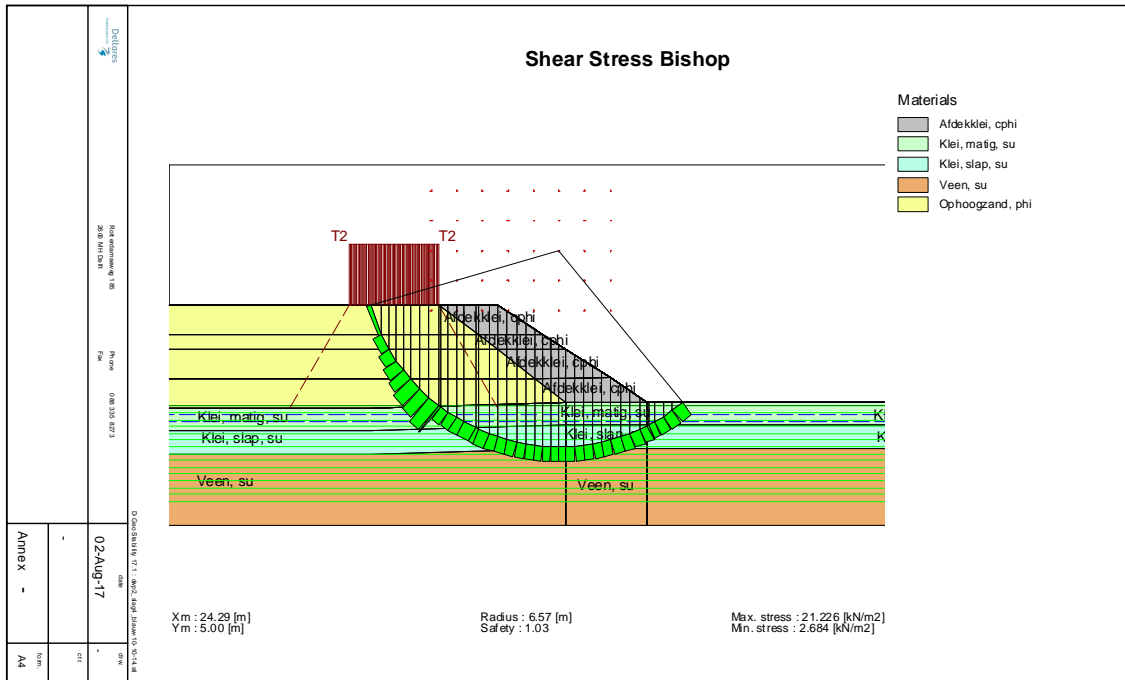
Uit de beschikbare laboratoriumproeven met in situ sterkte, volgt een N_{kt} van ongeveer 17,5 voor klei en veen. Hierbij is het punt op locatie 25 niet meegenomen, omdat dit (voorlopig) als een outlier wordt gezien. Namelijk, op 10cm dieper dan de monsternamen wordt een significant hogere sondeerweerstand gevonden; het punt past dan wel netjes in de gevonden spreiding.



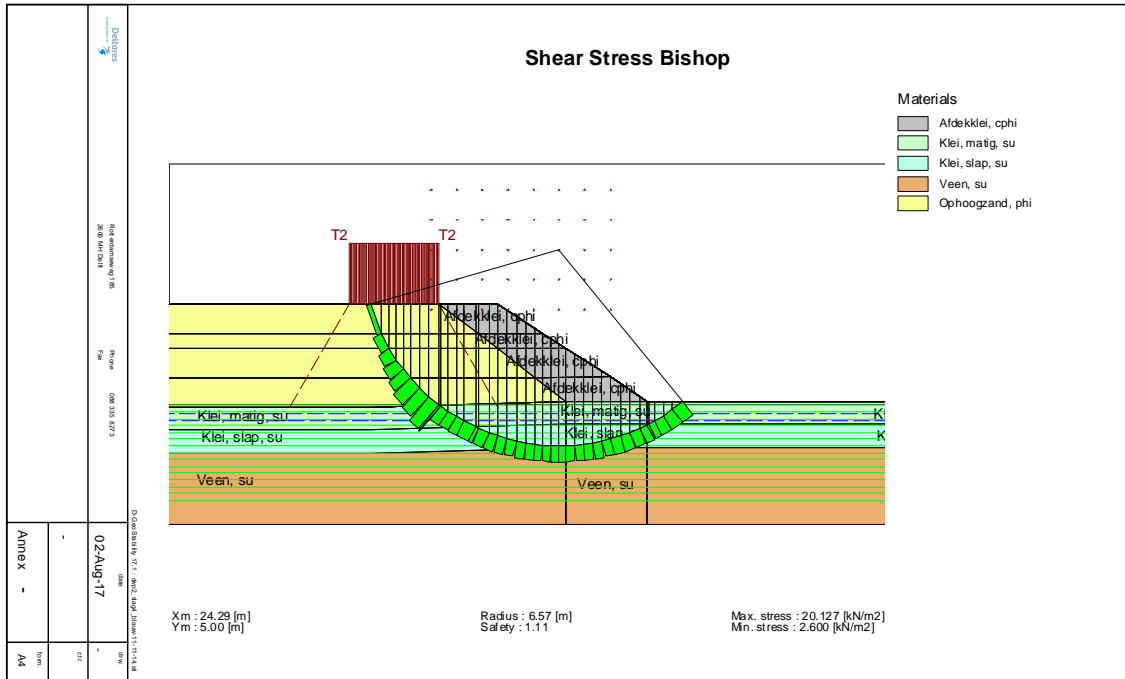
De taludstabiliteit bedraagt 1,06. De glijcirkel gaat hierbij alleen door de bovenste 0,2 m van de topkleilaag. Deze waarde ligt onder de als verantwoorde grens geldende stabiliteitsfactor van 1,1. Diepere glijvlakken geven momenteel aanmerkelijk hogere stabiliteitsresultaten.

Het aanbrengen van een 1 m dikke ophoging leidt tot een reductie van de stabiliteit van meer dan 20% en dat is veel. Een slag van 0,5 m leidt tot een stabiliteitsreductie van ca 10%. De dan gevonden stabiliteit is hoger dan de taludstabiliteit en is momenteel zonder aanvullende informatie uit de sonderingen verantwoord.

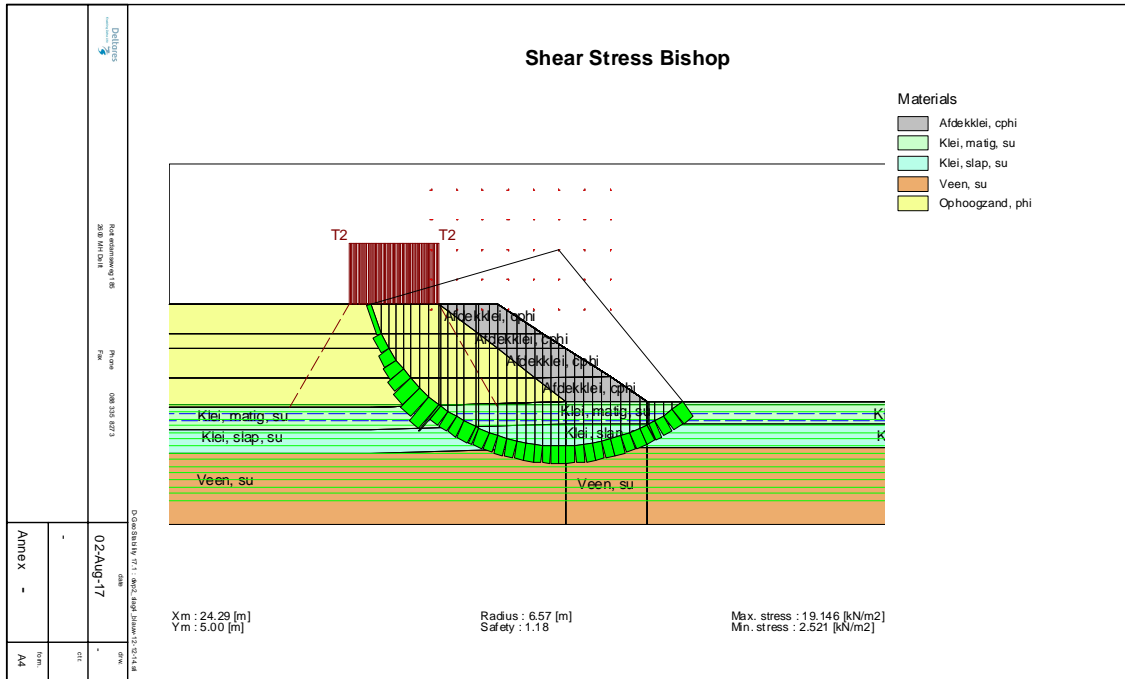
11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

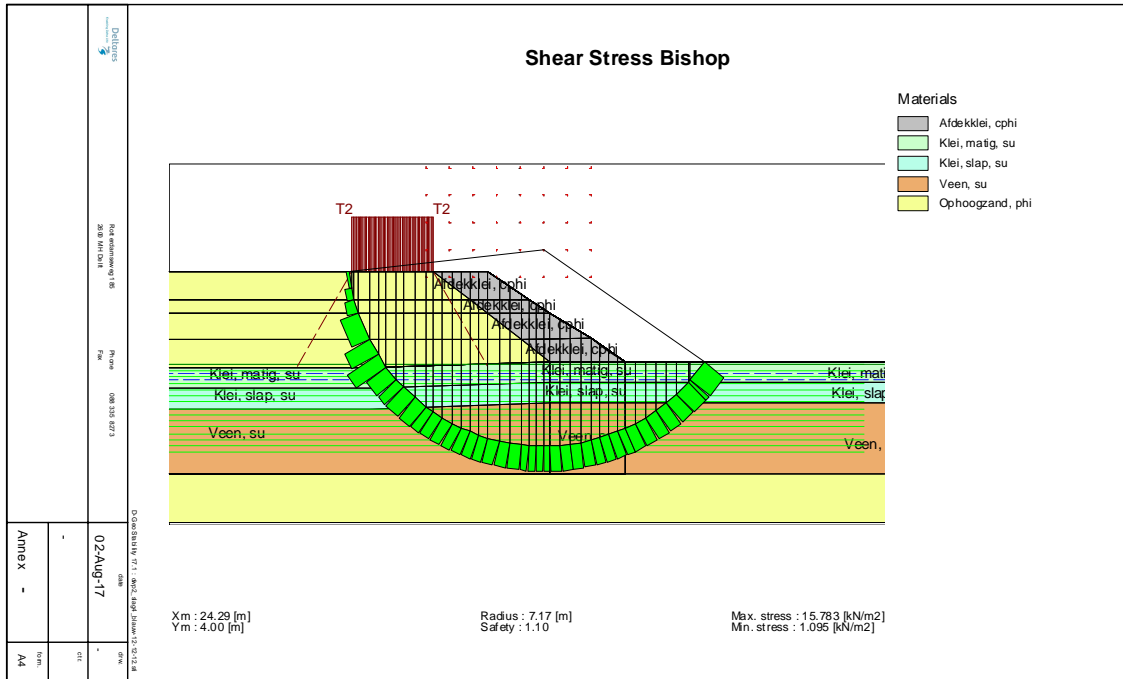


11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief





B.4.2 Op basis van S ratio, m en grensspanning

Voor deze analyses is gebruik gemaakt van het laboratoriumwerk waarbij voor de grensspanning de proeven uitgevoerd op monsters gestoken onder de voormalige zomerkade niet zijn meegenomen in de beschouwing. Op basis hiervan wordt het volgende gevonden voor de S-ratio, m-factoren en grensspanning o.b.v. huidige stand laboratoriumonderzoek.

Voor de normaal geconsolideerde toestand worden de navolgende parameters gevonden.

Grondlaag	Bovenkant laag	S-ratio	grensspanning	m	Su (OC)	Opmerking
	m..NAP	(-)	(kPa)	-		
Klei top	-0.20	0.28		0.8	8	aanname
Klei (slap)	-0.85	0.38	26.35 (op NAP -1,50)	0.91	8-5	Hoog organisch stof gehalte, Sratio is hoog
Veen (10,0)	-1.60	0.49	25.6 (op NAP -3.50)	0.87	12	
Zand	-4.20	-	-	-		Gedraineerd (c=0 phi = 30)

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Uit de waterspanningsmetingen op 8 augustus volgt dat de onder de kruin van de groene dijk een hoger aanpassing aanwezig lijkt in vergelijking tot de blauwe dijk. Dit is ongetwijfeld de invloed van de voorbelasting. De volgende aanpassingen zijn gevonden:

Dijk	niveau	Gem wateroversp.	Belasting	consolidatie	opmerking
		(kPa)	(kPa)	(%)	
Groen	-1.5	18	33,4	46	
Groen	-3.0	22	33,4	33	
Blauw	-1.5	24	33.4	25	
Blauw	-3.0	25	33.4	25	

Op basis van bovenstaande parameters en gemeten waterspanningen zijn berekeningen gemaakt en hieronder weergegeven (VB staat voor een kraanbelasting van 5 kPa)

berekening	Met VB	Zonder VB	
Stab ophoging	1,06	1,06	Talud stab
Situatie 8-aug groen	1,47	Nvt	Sterkte toename in klei is groot a.g.v. S ratio 0,38
Situatie 8 aug blauw	1,23	nvt	
Groen +1 m zand	1,08	1,10	
Blauw + 1 m zand	1,00	1,03	
Groen+0,5 m zand	1,21	nvt	
Blauw+0,5 m zand	1,14	nvt	
Groen +1 m zand S ratio slappe klei 0,28	0,94		
Groen +0,5 m zand S ratio slappe klei 0,28	1,05		

De sterkte van de kleilaag is bepalend voor de uitvoeringsstabiliteit. De buik van de glijcirkels bevinden zich hierin. Dit volgt uit de analyse op bases van een berekende S_u en op basis van een gemeten S_u . Uit het laboratorium volgt voor deze klei (sterk organisch materiaal met een organische stof gehalte van > 25%) een S-ratio van 0,38. Dit is hoog, maar gegeven de hoge organische content nog wel te verklaren. Door de S-ratio op 0,28 te zetten, neemt de stabiliteit met circa 12% af.

De sonderingen moeten aantonen of deze sterkte toename ook aanwezig is. Ter indicatie wordt op basis van de huidige laboratoriumproefresultaten (dus S-ratio van 0,38) en gemeten waterspanningen een sterkte in de kleilaag verwacht van 10 kPa. Bij 12 kPa wordt een stabiliteitsfactor van 1,1 gevonden.

Om een schuifsterkte van 12 kN/m^2 te bereiken is een q_{net} van 0,21 Mpa (210 kPa) benodigd, uitgaande van een Nkt van 17,5. ($q_{\text{net}} = q_t - \sigma_v$) Momenteel is dat niet het geval voor alle sonderingen, maar mogelijk blijkt dit wel uit de nieuwe sonderingen t.p.v. de kruin, omdat hier sterkte toename verwacht wordt. Door de geplande taludsonderingen is het wellicht mogelijk om de omvang van de zwakke plek ter plaatse van (loc 33 en) 42 beter in te schatten. Hiertoe worden zes extra sonderingen gepland ter plaatse van het talud.



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

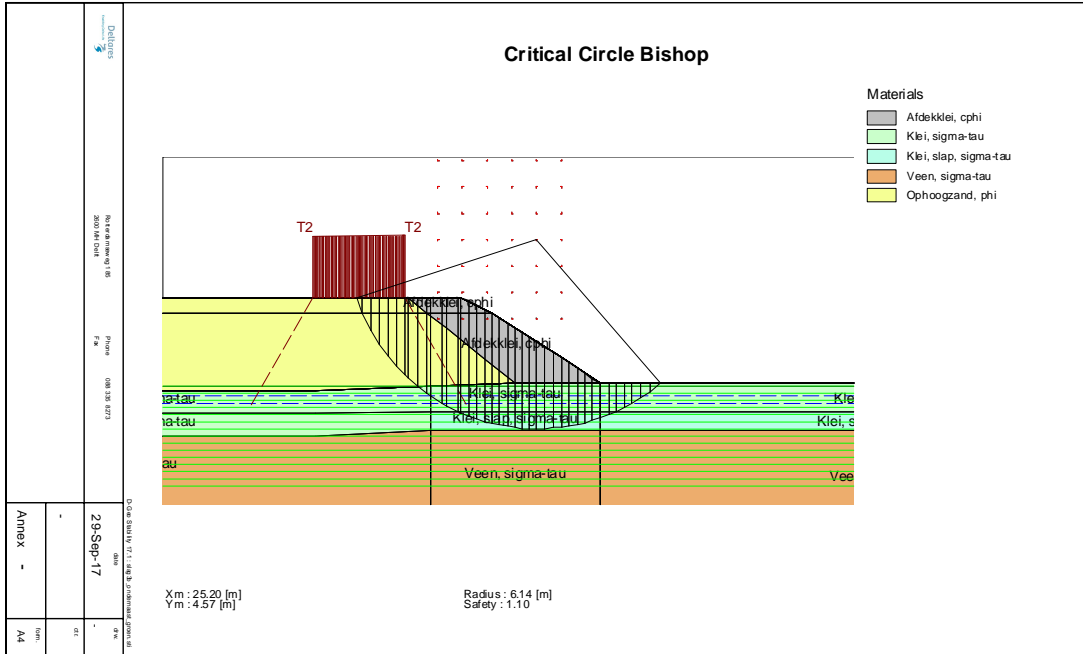
Op basis van bovenstaande resultaten wordt besloten om de ophoogfasering aan te passen en de aanpak te verscherpen. De achtergronden worden besproken in Deltares memo 11200956-012-GEO-0001-m, welke is opgenomen in Bijlage C.

De beschreven uitgangspunten zijn in onderstaande berekening meegenomen voor de ophoging naar 2,7m+N.A.P. voor de groene en blauwe zijde en 3,2m+N.A.P. voor de kopse zijden.

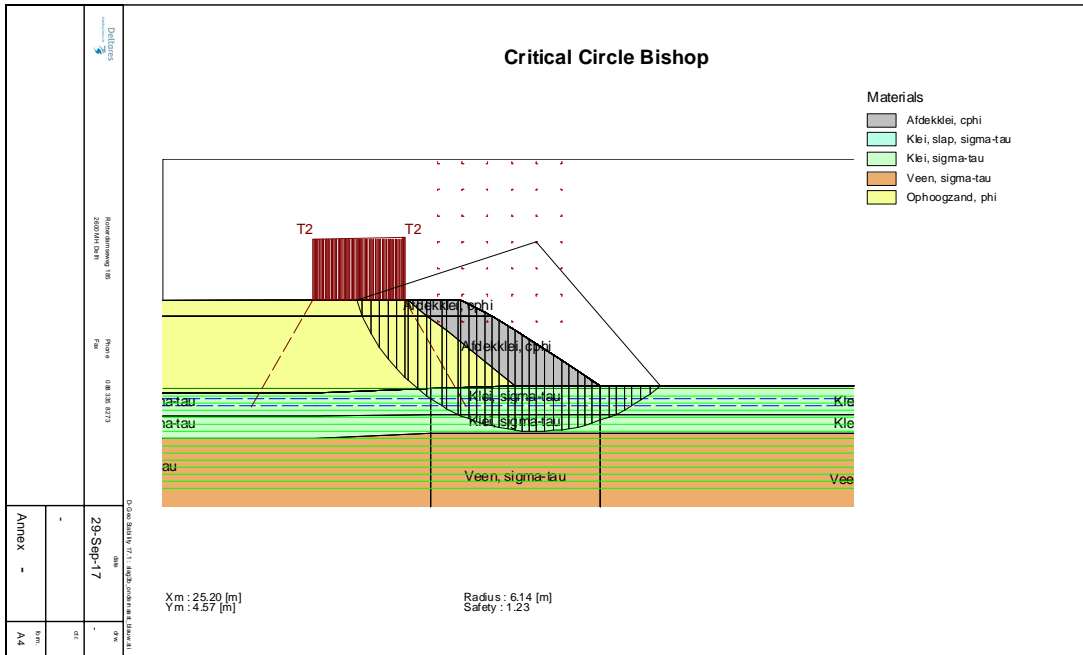
	SF	Criterium
Blauwe dijk (NAP+2,70m)	1,23	>1,10 OK
Groene dijk (NAP+2,700m)	1,10	>1,00 OK
Kopterp (NAP+3,20m)	1,14	>1,05 OK

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Groene zijde

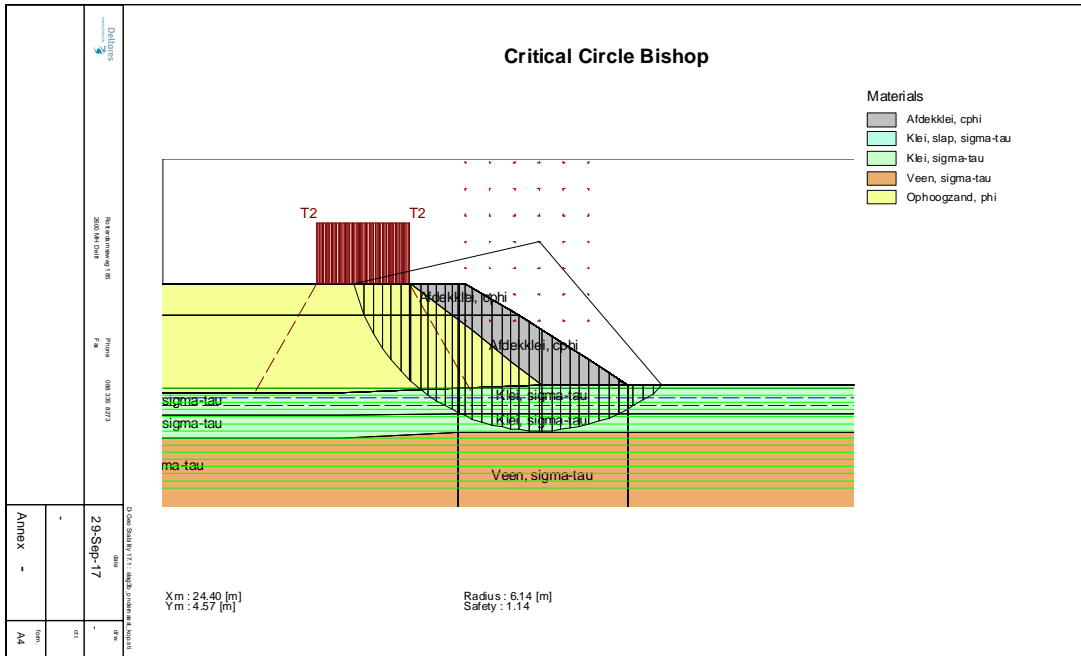


Blauwe zijde



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Kopse kant

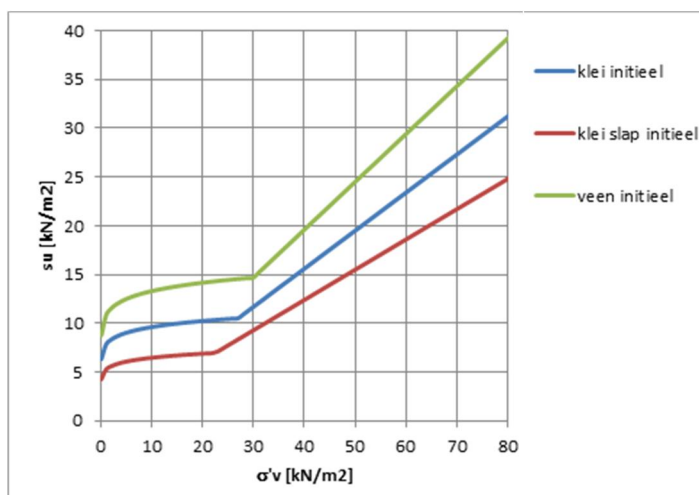


B.5 Vrijgave ophoogslag 5 (3,20 m + N.A.P.)

B.5.1 Sterkte

Nader onderzoek heeft aangetoond in hoeverre de slappe klei aanwezig is onder het talud t.p.v. de groene dijk. Hiervoor wordt 5,5 meter ten opzichte van de binnenteen aangehouden. Voor de sterkte worden de volgende SHANSEP lijnen aangehouden, conform het beschikbare grondonderzoek.

	S	m	pg
klei	0.39	0.91	27.0
klei slap	0.31	0.91	22.5
veen	0.49	0.87	30.0



Uit de monitoring worden de wateroverspanningen (op NAP-3m) op 15 september afgelezen. De dikte van het opgebrachte materiaal (geschat gewicht van 17,5kN/m³ (grotendeels droog) volgt uit de zakbaakmetingen. Hiermee wordt de gewichtstoename en het aanpassingspercentage geschat.

Aanpassing diep (NAP-3m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-3m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3m)	Wateroverspanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings-toename σ_v (kPa)	Aanpassing
Noord	1.83	-0.60	23.8	2.97	52.0	54%
Midden	2.29	-0.50	27.4	2.99	52.4	48%
Zuid	2.25	-0.50	26.9	2.92	51.0	47%

Blauwe dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-3m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3m)	Wateroverspanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings-toename σ_v (kPa)	Aanpassing
Noord	2.61	-0.75	33.0	3.45	60.3	45%
Midden	2.55	-0.75	32.4	3.36	58.8	45%
Zuid	2.73	-0.50	31.7	3.43	60.0	47%

Aanpassing ondiep (NAP-1.5m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σ_v (kPa)	Aanpassing
Noord	1.35	-0.80	21.1	2.97	52.0	59%
Midden	0.64	-0.90	15.1	2.99	52.4	71%
Zuid	1.24	-0.75	19.6	2.92	51.0	62%

Blauwe dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σ_v (kPa)	Aanpassing
Noord	2.68	-0.75	33.7	3.45	60.3	44%
Midden	2.30	-0.80	30.4	3.36	58.8	48%
Zuid	2.57	-0.75	32.5	3.43	60.0	46%

Op basis hiervan wordt de in situ effectieve spanning geschat en wordt de verwachte ongedraineerde schuifsterkte afgelezen van de SHANSEP lijnen. Deze schuifsterkte wordt ingevoerd in de stabiliteitssom. Dit is verschillend ten opzichte van de eerder gehanteerde aanpak met sigma tau lijnen. Bij sigma tau lijnen wordt gerekend met een c en phi op basis van de normaalspanning, niet met een schuifsterkte op basis van verticale spanning. De modellering met sigma tau curves is hierbij waarschijnlijk te conservatief.

Voor de diverse grondlagen wordt de nieuwe effectieve spanning berekend door de het aanpassingspercentage te vermenigvuldigen met het opgebrachte gewicht (van de aanwezige ophoogslagen) en op te tellen bij de initiële verticale effectieve spanning. De aanpassingspercentages voor noord, midden en zuid zijn hierbij gemiddeld. Klei en klei slap wordt gekoppeld aan de ondiepe waterspanningsmeters, veen wordt gekoppeld aan de aanpassingspercentages die volgen uit de diepe waterspanningsmeters. Dit leidt tot de volgende schuifsterktes onder de dijk.

	Groene dijk		Blauwe dijk	
	Effectieve spanning σ_v (kPa)	Ongedraineerde schuifsterkte (kN/m ²)	Effectieve spanning σ_v (kPa)	Ongedraineerde schuifsterkte (kN/m ²)
Klei	13+33=46	18.0	13+27=40	15.8
Klei slap	13+33=46	14.3	13+27=40	12.5
Veen	18+26=44	21.4	18+27=43	22.2

Ter plaatse van de teen (en binnendijks) wordt geen sterkte-toename en geen sterkte-afname verondersteld en wordt de initiële schuifsterkte verondersteld, zie onderstaande tabel.

	S	m	pg	σ'_{v0}	su0
klei	0.39	0.91	27.0	13.0	9.9
klei slap	0.31	0.91	22.5	13.0	6.6
veen	0.49	0.87	30.0	18.0	13.8

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

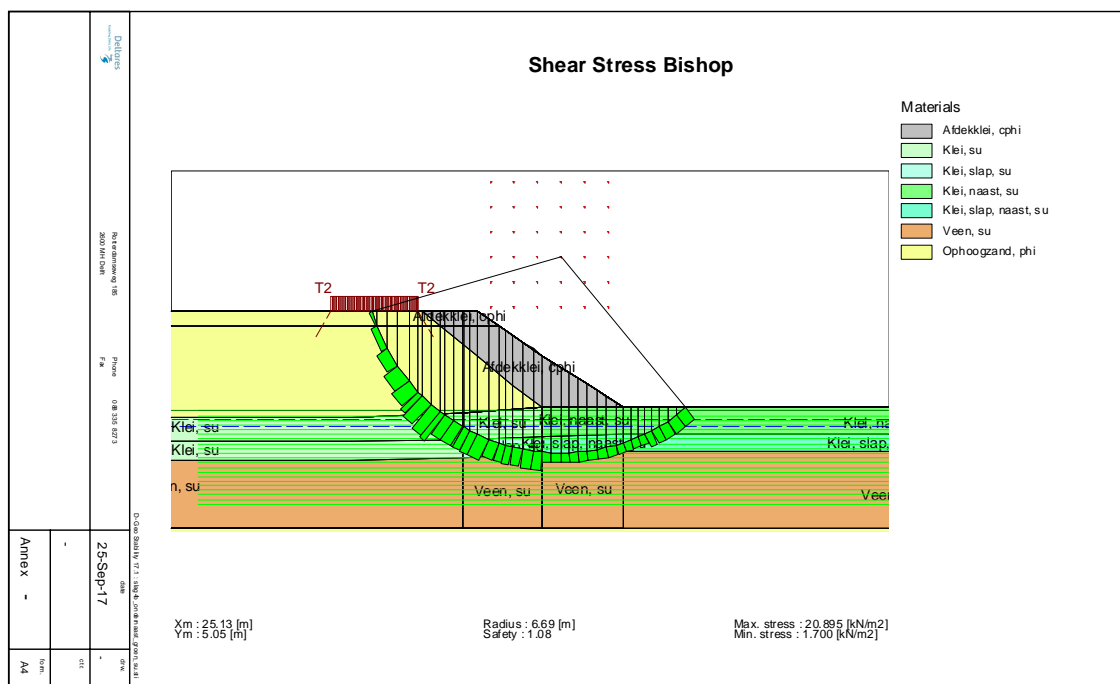
Voor de kopterp wordt dezelfde schuifsterkte als de blauwe dijk aangehouden. Dit is conservatief, omdat de kopterpen al eerder 50cm ophoging gehad hebben, waardoor er ook meer consolidatie en meer sterkte-ontwikkeling is geweest.

Met 50cm ophoging (tot ongeveer NAP +3,20m voor de taluds en NPA+3,70m voor de kopse kanten) bedraagt de stabiliteitsfactor.

	SF	Criterium
Blauwe dijk (NAP+3,20m)	1,25	>1,10 OK
Groene dijk (NAP+3,20m)	1,08	>1,00 OK
Kopterp (NAP+3,70m)	n/a	>1,05 OK

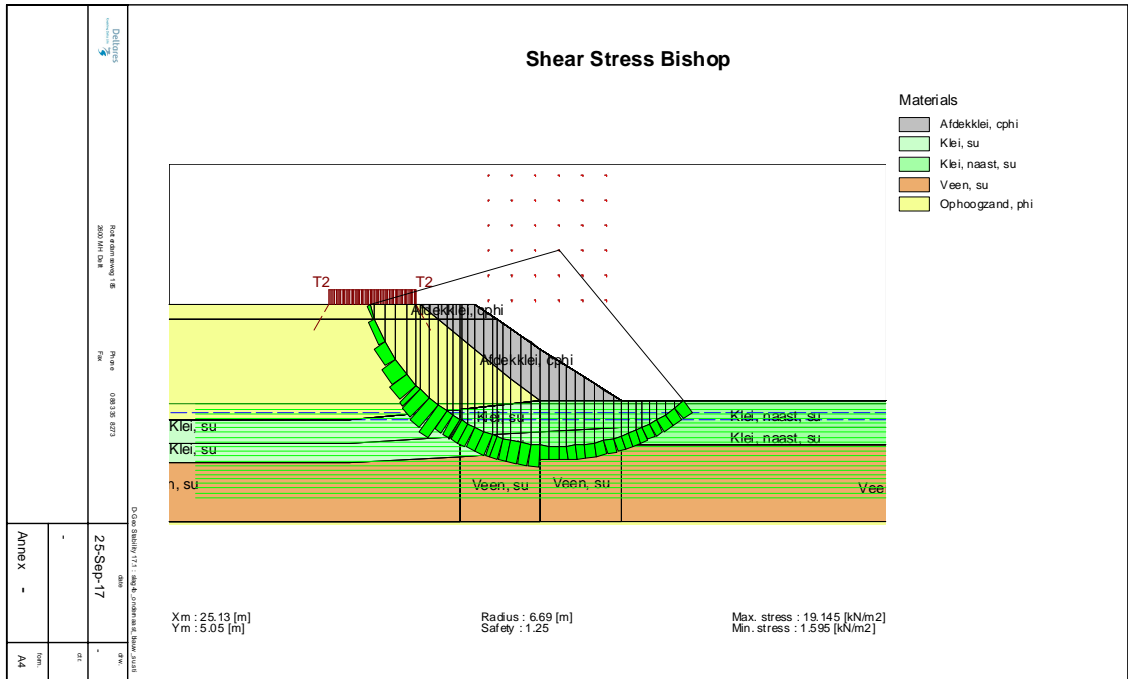
Dit is voldoende om een halve meter ophoging vrij te geven.

Groene dijk



11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Blauwe dijk



B.6 Vrijgave ophoogslag 6 (3,70 m + N.A.P.)

B.6.1 Sterkte

Uitgangspunt zijn de sterkteparameters conform de concept interpretatie laboratorium-onderzoek¹³. De waarden van de grensspanning en S voor slappe klei zijn niet significant veranderd ten opzichte van de gebruikte SHANSEP lijnen bij memo t.b.v. ophoogslag 5.

	S	m	pg
Klei	0.39	0.91	27.6
Klei slap	0.35	0.91	20.6
Veen	0.50	0.86	19.3
Veen vb	0.50	0.86	38.3

Voor de berekening is de sterkte gemodelleerd met SHANSEP lijnen conform bovenstaande tabel. De gekozen implementatie “Su measured” en is uitgesplitst naar onder en naast. Er is ook een vergelijking met het model “Su calculated with yield stress” gemaakt. Dit leidt tot vergelijkbare resultaten.

Voor de vorige slagen was een glijvlak dat net onder de kleilaag door ging maatgevend. Door de groter hoogte van de terp en iets lagere grensspanning voor het veen, wordt een dieper glijvlak (door het veen) net maatgevend. Omdat het schuifsterkte model Uplift-Van beter aansluit bij deze vorm van het glijvlak wordt dit model voor de berekening gekozen.

Voor de aanpassingspercentages worden de volgende waarden berekend:

Aanpassing diep (NAP-3m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-3m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σv (kPa)	Aanpassing
Noord	1.83	-0.60	23.8	2.97	52.0	54%
Midden	2.29	-0.50	27.4	2.99	52.4	48%
Zuid	2.25	-0.50	26.9	2.92	51.0	47%

Blauwe dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-3m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σv (kPa)	Aanpassing
Noord	3.46	-0.75	41.3	4.01	70.1	41%
Midden	3.27	-0.75	39.4	3.95	69.0	43%
Zuid	3.34	-0.50	37.7	3.98	69.7	46%

¹³ “POVM Eemdijkproef – Geotechnisch basisrapport, Product F4”, projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-006-GEO-0004-gbh, versie concept, oktober 2017;

Aanpassing ondiep (NAP-1.5m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename ov (kPa)	Aanpassing
Noord	1.97	-0.80	27.2	3.53	61.7	56%
Midden	0.78	-0.90	16.5	3.55	62.1	73%
Zuid	1.69	-0.75	23.9	3.48	60.8	61%

Blauwe dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename ov (kPa)	Aanpassing
Noord	3.60	-0.75	42.6	4.01	70.1	39%
Midden	3.07	-0.80	37.9	3.95	69.0	45%
Zuid	3.17	-0.75	38.4	3.98	69.7	45%

Als uitgangspunten zijn genomen:

- Hoogte van het talud van de huidige slag 4a (tot 3,20+N.A.P.)
- Waterspanningen op 4 oktober, welke leiden tot een aanpassingspercentage voor de:
 - blauwe dijk 45% diep en 45% ondiep (tov de huidige slag).
 - groene dijk 45% diep en 60% ondiep (tov de huidige slag).
 - De verwachting is dat door consolidatie de aanpassingspercentages nog iets zullen toenemen tot 50%.
 - Omdat de kopterp een halve meter voorloopt met ophogen, wordt verondersteld dat de 50% aanpassing is bereikt ten opzichte van de slag tot +3,7m+N.A.P.

Voor de stabiliteit wordt gevonden:

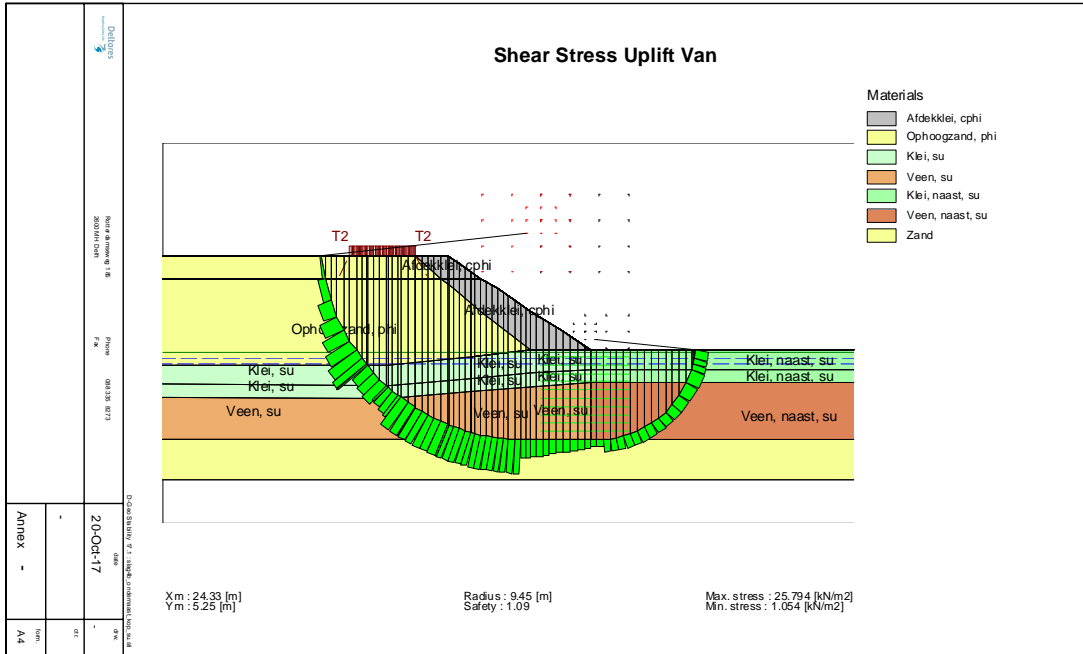
	SF	Criterium
Blauwe dijk (NAP+3,70m)	1,10	>1,10 OK
Groene dijk (NAP+3,70m)	1,11	>1,00 OK
Kopterp(NAP+4,20m)	1,09	>1,05 OK

Opmerkingen:

- Doordat de glijcirkels door het veen maatgevend zijn, is de SF van de groene dijk nu hoger dan die van de blauwe dijk, door de hogere consolidatie (ondiepe aanpassingspercentage).
- Verder blijkt uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat een hoogwater op de Eem (met bijbehorende toename in de stijghoogte in het diepe zand) leidt tot een afname in de SF van ongeveer 0,05. Dit zal geen invloed hebben op de ophoofasering.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Kopterp



B.7 Vrijgave ophoogslag 7 (4,20 m + N.A.P.)

B.7.1 Sterkte

Uitgangspunt zijn de sterkteparameters conform de concept interpretatie laboratorium-onderzoek¹⁴. De waarden van de grensspanning en S voor slappe klei zijn niet significant veranderd ten opzichte van de gebruikte SHANSEP lijnen bij memo t.b.v. ophoogslag 5.

Voor de aanpassingspercentages worden de volgende waarden berekend:

Aanpassing diep (NAP-3m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-3m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σv (kPa)	Aanpassing
Noord	2.56	-0.60	31.0	4.07	71.3	56%
Midden	3.20	-0.50	36.3	4.09	71.6	49%
Zuid	3.00	-0.50	34.3	4.03	70.5	51%

Blaue dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-3m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σv (kPa)	Aanpassing
Noord	3.68	-0.75	43.4	4.55	79.6	45%
Midden	3.50	-0.75	41.7	4.49	78.5	47%
Zuid	3.57	-0.50	40.0	4.51	79.0	49%

Aanpassing ondiep (NAP-1.5m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σv (kPa)	Aanpassing
Noord	2.24	-0.80	29.8	4.07	71.3	58%
Midden	0.81	-0.90	16.8	4.09	71.6	77%
Zuid	1.92	-0.75	26.2	4.03	70.5	63%

Blaue dijk						
	Stijghoogte 21-9 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename σv (kPa)	Aanpassing
Noord	3.92	-0.75	45.8	4.55	79.6	42%
Midden	3.35	-0.80	40.8	4.49	78.5	48%
Zuid	3.51	-0.75	41.8	4.51	79.0	47%

¹⁴ "POVM Eemdijkproef – Geotechnisch basisrapport, Product F4", projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-006-GEO-0004-gbh, versie concept, oktober 2017;

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Als uitgangspunten zijn genomen:

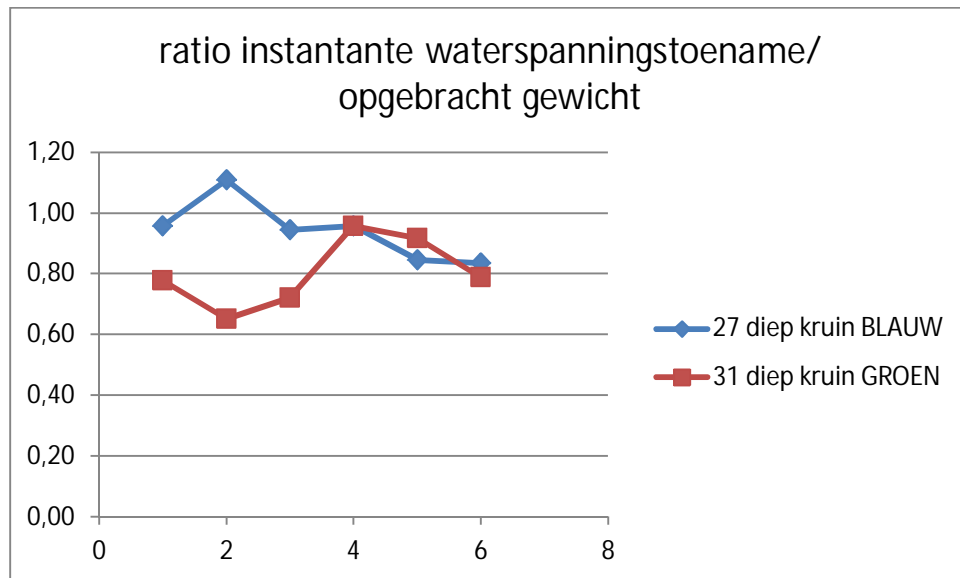
- Huidige hoogte van het talud (3,70+N.A.P.)
- Waterspanningen op 18 oktober, die leiden tot een aanpassingspercentage voor de
 - Blauwe dijk 45% diep en 45% ondiep (tov slag 6).
 - Groene dijk 50% diep en 65% ondiep (tov slag 6).
 - Omdat de kopterp 0,5 m voorloopt met ophogen, wordt verondersteld dat de 50% aanpassing is bereikt ten opzichte van de slag tot +4,20m+N.A.P.

Voor de stabiliteit wordt gevonden:

	SF	Criterium
Blauwe dijk	1,14	>1,10 OK
Groene dijk	1,16	>1,00 OK
Kopterp	1,15	>1,05 OK

Opmerkingen:

- De ratio instantane waterspanningstoename van de waterspanningsmeters/ opgebracht gewicht is redelijk constant over de laatste drie ophoogslagen van 50cm zand. Voor slag 3 is een kleine verhoging van de opgebrachte hoeveelheid zand gemaakt, omdat hier het middenterrein extra is opgehoogd. Voor slag 6 is een kleine verlaging gedaan in de opgebrachte hoeveelheid zand, omdat het middenterrein niet is opgehoogd.



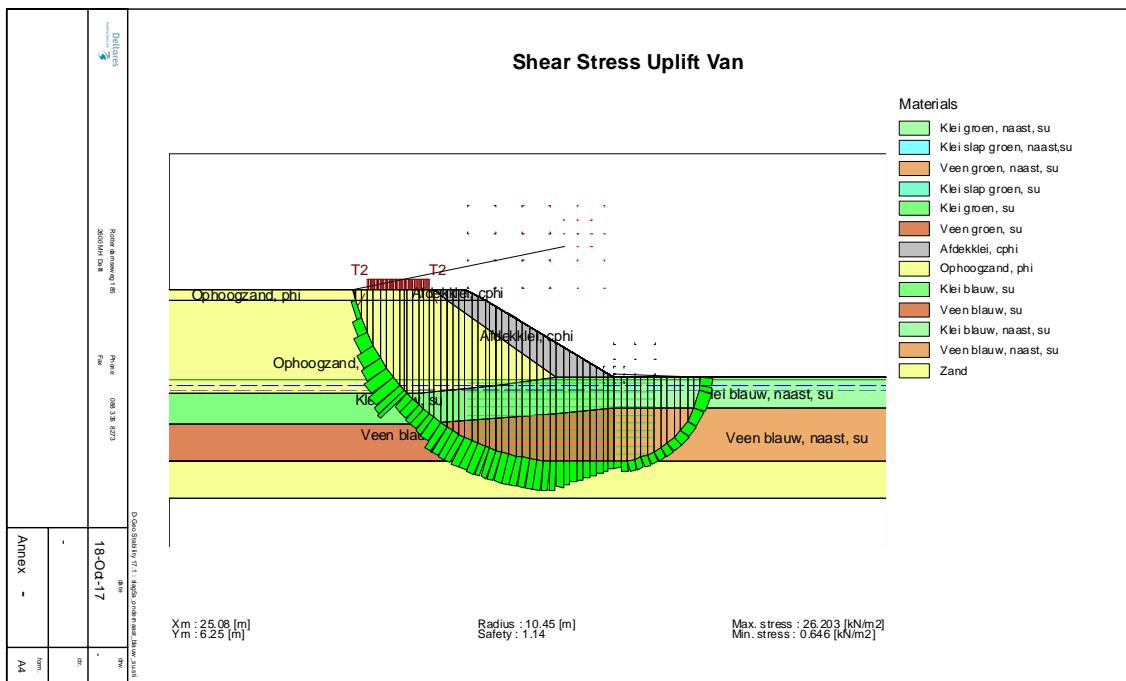
- Op basis van bovenstaande informatie wordt verondersteld dat bij iedere volgende slag minimaal een gelijke toename in de effectieve spanning (van 6kPa) verwacht wordt. In dat geval zullen voor de volgende ophoogslagen de volgende stabiliteitsfactoren gevonden worden:

	25-okt	15-nov	6-dec	3-jan
Bruto ophoging	NAP+4,20	NAP+4,70	NAP+5,20	NAP+5,70
Blauwe dijk	1,14	1,14	1,13	1,13
Groene dijk	1,16	1,15	1,14	1,14

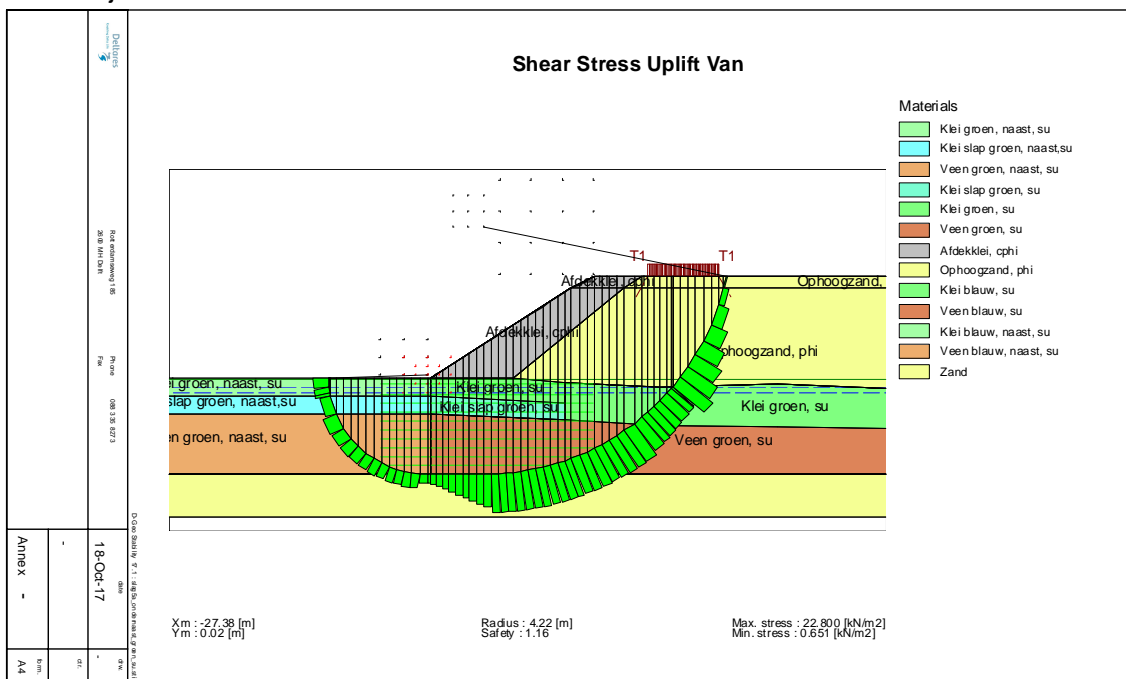
11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

- Op basis van bovenstaande berekeningen is een curatieve steunberm voorlopig niet nodig, zolang de toename in effectieve spanning per slag in bovengenoemde orde (6kPa) is.

Blauwe dijk



Groene dijk



B.8 Vrijgave ophoogslag 8 (4,70 m + N.A.P.)

B.8.1 Sterkte

- Sterkteparameters conform concept interpretatie laboratoriumonderzoek¹⁵.
- Huidige hoogte van het talud: 4,20+N.A.P. minus 6cm zetting tussen moment van aanbrengen en vandaag (6 november).
- Waterspanningen op 11 november leiden tot de volgende aanpassingspercentages:
 - Blauwe dijk 50% diep en 50% ondiep (tov het huidig opgebrachte gewicht).
 - Groene dijk 57% diep en 67% ondiep (tov het huidig opgebrachte gewicht).
 - Voor de kopterpen is eenzelfde aanpassingspercentage als voor de blauwe dijk aangehouden, maar dan toegepast op het huidig opgebrachte gewicht op de kopterp, wat 50cm hoger is dan elders.
- Andere uitgangpunten (kraanbelasting, geometrie, etc.) onveranderd ten opzichte van de vorige ophoogslagen. (product S: factual report aanleg).

Voor een ophoging van 50cm tot een niveau van +4,70m+N.A.P. wordt voor de stabiliteit gevonden:

	SF	Criterium
Blauwe dijk	1,14	>1,10 OK
Groene dijk	1,18	>1,00 OK
Kopterp	1,10	>1,05 OK

Voor de aanpassingspercentages zijn de waarden als volgt berekend:

Aanpassing diep (NAP-3m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 6-11 (op NAP- 3 m)	Stijghoogte initieel (op NAP- 3 m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename ov (kPa)	Aanpassing
Noord	2.69	-0.60	32.3	4.66	81.5	60%
Midden	3.34	-0.50	37.7	4.68	81.9	54%
Zuid	3.13	-0.50	35.6	4.61	80.7	56%

Blauwe dijk						
	Stijghoogte 6-11 (op NAP-3 m)	Stijghoogte initieel (op NAP-3 m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename ov (kPa)	Aanpassing
Noord	4.00 ¹⁶	-0.75	46.6	5.13	89.8	48%
Midden	3.70	-0.75	43.6	5.08	88.9	51%
Zuid	4.02	-0.50	44.3	5.12	89.6	51%

¹⁵ "POVM Eemdijkproef – Geotechnisch basisrapport, Product F4", projectteam Eemdijkproef, Deltares kenmerk 11200956-006-GEO-0004-gbh, versie concept, oktober 2017;

¹⁶ De waterspanning is handmatig op NAP +4 meter ingeschat, omdat de waterspanningsmeter niet funtioneerde i.v.m. knaagschade.

Aanpassing ondiep (NAP-1.5m)

Groene dijk						
	Stijghoogte 6-11 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename ov (kPa)	Aanpassing
Noord	2.59	-0.80	33.3	4.66	81.5	59%
Midden	1.02	-0.90	18.9	4.68	81.9	77%
Zuid	2.10	-0.75	28.0	4.61	80.7	65%

Blauwe dijk						
	Stijghoogte 6-11 (op NAP-1.5m)	Stijghoogte initieel (op NAP-1.5m)	Waterover- spanning (kPa)	Dikte opgebracht zand (m)	Spannings- toename ov (kPa)	Aanpassing
Noord	4.57*	-0.75	52.2	5.13	89.8	42%
Midden	3.94	-0.80	46.5	5.08	88.9	48%
Zuid	4.09	-0.75	47.5	5.12	89.6	47%

*) Waterspanningmeter 37 (blauw, noord, ondiep) geeft de hoogste respons en neemt het minst af

Opmerkingen

- De berekende sterkte is in lijn met wat bij de vorige slag (25-okt) voorspeld was, namelijk:
 - De toename in effectieve spanning is in dezelfde orde als aangenomen bij de voorspelling bij de vorige slag. Er was gemiddeld 6kPa effectieve spannings-toename gebruikt in de voorspelling. Voor de groene dijk blijkt dit iets hoger (8) te zijn en voor de blauwe dijk iets lager (4).
 - De lagere spanningstoename voor de blauwe dijk is niet significant een heeft geen significant effect op de stabiliteit. Dit nieuwe inzicht geeft geen reden om de voorspellingen voor de komende ophoogslagen of de ophoogfasering aan te passen.

Voorspelling bij ophoogslag 7 (dd. 25-okt)

	25-okt	15-nov	6-dec	3-jan
	NAP+4,20	NAP+4,70	NAP+5,20	NAP+5,70
Blauwe dijk	1,14	1,14	1,13	1,13
Groene dijk	1,16	1,15	1,14	1,14

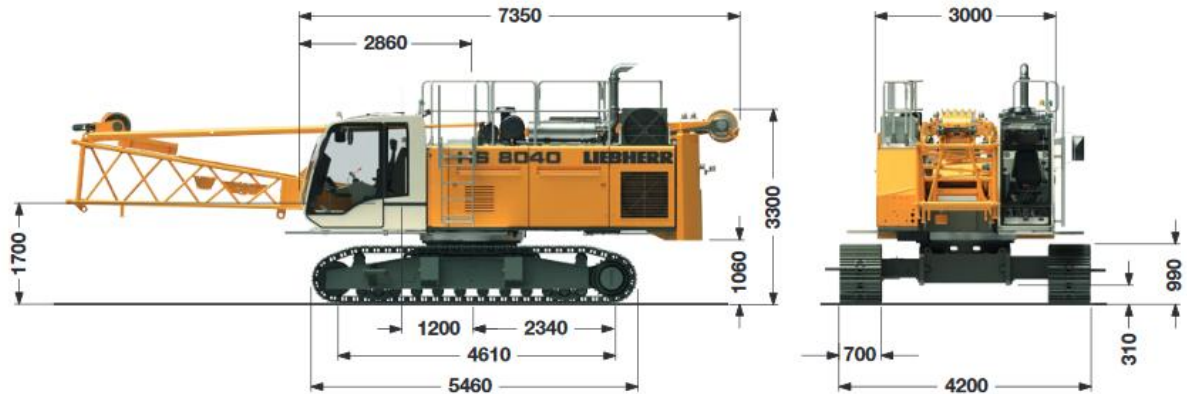
Gevoeligheidsanalyses

Installeren damwand

Naar verwachting wordt na het opbrengen van ophoogslag 8 de damwand geïnstalleerd. Hiervoor is het benodigd dat zwaar materieel op de terp rijdt. De stabiliteit moet gewaarborgd zijn tijdens deze werkzaamheden. Een gevoeligheidsanalyse wordt gemaakt voor de stabiliteit met een hogere kraanbelasting ten gevolge van de kraan.

Naar verwachting zal een draadkraan met een gewicht van ca. 50 ton gebruikt worden bij het installeren van de damwand. Een voorbeeld is de Liebherr HS 8040 HD, waarvan onderstaand de afmetingen zijn weergegeven.

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief



De kraan zal rijden over draglineschotten van 6 meter lang. Gezien de lengte van de rupsen zal de belasting verdeeld worden over ongeveer 5 schotten van een meter. De belasting zal dus minimaal spreiden over 30m^2 . De gemiddelde belasting is dus $530\text{kN}/30 = 17.5\text{kN/m}^2$. Daarnaast zal de belasting nog spreiden in de diepte ondergrond. Hiervoor wordt een spreidingshoek van 30 graden gehanteerd. In 2D komt dit gemiddeld neer op $17.5/1.5 = 12\text{kN/m}^2$ over 6 meter.

In het slechtste geval staat de kraan op de rand van het zandtalud. Voor deze conservatieve situatie bedraagt de SF 1,07. Gezien de conservatieve aanname, wordt dit ruim voldoende geacht.

Voor de lokale stabiliteit van het zandtalud ('buitentalud') bedraagt de SF 1,47 bij een 1V:1,5H talud van ongeveer 1 meter hoogte.

Ontgraven

Voor het definitief ontwerp (DO) van de full scale proef is het van belang om een inzicht te hebben met welke maatregelen het waarschijnlijk is dat de dijk instabiel wordt. Hiervoor worden achtereenvolgens beschouwd:

- Achterland ontgraven over 25 meter lengte en 1,5 diepte.
- Droogpompen van het ontgraven gebied.
- Verhogen van de freatische lijn in het dijklichaam tot NAP+3m (verwachte maximaal haalbare niveau).
- Aanbrengen bovenbelasting: containers met ca. 2 meter water (20kPa over 2,5m).

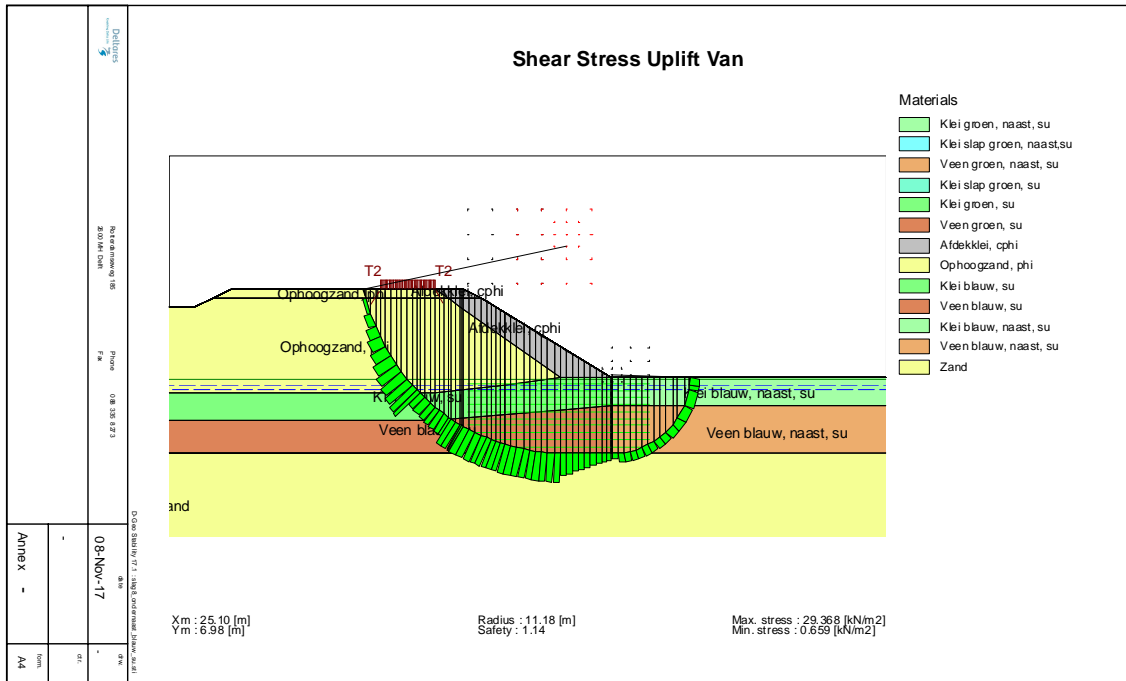
Als uitgangspunt wordt de sterkte gebruikt, die verwacht wordt direct na het op hoogte komen van de terp (NAP+5,3m). In realiteit zal de sterkte nog hoger worden, omdat de proef niet direct na het ophogen plaats zal vinden.

Gezien het lage gewicht van de veenlaag en de relatief hoge potentiaal in het watervoerende pakket zou de veenlaag kunnen opbarsten. In dit geval is de schuifsterkte su gelijk aan 0 genomen en is de stabiliteit nog lager.

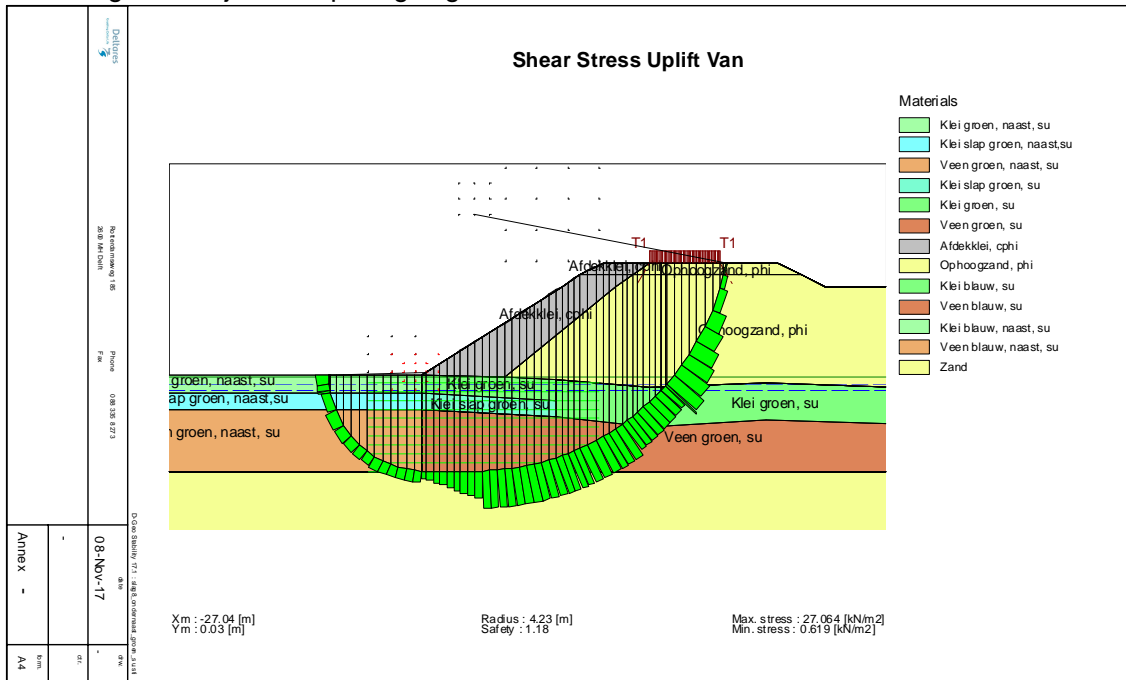
1. Uitgangssituatie	SF = 1,16
2. Ontgraven	SF = 1,02
3. Droogpompen	SF = 0,98 (*in geval opbarsten veenlaag 0,86)
4. Verhogen freatische lijn	SF = 0,88 (*in geval opbarsten veenlaag 0,77)
5. Aanbrengen bovenbelasting	SF = 0,81 (*in geval opbarsten veenlaag 0,71)

11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Stabiliteit blauwe dijk voor ophoogslag 8

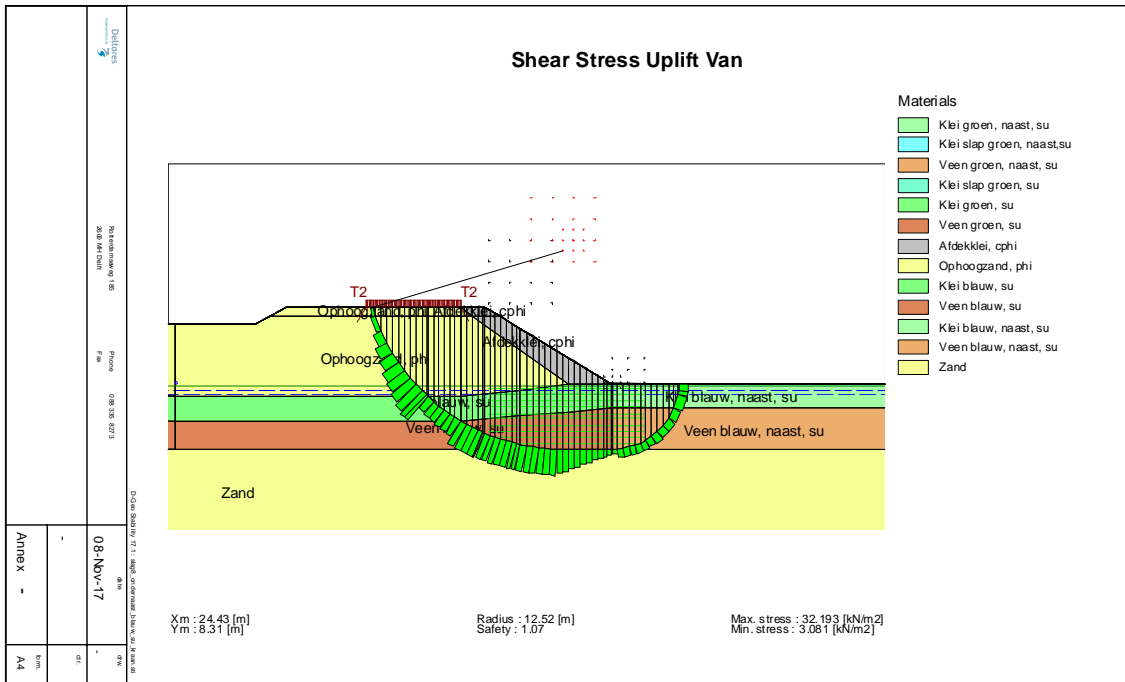


Stabiliteit groene dijk voor ophoogslag 8

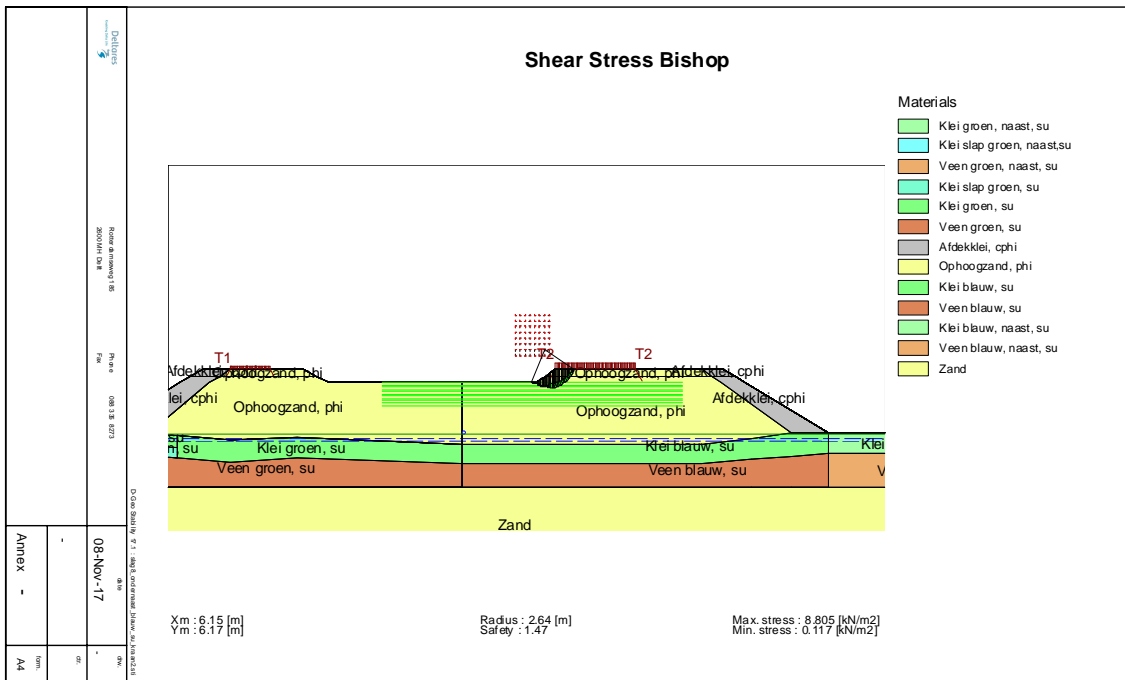


11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Stabiliteit blauwe dijk voor ophoogslag 8, inclusief kraanbelasting draadkraan damwand installatie

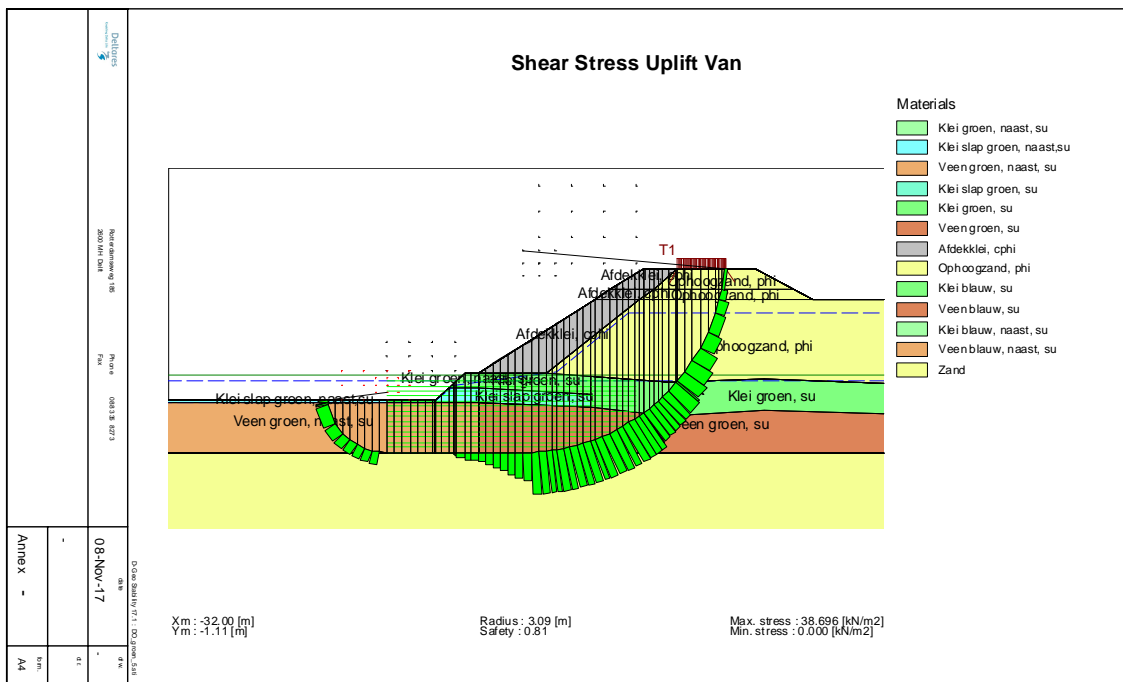


Stabiliteit blauwe dijk voor ophoogslag 8, inclusief kraanbelasting draadkraan damwand installatie

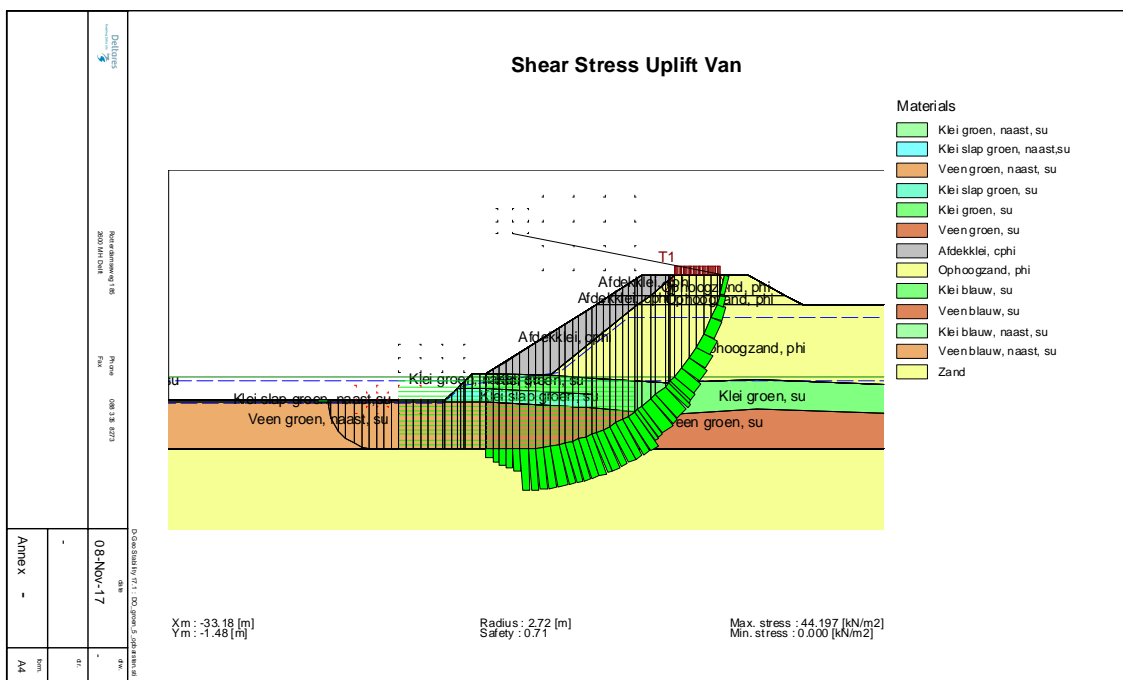


11200956-004-GEO-0004, 15 maart 2018, definitief

Stabiliteit groene dijk direct na ophoogslag 9 (hoogte +5,2m+N.A.P.) na ontgraven achterland, droogpompen, verhogen freatische lijn en aanbrengen bovenbelasting. (veenlaag niet opgebarsten)



Stabiliteit groene dijk direct na ophoogslag 9 (hoogte +5,2m+N.A.P.) na ontgraven achterland, droogpompen, verhogen freatische lijn en aanbrengen bovenbelasting. (veenlaag opgebarsten)



B-35B-35B-35

C Voorstel voor aangepaste ophoogfasering FSP

Datum	Kenmerk	Aantal pagina's
19 september 2017	11200956-012-GEO-0001	101
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Joost Bredeveld	+31(0)88335 7476	joost.breedveld@deltares.nl

Onderwerp
Eemdijkproef - Voorstel voor aangepaste ophoogfasering FSP

1. Inleiding

Voor de aanleg van de full-scale proef is op basis van best estimate eigenschappen van de ondergrond een VO gemaakt, waarin met circa 8 ophoogslagen tot op het (naar verwachting) vereiste ophoogniveau van MV +5 m kon worden gekomen. Dit heeft de basis gevormd voor de uitvraag richting de aannemer en de door hem aan te houden ophoogfasering. Gedachte hierbij was om (in de geest van de observational method) op basis van de verzamelde monitoringsdata de fasering te optimaliseren, en het DO voor de full-scale proef op te stellen.

De huidige stand van zaken (eind augustus 2017) is zo dat de VO-fasering niet kan worden gehaald zonder aanvullende maatregelen. In deze memo wordt een beperkt aantal scenario's voor een aangepaste ophoogfasering beschouwd. Het eerlijk met elkaar vergelijken van deze scenario's vereist een heldere aanpak voor het beoordelen of een volgende ophoogslag kan worden aangebracht. Deze (aangescherpte) aanpak wordt beschreven. Vervolgens worden de uitgangspunten bij de rekentechnische beschouwingen op een rij gezet, waarna de resultaten beknopt worden gepresenteerd. Er wordt afgesloten met een advies over het (technische) voorkeursscenario, inclusief een doorkijk naar wat dat betekent voor de projectplanning.

2. Aangescherpte aanpak

2.1 Mogelijke scenario's

De volgende scenario's voor de aangepaste ophoogfasering (ten opzichte van de VO-fasering van 1 m per 3 weken) zijn het meest voor de hand liggend:

1. Ophoogsnelheid vertragen;
2. Ophoogsnelheid minder vertragen door combinatie met preventieve steunberm (1 m) aanbrengen indien theoretisch nodig;
3. Ophoogsnelheid minder vertragen door combinatie met verlagen toelaatbare stabiliteit en intensievere monitoring¹⁷, met eventueel als curatieve maatregel een steunberm (1 m) indien de monitoring daar aanleiding voor geeft;
4. Ophoogsnelheid minder vertragen door combinatie met preventieve steunberm (0,5 m) aanbrengen wanneer theoretisch nodig combinatie met verlagen toelaatbare stabiliteit en intensievere monitoring¹, met eventueel als curatieve maatregel een verhoging van de steunberm (0,5 m) indien monitoring daar aanleiding voor geeft.

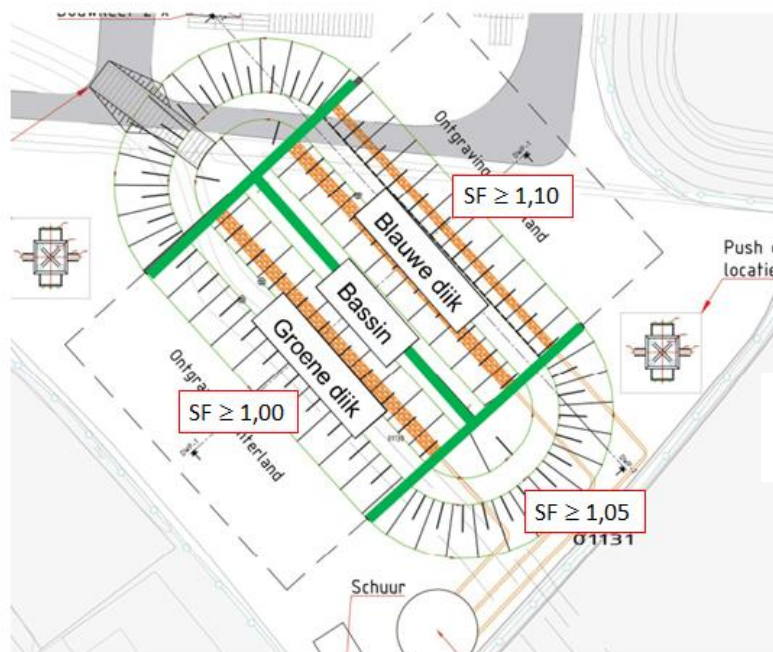
In feite is scenario 4 een tussenvorm van scenario 2 en scenario 3.

¹⁷ zoals SAAFs (horizontale verplaatsing) en periodieke drone-vlucht (potentieel bruikbare methode voor in kaart brengen verplaatsing)

2.2 Aangescherpte aanpak bij beoordeling

Wat wordt nu de aangescherpte aanpak die we hanteren bij het vrijgeven van ophoogslagen?

- We blijven in de theoretische beschouwingen onderscheid maken tussen drie doorsneden: ter plaatse van de kopse kant aan de zuidzijde, ter plaatse van de blauwe dijk (noordzijde) en ter plaatse van de groene dijk waar plaatselijk een slechte kleilaag is gevonden (zuidzijde).
- Door te sturen op een stabiliteitsfactor (SF) $\geq 1,1$ wordt de kans op afschuiven van de blauwe dijk gering verondersteld, waardoor het risico voor de damwandproef klein wordt geacht.
- De kopse kant telkens 1 slag voor laten lopen, zodat SF $> 1,05$. De kopterp geldt dan als 'testlocatie' voor de stabiliteit van de blauwe dijk (SF $> 1,1$). Indien bezwijken van de kopterp optreedt, dan beïnvloedt dit de proef niet. Dit suggereert dat de blauwe dijk bij een gelijke mate van ophogen mogelijk instabiel kan worden, waarbij dan curatief een steunberm dient te worden aangebracht. Bezwijken van de kopterp kan (qua ruimtegebruik) opgelost worden door taludverflauwing.
- De stabiliteit van de groene dijk wordt geacht lager te zijn dan de blauwe dijk (SF $> 1,0$). Door hieraan een lagere eis te stellen, kan de ophoging wel gelijkmatig doorgaan.
 - Om het (extra) risico te beheersen, wordt voorgesteld om de SAAF's al in de teen te plaatsen (dit moet toch gebeuren na de aanleg):
 - Als we met de SAAF's een afschuiving aan zien komen, dan kan deze worden voorkomen met een curatieve steunberm.
 - Indien het aanbrengen van een curatieve steunberm onverhoopt te laat plaatsvindt, dan zijn in ieder geval metingen beschikbaar van de afschuiving.



- Een preventieve steunberm wordt technisch gezien in principe niet wenselijk geacht, omdat het de spanningssituatie (en daarmee de sterkte) van de ondergrond beïnvloedt en het daarmee latere analyses moeilijker maakt. Desondanks wordt een steunberm van beperkte omvang (waarmee in de ondergrond onder de grensspanning wordt gebleven) als een acceptabele maatregel gezien.
- Aanvullende maatregel: pomp installeren op infiltratievoorziening ten behoeve van versnelde consolidatie door snellere afstroming grondwater in zandkernen.

3. Analyses

3.1 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn bij de analyses aangehouden:

- Niet meer dan 0,5 m verschil in ophogen tussen kopse kant en blauwe+groene dijk;
- Blauwe en groene dijk gelijkmatig (i.e. in hetzelfde tempo) ophogen;
- Bodem bassin wordt vanaf deze slag niet mee opgehoogd, effect niet meenemen;
- Bij huidige scenario's is de personele veiligheid tijdens de uitvoering meegenomen in de vrijgave van de ophoofasering;
- Grond lijkt minder sterk dan voorzien, dus mogelijk is een lagere dijk dan NAP+5 m voldoende voor bezwijkproef (dient nog te worden gekwantificeerd met EEM-analyses).
- Overall zetting is minder dan voorzien, dus is een minder grote bruto ophoging (geen 7 m, maar 6,5 m) nodig. Voor nu is uitgegaan van minimaal 0,5 m minder ophoging.
- Sigma tau curves als Shansep lijn, deze volgen de proefresultaten.

klei		klei, slap		veen	
sigma	tau	sigma	tau	sigma	tau
0	8	0	6	0	12
26	10	22	7	26	15
80	31	80	26	80	39

- Verkeersbelasting 5 kPa over 2,5 m op rand zand (circa 2 m van de rand klei)
- Bishop glijcirkel

3.2 Resultaten

In onderstaande grafieken zijn de resultaten van de stabiliteitsanalyses weergegeven:

Scenario 1 (blauwe lijn)

Sturen op stabiliteit blauw SF > 1,1.

Stabiliteit groen is hierbij ca. SF > 1,0

Ophoogsnelheid 0,5 m/6 wk na aanbrengen 3,5 m zand (**einddatum ca. 24 april 2018**)

Scenario 2 (groene lijn)

Sturen op stabiliteit blauw SF > 1,1

Stabiliteit groen SF > 1,0

Preventieve steunberm 1 m

Ophoogsnelheid 0,5 m/3 wk

1 a 2 slagen versnellen: 12 weken sneller (**einddatum ca. 16 januari 2018**)

Scenario 3 (rode lijn)

Sturen op stabiliteit blauw SF > 1,05.

Stabiliteit groen is hierbij ca. SF > 0,95

Ophoogsnelheid 0,5 m/4 wk na aanbrengen 4 m zand (**einddatum ca. 20 maart 2018**)

Scenario 4 (paarse lijn)

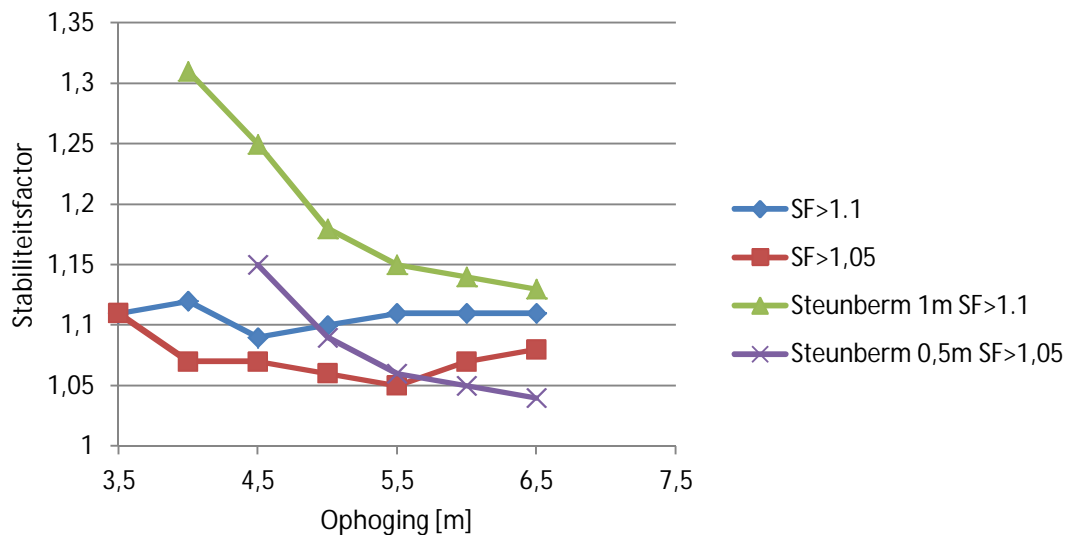
Sturen op stabiliteit blauw SF > 1,05

Stabiliteit groen SF > 0,95

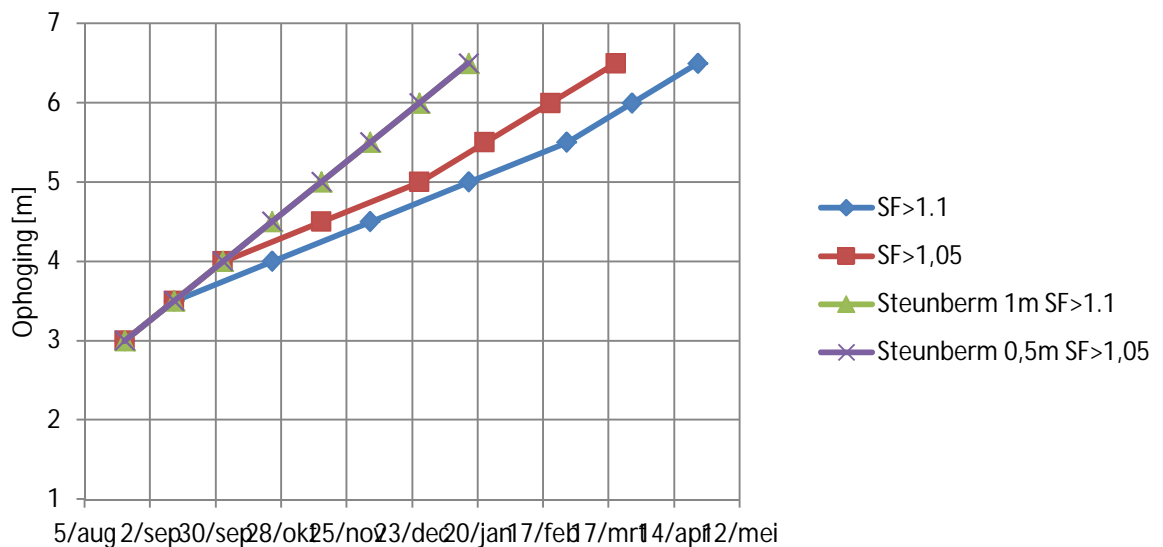
Preventieve steunberm 0,5m

Ophoogsnelheid 0,5 m/3 wk

1 a 2 slagen versnellen: 12 weken sneller (**einddatum ca. 16 januari 2018**)



*Stabiliteit berekening zijn uitgevoerd tot 6 m ophoging, voor de 6,5 m ophoging is de stabiliteitsfactor geëxtrapoleerd.



4. Advies

4.1 Aanpassing van ophoofasering

Op basis van de bovenstaande analyseresultaten wordt het volgende advies gegeven:

- Pomp aanbrengen op infiltratievoorzieningen zandkernen om de consolidatie te versnellen¹⁸.
- Intensivering van de monitoring doorvoeren: zo snel mogelijk SAAF's in de hellingmeetbuizen hangen (*onderzoeken of periodieke drone vluchten eventueel als beheersmaatregel kunnen worden ingezet, hiervoor worden geen kosten in rekening gebracht en dient als extra informatie te worden gezien, vanuit een ander project worden zowel de dronevluchten als de analysekosten gedragen*)
- Nog twee slagen van 0,5 m/3 wk aanbrengen
- Hierna preventief een steunberm van 0,5 m opbrengen (scenario 2)

¹⁸ Zonder maatregelen blijft de grondwaterstand in het zandlichaam ruim boven het oorspronkelijk maaiveldniveau en de daarboven aangelegde infiltratievoorziening liggen. Het onttrekken van dit grondwater via de infiltratievoorzieningen leidt in de cohesieve ondergrond tot een afname van de wateroverspanning (dus een toename van de sterkte) en aan de bovenzijde een verkorting van de afstand die het uitgeperste grondwater moet afleggen (dus een versnelde consolidatie).

- Mogelijk bij onvoldoende consolidatie (scenario 4) steunberm ophogen met nog 0,5 m.

Er wordt op dit moment geadviseerd om nog geen EEM-analyses uit te voeren om te kijken bij welke eindhoogte van de ophoging de FSP op de blauwe dijk wel haalbaar is. We hebben nog niet alle gronddata gereed (eind september), wat zou betekenen dat we dan rekenintensieve inspanningen met tussentijdse resultaten moeten leveren. Dit wordt niet efficiënt geacht. In het kader van het DO gaan we dit wel doen, maar dan met de definitieve parameters. Daaruit kan mogelijk volgen dat de dijk 0,5 m lager kan, echter is de verwachting dat dit niet meer dan 0,5 m zal zijn.

4.2 Implicaties voor projectplanning

Momenteel ligt op de kopszijde 3,5 m zand en op de testdijken zelf 3,0 m zand. Deze week (start 21 september) gaan we naar 4,0 respectievelijk 3,5 m ophoging. Onder de blauwe dijk is nu circa 0,65 cm zetting en onder de groene circa 0,25 cm (is onder de kruin, talud zit op ca 0,45 cm zetting). We gaan nog steeds uit van een netto ophoging van MV+ 5,0 m en verwachten een eindzetting van circa 1,5 m zodat we 6,5 m bruto moeten ophogen. Op basis hiervan is de verwachting dat met de aangepaste ophoogfasering we uiterlijk eind januari 2018 (met de slag van deze week mee, nog 7 slagen dus nog 18 weken) gereed zullen zijn voor de opbouw van de full-scale damwandproef.

Nadrukkelijk wordt opgemerkt dat dit de uiterste datum is en onafhankelijke van de consolidatie. Wanneer deze namelijk nog steeds onvoldoende blijkt bij de navolgende slagen, wordt er een tijdelijke berm aangebracht van 0,5 m hoog. Wanneer ook dit niet voldoende blijkt kan in het uiterste geval een berm van 1,0 m hoog worden aangebracht. Opgemerkt wordt dat de berm van 0,5 m hoog nagenoeg geen invloed zal hebben op de sterkte ontwikkeling omdat de belasting veroorzaakt door de berm niet boven de zogenaamde grensspanning van de ondergrond komt en daarmee de sterkte niet significant verhoogd. Dit laatste is belangrijk voor de latere analyses van de proeven.

Welke aangepaste planning van alle projectwerkzaamheden wordt daarmee voorzien?

Naast de consolidatie problemen is er ook meer besteltijd nodig voor de constructieve monitoring. Alhoewel dit op een strak tijdschema loopt zit ook hier een doorlooptijd aan vast die van invloed is op de planning. Rekening houdende met de bandbreedte van de levertijd van monitoringsinstrumenten en de Kerstvakantie wordt dan voor de FSP respectievelijk de POT de onderstaande planning voorzien:

	start	Einde	opmerkingen
aanleg FSP [#]	week 24 (2017)	uiterlijk week 3 (2018) <i>oorspronkelijk week 41 (2017)</i>	tempo 0,5 m/3wkn
opbouw FSP	uiterlijk week 4 (2018) <i>oorspronkelijk week 42 (2017)</i>	uiterlijk week 7 (2018) <i>oorspronkelijk week 46 (2017)</i>	duur ~4 weken
proef FSP	uiterlijk week 8 (2018) <i>oorspronkelijk week 46 (2017)</i>	uiterlijk week 11 (2018) <i>oorspronkelijk week 50 (2017)</i>	duur ~4 weken
herstel FSP	uiterlijk week 12 (2018) <i>oorspronkelijk week 49 (2017)</i>	uiterlijk week 19 (2018) <i>oorspronkelijk week 6 (2018)</i>	duur ~8 weken
analyse FSP	uiterlijk week 12 (2018) <i>oorspronkelijk week 49 (2017)</i>	uiterlijk week 23 (2018) <i>oorspronkelijk week 11 (2018)</i>	start na proef, duur ~12 weken

[#] Kerstvakantie in week 52 (2017) en week 1 (2018)

	start	einde	opmerkingen
opbouw POT [#]	op vroegst week 46 (2017) uiterlijk week 51 (2017) oorspronkelijk week 37 (2017)	op vroegst week 49 (2017) uiterlijk week 4 (2018) oorspronkelijk week 40 (2017)	duur ~4 weken
proef POT [#]	op vroegst week 50 (2017) uiterlijk week 5 (2017) oorspronkelijk week 41 (2017)	op vroegst week 3 (2018) uiterlijk week 8 (2018) oorspronkelijk week 44 (2017)	4 configuraties, duur 1 wk/proef
herstel POT	op vroegst week 4 (2017) uiterlijk week 9 (2017) oorspronkelijk week 45 (2017)	op vroegst week 7 (2018) uiterlijk week 12 (2018) oorspronkelijk week 48 (2017)	duur ~4 weken
analyse POT	op vroegst week 4 (2017) uiterlijk week 9 (2017) oorspronkelijk week 45 (2017)	op vroegst week 15 (2018) uiterlijk week 20 (2018) oorspronkelijk week 50 (2017)	start na proef, duur ~12 weken

[#] Kerstvakantie in week 52 (2017) en week 1 (2018)

N.B. Ten opzichte van de oorspronkelijke planning is er bij de FSP proefuitvoering dus sprake van een vertraging van circa 2 maanden, overeenkomstig met de tijd die de 3 aanvullende ophoogslagen van 3 weken nodig hebben.