


# POVM Eemdijkproef

## Geotechnisch Basisrapport Product F

Definitief

POV

MACRO  
STABILITEIT



Auteur: J. Bredeveld

Datum: juli 2018

Versie: 2.0

**Titel**

<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
11200956-002	11200956-002-GEO-0015- y	18

**Samenvatting**



In het kader van de POV|M Eemdijkproef wordt een aantal grootschalige proeven uitgevoerd:

- full-scale proef op een dijk zonder constructie
- full-scale proef op een dijk met constructie
- check reststerkte binnentalud tijdens full-scale proef op een dijk met constructie
- pull-over test op vier damwandconfiguraties

Voor het voorlopige en definitieve ontwerp van deze proeven is bestaand veldonderzoek geïnventariseerd en nieuw veld- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Dit Geotechnische Basisrapport (GBR) geeft in hoofdstuk 2 een chronologisch overzicht hiervan en bundelt de resultaten, onder meer via het opnemen van de definitieve deelproducten in bijlagen.

- oriënterend grondonderzoek (**deelproduct F1**)
- globaal grondonderzoek (**deelproduct F3a**)
- gedetailleerd VELDonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT (**deelproduct F3b/c**)
- gedetailleerd grondonderzoek FSP-rest (**deelproduct F3d**)
- gedetailleerd LABonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT (**deelproduct F3e**)

Daarnaast bundelt dit GBR in hoofdstuk 3 de interpretatie naar sterkte- en stijfheidsparameters. Naast deze interpretatie omvat dit hoofdstuk ook de vertaling van geïnterpreteerde sterkte- en stijfheidsparameters naar de "**predictie**" en "**postdictie**" parametersets om met verschillende constitutieve modellen het grondgedrag in een EEM-rekenmodel te kunnen beschrijven. Met deze parametersets is in de verschillende projectfasen van de Eemdijkproef (aanleg, opbouw, proef, herstel) tot voorspellingen van het systeem- en onderdeelgedrag gekomen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	juni 2018	J. Breedevelt		H. De Bruijn		L. Voogt b/a M.S. Sule	
02	juli 2018	J. Breedevelt		H. De Bruijn		L. Voogt b/a M.S. Sule	

**Status**  
definitief

Titel

<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
11200956-002	11200956-002-GEO-0015- 18	
	y	

## 0 Productoverzicht

Als verantwoording voor de invulling van het proefprogramma rondom de POV|M Eemdijkproef zijn de volgende hoofdproducten<sup>[1]</sup> in Tabel 0.1 voorzien:

Code	Hoofdproducten
A	Algemene werkzaamheden
B	Externe stuurinformatie
C	Interne stuurinformatie
D	Inkoop installatie monitoring, veld- en laboratoriumonderzoek
E	Vergunningen
<b>F</b>	<b>Geotechnisch basisrapport proeflocatie</b>
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 0.1 Overzicht van producten bij proefprogramma POV|M Eemdijkproef

<sup>[1]</sup> zie aanbieding met Deltares kenmerk 11200956-001-GEO-0003-ydh van 10 mei 2017



**Titel**

<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
11200956-002	11200956-002-GEO-0015- y	18

Het voorliggende deelproduct betreft het Geotechnisch Basisrapport (GBR) van de Eemdijkproef (**hoofdproduct F**) wat een groot aantal deelproducten in de vorm van factual reports omvat:

- oriënterend grondonderzoek (**F1** -> [zie Bijlage B](#))
- globaal grondonderzoek (**F3a** -> [zie Bijlage C](#))
- gedetailleerd VELDonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT (**F3b/c** -> [zie Bijlage E](#))
- gedetailleerd grondonderzoek FSP-rest (**F3d** -> [zie Bijlage F](#))
- gedetailleerd LABonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT (**F3e** -> [zie Bijlage G](#))

Daarnaast omvat dit GBR een samenvatting van de verschillende interpretaties van het veld- en laboratoriumonderzoek (waaronder **deelproduct F4** -> [zie Bijlage H.1.2](#))



## Inhoud

<b>0</b>	<b>Productoverzicht</b>	
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond	1
1.1.1	Aanleiding	1
1.1.2	Probleemstelling	1
1.1.3	Oplossingsrichting	2
1.2	Doelstelling	2
1.3	Leeswijzer	2
1.4	Gebruikte termen en afkortingen	3
<b>2</b>	<b>Samenvatting grondonderzoek</b>	<b>4</b>
2.1	Tijdslijn	4
2.2	Structurering	5
2.2.1	Oriënterend grondonderzoek	6
2.2.2	Globaal grondonderzoek	6
2.2.3	Gedetailleerd VELDonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT	6
2.2.4	Gedetailleerd grondonderzoek FSP-rest	8
2.2.5	Gedetailleerd LABonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT	8
<b>3</b>	<b>Overzicht van interpretaties en vertalingen</b>	<b>9</b>
3.1	Algemeen	9
3.2	Na oriënterend grondonderzoek (tbv predicties)	9
3.3	Na globaal grondonderzoek (tbv predicties)	10
3.3.1	VO full-scale proeven	10
3.3.2	VO pull-over tests	10
3.4	Na gedetailleerd onderzoek (tbv predicties)	11
3.4.1	DO full-scale proeven	11
3.4.2	DO pull-over tests	13
3.5	Na proeven (tbv postdicties)	14
3.5.1	Postdicties FSP-groen en FSP-blauw	14
3.5.2	Postdicties POT	17
<b>A</b>	<b>Kennisvragen</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Oriënterend grondonderzoek</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Globaal grondonderzoek (F3a)</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>Interpretatie globaal grondonderzoek</b>	<b>D-1</b>
<b>E</b>	<b>Gedetailleerd VELDonderzoek (F3b/c)</b>	<b>E-1</b>
<b>F</b>	<b>Gedetailleerd grondonderzoek reststerkte (F3d)</b>	<b>F-1</b>
<b>G</b>	<b>Gedetailleerd LABonderzoek (F3e)</b>	<b>G-1</b>



## H Interpretaties gedetailleerd onderzoek

H-1

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

### 1.1.1 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 kennisinstututen 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.

### 1.1.2 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 ontwerpaanpak<sup>1</sup>, 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.

---

<sup>1</sup> deze ontwerpaanpak (bestaande uit een veiligheidsfilosofie en rekenmethodiek) kan als locatie-specifiek, conservatief en pragmatisch worden gekarakteriseerd;

### 1.1.3 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.

In de definitiefase<sup>2</sup> 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 spanningen<sup>3</sup> 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.

## 1.2 Doelstelling

In het kader van de POV|M Eemdijkproef wordt een aantal proeven uitgevoerd:

- full-scale proef op een dijk zonder constructie
- full-scale proef op een dijk met constructie
- check reststerkte binnentalud tijdens full-scale proef op een dijk met constructie
- pull-over test op vier damwandconfiguraties

Voor het voorlopige en definitieve ontwerp van deze proeven is al bestaand veldonderzoek geïnventariseerd en is nieuw veld- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd.

De voorliggende rapportage betreft een samenvatting van deze grondonderzoeken en de interpretatie ervan naar sterkte- en stijfheidsparameters. Verder omvat het de vertaling naar parameters om het gedrag met constitutieve modellen in het EEM-rekenmodel te kunnen voorspellen. **Daarmee vormt dit een bundeling van alle (deel)producten met betrekking tot het karakteriseren van (het sterkte- en stijfheidsgedrag van) de ondergrond.**

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt in chronologische volgorde een samenvatting van het al bestaande en aanvullende veld- en laboratoriumonderzoek gegeven. Daarbij wordt een doelstelling voor het grondonderzoek gegeven, alsmede de conclusie die hieruit is gekomen.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een overzicht gegeven van de interpretaties van al het grondonderzoek, waarbij ook de vertalingen naar EEM-parameters aan bod komen.

In alle gevallen wordt, waar relevant, via referenties de link gelegd naar andere POVM Eemdijkproef (deel)producten, waarvan een deel ook in bijlagen is opgenomen.

---

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

<sup>3</sup> door het afgraven van het binnendijkse maaiveld tot een oprijfveiligheid van circa 1,0



#### 1.4 Gebruikte termen en afkortingen

De volgende termen en afkortingen zijn in de voorliggen rapportage gebruikt:

DF	definitiefase
DO	definitief ontwerp
EEM	Eindige Elementen Methode
FSP-blauw	full-scale proef op een dijk met constructie
FSP-groen	full-scale proef op een dijk zonder constructie
FSP-rest	check reststerkte binnentalud tijdens FSP-blauw
HS	Hardening Soil
MC	Mohr-Coulomb
OCR	overconsolidatie ratio
POP	pre-overburden pressure
POT	tull-over test
POVM	ProjectOverstijgende Verkenning Macro stabiliteit
QS	quick-scan
SS	Soft Soil
SSC	Soft Soil Creep
VO	voorlopig ontwerp
UM	updated mesh

## 2 Samenvatting grondonderzoek

### 2.1 Tijdslijn

In de onderstaande tabel wordt een chronologisch overzicht gegeven van het tijdstippen waarop resultaten uit grondonderzoek beschikbaar zijn gekomen. Dat komt niet per definitie overeen met de tijdstippen waarop het betreffende grondonderzoek is uitgevoerd!

Fase	Code	Datum	Beschrijving	Wie
definitie	DF1	mei-2016	- 2 handboringen	projectteam
Ontwerp (quick-scan)	QS1	okt-2016 t/m jan-2017	inventarisatie archief: - 4 sonderingen (DINO) - 4 sonderingen (MOS) - 2 boringen (MOS) - sterkteparameters - stijfheidsparameters - 4 peilbuizen (DINO)	projectteam
	QS2	dec-2016	- 23 sonderingen (kl2, wsp)	Fugro
Ontwerp (VO)	VO1	feb-2017	- 4 handboringen - 32 field vane tests - classificatie	projectteam
	VO2	mrt-2017	- 5 K0-CRS proeven	projectteam
Ontwerp (DO)	DO1	apr-2017 t/m mei-2017	- 7 sonderingen (kl2, wsp) - 12 sonderingen (kl1, wsp) - 6 handboringen - 6 boringen	Fugro
	DO2	mei-2017 t/m aug-2017	- 15 K0-CRS tests - 14 CAUc tests - 6 CID tests - 24 DSS tests - classificatie	Deltares
	DO3	mei-2017 t/m nov-2017	- 6 hellingmeetbuizen - zettingsmeetslangen - 9 zakbaken	Fugro
	DO4	mei-2017 t/m jan-2018	- 26 waterspanningsmeters - 2 peilbuizen	Fugro

Ontwerp (DO)	DO5	mei-2017 t/m jan-2018	- 6 zettingsmeetplaatjes - 9 peilbuizen in zakbaak - 9 zakbaken	Deltares
	DO6	jul-2017	- 6 hellingmeetbuizen	Fugro
	DO7	jul-2017	- 6 field vane tests - 28 hand torvane tests - luchtfoto	projectteam
	DO8	aug-2017	- 12 sonderingen (kl1, wsp)	Fugro
	DO9	sep-2017	- 6 hellingmeetbuizen - 5 sonderingen (kl2, wsp) - 6 sonderingen (kl1, wsp)	Fugro
	DO10	sep-2017	- 2 handboringen - 6 DLDS-boringen	Deltares
	DO11	okt-2017	- 6 hellingmeetbuizen	Fugro
	DO12	nov-2017	- zettingsmeetslangen	Fugro
	DO13	nov-2017 t/m jan-2018	- 3 grote triaxiaalproeven - 4 grote DSS tests - classificatie	Deltares
	DO14	jan-2018	- 4 handboringen - identificatie	Deltares
	DO15	jan-2018	- 6 sonderingen (kl1, wsp) - 6 boringen	Fugro

Tabel 2.1 Samenvatting van grondonderzoek Eemdijkproef

## 2.2 Structurering

Bij het vastleggen van de resultaten van grondonderzoek in Tabel 2.1 zijn de volgende deelproducten (in de vorm van factual reports) aangehouden:

- oriënterend grondonderzoek (F1) -> zie Bijlage B
- globaal grondonderzoek (F3a) -> zie Bijlage C
- gedetailleerd VELDonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT (F3b/c) -> zie Bijlage E
- gedetailleerd grondonderzoek FSP-rest (F3d) -> zie Bijlage F
- gedetailleerd LABonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT (F3e) -> zie Bijlage G

Deze deelproducten zijn in de genoemde bijlagen opgenomen. In het vervolg van deze paragraaf zal worden ingegaan op de doelstelling van en conclusies uit de in Tabel 2.1 genoemde veld- en labonderzoeken. Ook worden de bijbehorende interpretaties benoemd.

### 2.2.1 Oriënterend grondonderzoek

Het oriënterende grondonderzoek is ingezet om te verkennen of het gronddepot Eemdijk geschikt is als proeflocatie. Daarbij zijn de volgende onderzoeken ingezet:

Code	Doelstelling	Conclusie
DF1	Verkenning geschiktheid van kade bestaand gronddepot voor full-scale damwandproef	Kade bestaand gronddepot is niet geschikt voor de full-scale damwandproef
QS1	Verkenning geschiktheid van bestaand gronddepot voor opbouw terpen voor full-scale damwandproef	Bestaand gronddepot is niet te gebruiken voor proef in verband met eerder optreden van grootschalige squeezing/afschuiving

### 2.2.2 Globaal grondonderzoek

Het globale grondonderzoek is ingezet om te verkennen of het perceel naast het gronddepot Eemdijk geschikt is als proeflocatie. Daarbij zijn de volgende onderzoeken ingezet:

Code	Doelstelling	Conclusie
QS2	Verkenning geschiktheid van maagdelijke grond Eemdijk voor aanleg van de proefterpen	Maagdelijke grond heeft (afgezien van lokaal aanwezige slappe kleilaag) redelijk homogene bodemopbouw die geschikt is voor de aanleg van de proefterpen
VO1	Verbeterd inzicht in stijfheid en doorlatendheid voor inschatting ophoogsnelheid en zetting	Het is mogelijk de proefterpen op maagdelijke grond aan te leggen. Er is een VO voor aanleg opgesteld op basis van verbeterde inschatting in ophoogsnelheid en zetting
VO2	Verbeterd inzicht in stijfheid en doorlatendheid voor inschatting ophoogsnelheid en zetting	

Ten behoeve van het opstellen van het VO is een interpretatie gemaakt van het oriënterende (DF1 en QS1) en globale (QS2, VO1 en VO2) grondonderzoek, die is vastgelegd in een memo welke onderdeel uitmaakt van product G/K<sup>4</sup> en is opgenomen als Bijlage D.

### 2.2.3 Gedetailleerd VELDonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT

Het gedetailleerde VELDonderzoek is ingezet om inzicht te krijgen in de oorspronkelijke ondergrondcondities en de aanpassingen daarvan onder de ophoging als gevolg van de aanleg van de FSP. Met als doel om tijdens de aanleg een scherper beeld te krijgen over het DO van alle proeven (POT's en FSP's). Daarbij zijn de volgende onderzoeken ingezet:

<sup>4</sup> rapport 11200956-002-GEO-0015 "POVM Eemdijkproef – VO aanleg en opbouw FSP (product G1/G2) / Inkoop grondwerk t.b.v. aanleg FSP (product K)"

Code	Doelstelling	Conclusie
DO1	Verkrijgen inzicht in oorspronkelijke ondergrondcondities (i.e. vóór aanleg proefterpen) als uitgangspunt voor Observational Method	Er is onder de ophoging sprake van homogene ondergrondcondities, met de bekende bodemopbouw en het grondwaterregime kan worden besloten tot definitief gebruik proefterrein.
DO3	Nulmeting instrumenten voor verkrijgen inzicht in initiële ondergrondcondities onder de groene en blauwe proefdijk voorafgaand aan het gefaseerd aanbrengen ervan.	De initiële ondergrondcondities onder groene en blauwe proefdijk zijn vastgelegd.
DO4		
DO5		
DO6	Verkrijgen continue inzicht in tussentijdse aanpassing ondergrondcondities onder de groene en blauwe proefterp als gevolg van gefaseerd aanbrengen proefterp, ter ondersteuning van vrijgave ophoogslagen.	De aanpassing van, naar blijkt, een lokaal zeer slappe kleilaag onder de groene dijk als gevolg van ophogen blijft achter. Bij de stabiliteitsanalyses voor vrijgave van ophoogslagen dient onderscheid tussen doorsnede groene en blauwe proefdijk te worden gemaakt.
DO8		
DO9		
DO11		
DO12		
DO15		
DO7	In perspectief zetten van resultaten labproeven en sonderingen op zeer slappe kleilaag, die lage sterkten in deze laag suggereren.	Field vane tests suggereren hogere sterkten in zeer slappe kleilaag, en geven daarmee tegenstrijdige informatie.
		Indicatieve hand torvane resultaten op zeer slappe klei zijn echter in lijn met labproeven en sonderingen, waarmee de daarmee afgeleide lage sterkten realistisch worden geacht.
		De in de labproeven op veen geconstateerde scheurvorming stemt overeen met het in de praktijk aan de actieve zijde van het bezwijkmechanisme waargenomen gedrag.
DO14	Achterhalen van de oorzaak voor een kleine opbolling en scheurvorming langs de binnenteenlijn van de aangelegde groene dijk geconstateerd <sup>5</sup> op dinsdag 21 november 2017.	Uit handboringen is gebleken dat er holle ruimte is aangetroffen onder de graszode, en zijn er in de bodemopbouw met zeer slappe klei geen signalen van squeezing aangetroffen.

Na het uitvoeren van VELDonderzoek DO1 is er nagegaan wat de verwachte spreiding was van zeer slappe klei over het proefterrein. Deze interpretatie is als Bijlage H.1.1 opgenomen.

Verder zijn er in het kader van de analyse van de FSP-aanleg (om ophoogslagen onderbouwd vrij te geven) naar aanleiding van DO6 t/m DO9, DO11, DO12 en DO15 tussentijdse interpretaties gemaakt van het beschikbare veldonderzoek, die zijn vastgelegd in Bijlage B van product S<sup>6</sup>. Hier wordt volstaan met een verwijzing naar dit product met analyses.

<sup>5</sup> zie bijlage C van rapport 11200956-012-GEO-0003 "POVM Eemdijkproeven – Factual report monitoring aanleg full-scale proeven (product R)";

<sup>6</sup> rapport 11200956-004-GEO-0004 "POVM Eemdijkproef – Analyse aanleg FSP (product S)";

#### 2.2.4 Gedetailleerd grondonderzoek FSP-rest

Het gedetailleerde grondonderzoek is ingezet om inzicht te krijgen in de juiste sterkte- en stijfheidsparameters bij grote rekken. Daarbij zijn de volgende onderzoeken ingezet:

Code	Doelstelling	Conclusie
DO10	Het steken van voldoende grote klei- en veenmonsters voor grote triaxiaal- en DSS-tests om de (rest)sterkte bij grote rekken te meten.	Er zijn 6 grote klei- en veenmonsters ten zuidoosten van de ophoging gestoken.
DO13	Verkrijgen van inzicht in de reststerkte van de Eemdijker klei- en veenlaag bij grote rekken.	<p>Het conform de literatuur verwachte gedrag na overschrijden van de pieksterkte in klei kan in de labproeven niet worden vastgesteld.</p> <p>De in de labproeven op veen geconstateerde scheurvorming stemt overeen met het in de praktijk aan de actieve zijde van het bezwijkmechanisme waargenomen gedrag.</p>

Ten behoeve van het opstellen van het VO is een interpretatie gemaakt van het oriënterende (DF1 en QS1) en globale (QS2, VO1 en VO2) grondonderzoek, die is vastgelegd in een memo welke onderdeel uitmaakt van product G/K<sup>7</sup> en is opgenomen als Bijlage D.

#### 2.2.5 Gedetailleerd LABonderzoek FSP-groen/FSP-blauw/POT

Het gedetailleerde LABonderzoek is ingezet om inzicht te krijgen in de sterkte- en stijfheidsparameters van de relevante grondlagen ter plaatse van alle proeven (POT's en FSP's). Met als doel om tijdens de aanleg een scherper beeld te krijgen over het DO en als handvat voor de postdicties. Daarbij is het volgende onderzoek ingezet:

Code	Doelstelling	Conclusie
DO3	Gedetailleerd inzicht in ondergrondcondities per grondlaag op proefterrein Eemdijk.	Vaststelling drie sets sterkte- en stijfheidsparameters (predicties, postdicties en best fit).

Na het uitvoeren van het gedetailleerde LABonderzoek DO3 heeft er een interpretatie van de resultaten plaatsgevonden waarmee tot (een spreiding van) sterkte- en stijfheidsparameters is gekomen. Deze interpretatie is vastgelegd in product F4<sup>8</sup> en als Bijlage H.1.2 opgenomen.

Vervolgens zijn er ten behoeve van (de predicties benodigd voor) het DO en (de postdicties benodigd voor) de analyse van alle proeven ook vertalingen naar EEM-parameters opgesteld. Deze zijn als Bijlage H.1.3 respectievelijk Bijlage H.1.4 opgenomen.

<sup>7</sup> rapport 11200956-006-GEO-0009 "POVM Eemdijkproef – Interpretatie grondonderzoek (product F4)";

### 3 Overzicht van interpretaties en vertalingen

#### 3.1 Algemeen

Het voorliggende GBR bundelt niet alleen het in de analyses gebruikte grondonderzoek, maar vat in dit hoofdstuk ook de interpretatie naar sterkte- en stijfheidsparameters samen.

Verder omvat dit hoofdstuk ook de vertaling tijdens de verschillende projectfasen de van geïnterpreteerde sterkte- en stijfheidsparameters naar bruikbare parametersets om met meerdere constitutieve modellen het grondgedrag in een EEM-rekenmodel te kunnen beschrijven. En zo tot voorspellingen van het systeem- en onderdeelgedrag te komen. In dit GBR worden twee verschillende parametersets onderscheiden:

- **predictie** parameterset, die volgt op basis van een globale analyse van het op dat moment beschikbare grondonderzoek. Deze set is vooral bepaald om de verwachtingswaarde (en onder en bovengrensschatting) van de sterkte weer te geven. Op basis van deze set is het DO van de POT, FSP-groen en FSP-blauw gemaakt.
- **postdictie** parameterset, die volgt op basis van een uitvoerige analyse van al het beschikbare grondonderzoek en de proefresultaten. Deze set is bedoeld voor een beste schatting van de verwachtingswaarde van de sterkte en stijfheid en vormt het startpunt voor de postdictie van de POT, FSP-groen en FSP-blauw.

Daarmee blijft in dit GBR de **best fit** parameterset buiten beschouwing. Dit is de set die volgt uit de best mogelijke fit van de PLAXIS 2D- en 3D-simulaties aan beschikbare monitoringsresultaten uit de POT, FSP-groen en FSP-blauw. De **best fit** parameterset, inclusief de noodzakelijke aanpassingen van de **postdictie** parameterset (tevens afgezet tegen de gebruikelijke aanpak in de praktijk), komt in het analyserapport<sup>9</sup> ter sprake.

#### 3.2 Na oriënterend grondonderzoek (tbv predicties)

De interpretatie en vertaling van het oriënterende grondonderzoek (zie Bijlage D) voor het schetsontwerp van de ophoging is in Tabel 3.1 samengevat.

grondlaag	diepte bk [m NAP]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	a	b	c	POP [kPa]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$e_0$ [-]	$k_{e0}$ [m/s]	$c_k$ [-]
toplaag	0	14	14	30	5								$1 \cdot 10^{-5}$	
klei/veen	-0,5	10,3	10,3	20	10	12,75	0,04	0,22	0,029	7		11	$1 \cdot 10^{-6}$	1,8
zand	-5	20	20	30	1								$1 \cdot 10^{-5}$	

Tabel 3.1 Aangehouden laagopbouw en parameters t.b.v. predicties schetsontwerp (fase 0)

Bij deze interpretatie worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- Parameters voor top- en zandlaag zijn ingeschat op basis van engineering judgement.
- In het schetsontwerp zijn de klei- en veenlaag samen genomen in één laag, waarbij de parameters van de maatgevende geachte veenlaag zijn aangehouden. Hierbij is ook weer gebruik gemaakt van engineering judgement:

<sup>9</sup> rapport 11200956-014-GEO-0001 "POVM Eemdijkproef – Analyse proefprogramma POT en FSP (product V)";

- de gedraineerde sterkteparameters  $\phi'$  en  $c'$  zijn zo gekozen dat deze bij gebruik in het undrained A model van PLAXIS ongeveer tot dezelfde ongedraineerde schuifsterkte komen (12,75 kPa);
- de void ratio waarde van  $e = 15$  is teruggebracht naar een waarde van ca. 11 omdat deze als te hoog werd ervaren;
- In de berekening is geen gebruik gemaakt van de  $c_v$ -waarde (welke een constante is) maar is gebruik gemaakt van een initiële doorlatendheid ( $k_{e0}$ ) en de verandering van doorlatendheid ( $c_k$ ) als functie van de afname in void ratio ( $e$ ). Hiermee kon naar verwachting een meer reëel beeld van de consolidatietijd worden verkregen.

### 3.3 Na globaal grondonderzoek (tbv predicties)

#### 3.3.1 VO full-scale proeven

Op basis van het globale grondonderzoek is de aan te houden interpretatie inclusief vertaling voor het VO-predicties van de ophoging ge-update, welke in Tabel 3.2 is weergegeven.

grondlaag	diepte bk [m NAP]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$E'$ [kPa]	$a$ [-]	$b$ [-]	$c$ [-]	POP [kPa]	$e_0$ [-]	$k_{e0}$ [m/s]	$c_k$ [-]
toplaag	0	14,5	14,5	30	5	1.000						$1 \cdot 10^{-5}$	
klei	-0,8	13	13	20	10		0,018	0,187	0,010	4	3	$1 \cdot 10^{-9}$	1,2
veen	-2	10	10	20	10		0,029	0,290	0,018	9	9	$1 \cdot 10^{-8}$	2,6
zand	-4,5	20	18	32,5	1	40.000						$1 \cdot 10^{-5}$	

Tabel 3.2 Ge-update predictie parameterset ophoging o.b.v. resultaten classificatie en CRS testen

Belangrijkste wijzigingen zijn ten opzichte van de predictie parameterset in Tabel 3.1 die bij het schetsontwerp is aangehouden:

- de slappe laag is nu opgedeeld in een klei en veen laag;
- de kleilaag is minder samendrukbaar dan de veenlaag, maar heeft wel een lagere doorlatendheid;
- de kleilaag lijkt minder sterk dan de veenlaag (maar voor nu wordt dezelfde sterkte toegekend als aan de veenlaag) en waar relevant is de sterkte van de slappe lagen gevarieerd in de berekeningen.

*N.B. Voor de aanlegfase is een lagere sterkte maatgevend, omdat dan minder snel kan worden opgebouwd. Voor de proeffase echter is een hogere sterkte weer maatgevend, omdat dan meer inspanning moet worden geleverd om de dijk tot bezwijken te krijgen.*

#### 3.3.2 VO pull-over tests

Op basis van het globale grondonderzoek is de aan te houden parameterset voor predicties van het voorlopige ontwerp voor de POT ge-update, welke in Tabel 3.3 wordt weergegeven.

grondlaag	diepte bk [m NAP]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{unsat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$E_{50}^{ref}$ [kPa]	$E_{oed}^{ref}$ [kPa]	$E_{ur}^{ref}$ [kPa]	$C_c$ [-]	$C_s$ [-]	$e_{init}$ [-]
klei, humeus	0	15	15	0	12,75	2.000	1.500	6.000	0,2300	0,0518	0,500
veen	-0,5	10,5	10,5	0	12,75	1.000	1.000	2.500	0,3450	0,1242	0,500
zand	-4,5	19	17	35	0	25.000	25.000	75.000	0,0138	0,0041	0,500
klei, humeus	-7,5	15	15	0	12,75	2.000	1.500	6.000	0,2300	0,0518	0,500
zand	-10,5	19	17	35	0	25.000	25.000	75.000	0,0138	0,0041	0,500

Tabel 3.3 Ge-update predictie parameterset POT o.b.v. resultaten classificatie en CRS testen



### 3.4 Na gedetailleerd onderzoek (tbv predicties)

#### 3.4.1 DO full-scale proeven

Op basis van het gedetailleerde grondonderzoek is de aan te houden predictie parameterset van het definitieve ontwerp voor de FSP ge-update, welke in Tabel 3.2 wordt weergegeven.

		strength										stiffness SSC										
Opmerking	beschrijving	materiaal model	drainage type	bk laag (m NAP)	gamma_sat kN/m <sup>3</sup>	gamma_onsat kN/m <sup>3</sup>	phi (gr)	c' (kPa)	psi (gr)	su_ini (kPa)	S (-)	m (-)	a (-)	b (-)	c (-)	k* (-)	l* (-)	m* (-)	CR (-)	RR (-)	Ca (-)	
	Ophoogzand	HS	drained		17	19	35	1	0													
	1. toplaag	MC	drained	0	14.5	14.5	30	5	0													
	2. klei, onverzadigd	MC	drained																			
	3. klei, matig siltig, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-1	12.5	12.5	28	4	0	11	0.39	0.91	0.014	0.155	0.011	0.028	0.155	0.011				
tpv groen teen	3a. Slappe klei (tpv teen groene)	HS/SSC/SHANSEP	undrained		12.5	12.5	25	1	0	6.5	0.33	0.91										
	4. veen	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-2.1	10	10	45	3	0	11	0.5	0.87	0.045	0.332	0.035	0.09	0.332	0.035				
	5. zand	HS	drained	-4.2	18	20	36	1	12													
	6. klei, leem, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-9.5	12.5	12.5	25	30	0	70	0.37	0.91	0.014	0.185	0.011	0.028	0.185	0.011				
	7. zand	HS	drained	-11																		
	8. klei			-17																		
tpv groen kruin	3. klei, matig siltig, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained							11?	0.39											
	4. veen	HS/SSC/SHANSEP	undrained							20	0.5											

		Overconsolidatie										permeability									
Opmerking	beschrijving	materiaal model	drainage type	bk laag (m NAP)	gamma_sat kN/m <sup>3</sup>	gamma_onsat kN/m <sup>3</sup>	s'v1 (kPa)	p'g (kPa)	POP (kPa)	OCR (-)	K0nc (-)	nu_ur (-)	e0 (-)	ke0 (m/dag)	ck (-)	ck/(1+e0) (-)					
	Ophoogzand	HS	drained		17	19			20				0.2								
	1. toplaag	MC	drained	0	14.5	14.5							0.3								
	2. klei, onverzadigd	MC	drained											1							
	3. klei, matig siltig, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-1	12.5	12.5	12	29	17	2.4	0.3	0.2	3	1.50E-08	1.30E-08	0.6	0.15				
tpv groen teen	3a. Slappe klei (tpv teen groene)	HS/SSC/SHANSEP	undrained		12.5	12.5	12	22	10												
	4. veen	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-2.1	10	10	14	23	9	1.6	0.2	0.1	10	5.80E-08	8.01E-08	2.4	0.22				
	5. zand	HS	drained	-4.2	18	20															
	6. klei, leem, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-9.5	12.5	12.5	72	211	139	2.9	0.4	0.2	3								
	7. zand	HS	drained	-11																	
	8. klei			-17																	
tpv groen kruin	3. klei, matig siltig, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained				13	38	25	2.9											
	4. veen	HS/SSC/SHANSEP	undrained				15	42	27	2.8											

		stiffness HS										Stiffness MC									
Opmerking	beschrijving	materiaal model	drainage type	bk laag (m NAP)	gamma_sat kN/m <sup>3</sup>	gamma_onsat kN/m <sup>3</sup>	m (-)	Eu50_ref (kPa)	G50_ref (kPa)	E'50_ref (kPa)	Eoed_ref (kPa)	Eur_ref (kPa)	E' (kPa)								
	Ophoogzand	HS	drained		17	19	0.5			30000	30000	90000									
	1. toplaag	MC	drained	0	14.5	14.5						10000									
	2. klei, onverzadigd	MC	drained																		
	3. klei, matig siltig, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-1	12.5	12.5	0.93	10500		4000	1000	20000									
tpv groen teen	3a. Slappe klei (tpv teen groene)	HS/SSC/SHANSEP	undrained		12.5	12.5															
	4. veen	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-2.1	10	10	1.00		600.00	2000	500	10000									
	5. zand	HS	drained	-4.2	18	20				30000	20000	90000									
	6. klei, leem, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained	-9.5	12.5	12.5															
	7. zand	HS	drained	-11																	
	8. klei			-17																	
tpv groen kruin	3. klei, matig siltig, humeus	HS/SSC/SHANSEP	undrained																		
	4. veen	HS/SSC/SHANSEP	undrained																		

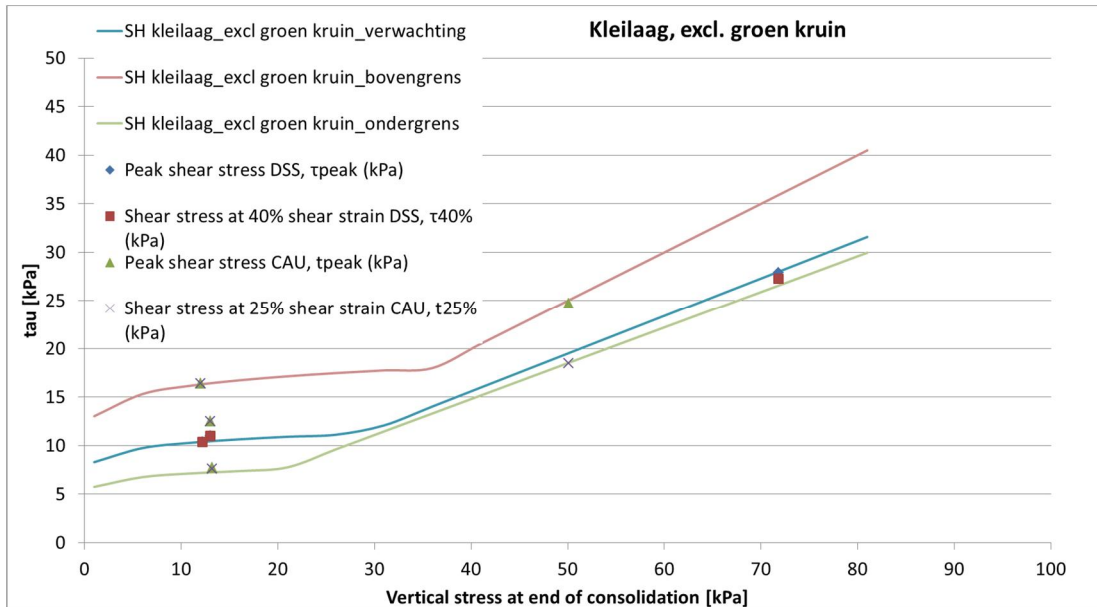
geen arcering	overgenomen uit interpretatie rapport [2]
geen waarde	niet relevant, danwel Plaxis default hanteren
	parameter volgt uit aparte interpretatie slag [3], gebaseerd op SS model, waarde lijkt ook acceptabel voor HS model
	waarde bepaald advh abc parameters obv formules Plaxis handleiding
	Bepaald mbv grove fit mbv Soiltest TRX CAU op bekende Eu50_ref = 10 MPa, bij deze parameters moet wel K0nc = 0.37 worden gekozen, alleen gebruiken voor afschuifsituaties
	engineering judgement
	gepresenteerde waarden behoren bij Rd = 75%, relatieve dichtheid is echter variabel in deze laag en kan ook 100% zijn, voor parameters zie grondinterpretatie rapport
	Bepaald mbv grofstoffelijke fit mbv Soiltest D5S undr op bekende G50_ref = 0.6 MPa, deze set alleen gebruiken voor afschuifsituaties
	berekend

Tabel 3.4 Ge-update predictie parameterset ophoging FSP o.b.v. gedetailleerde grondonderzoek

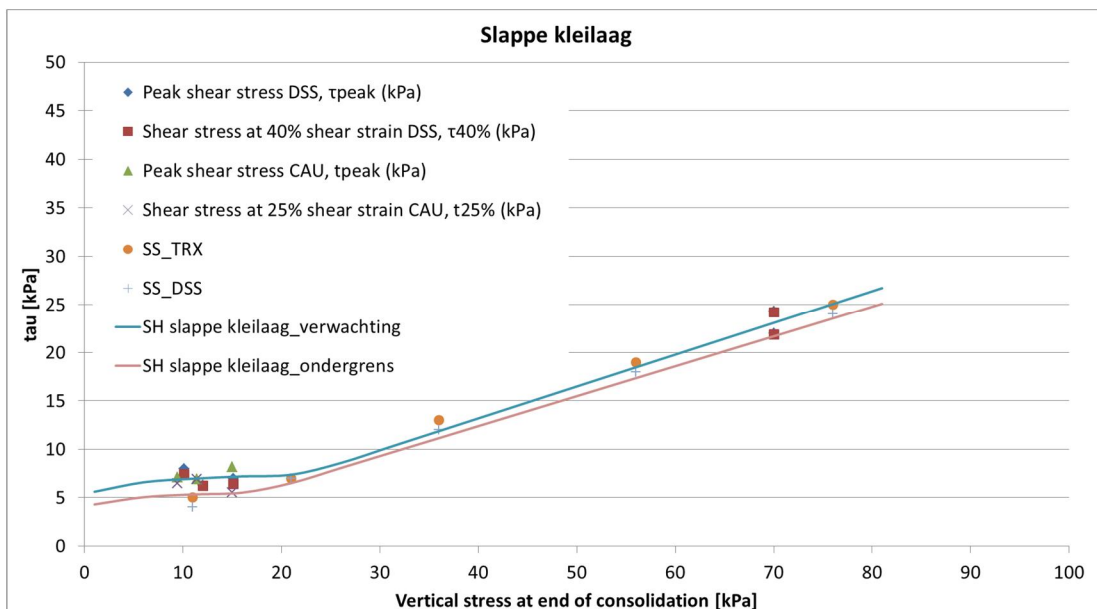
Bij deze predictie parameterset zijn de volgende opmerkingen geplaatst:

- Laag 1 en 2 worden gecombineerd in EEM-analyse, parameters conform laag 1, gemodelleerd met het MC-model (in verband met onverzadigd gedrag).
- ABC-parameters zijn op basis van natuurlijke rekken, bij omrekening naar  $\lambda^*$ ,  $\kappa^*$  en  $\mu^*$  hanteren van de vuistregel in de PLAXIS manual, bij toepassing van UM in PLAXIS geen rekcorrectie benodigd.
- Laag 8 ligt zo diep dat deze als niet relevant meer wordt beschouwd, waarvoor dientengevolge geen parameters gegeven.
- Laag 3, 3a, 4, 6:  $\phi$  en  $c$  zijn zo bepaald dat de SHANSEP-lijnen voor deze lagen zo goed mogelijk worden benaderd met SS model (zie onderstaande figuren).
- Alle abc-waarden bepaald op basis van gemiddelden uit dataset.
- POP- en OCR-waarden geschat op basis van in situ stress en gerapporteerde  $p'_g$  voor isotachen methode.

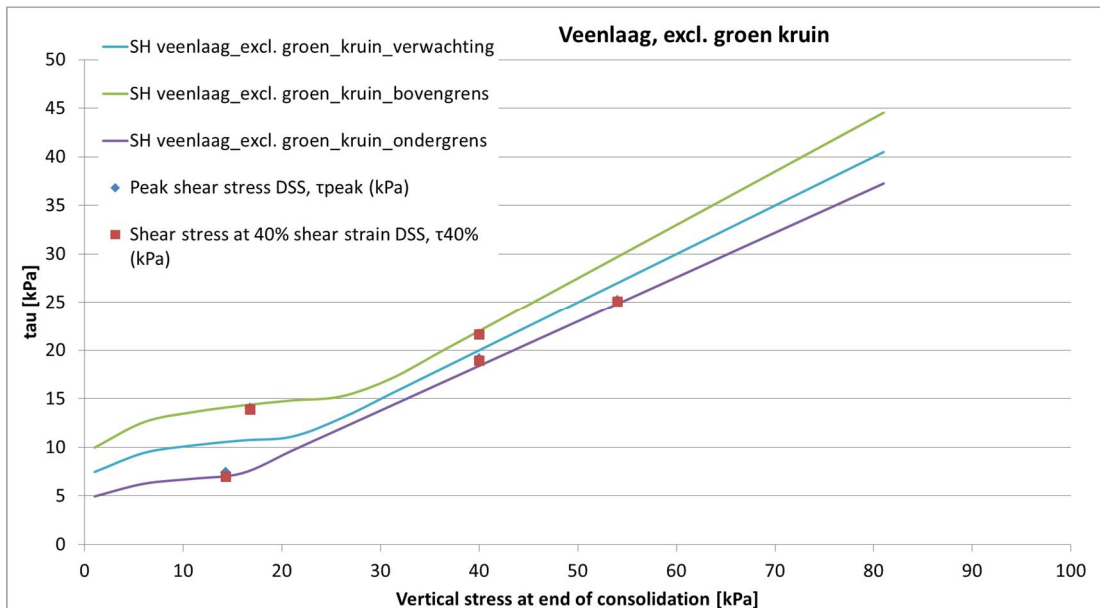
**Noot:** zorg dat in de slappe lagen een bepaalde minimale trek wordt toegestaan (zeg minimaal 5 kPa). Dit voorkomt te hoge  $s_u$ -waarden bij lage spanningen.



Figuur 3.1 SHANSEP lijn voor laag 3 (exclusief groen kruin)



Figuur 3.2 SHANSEP lijn voor laag 3a



Figuur 3.3 SHANSEP lijn voor laag 4 (excusief. groen kruin)

### 3.4.2 DO pull-over tests

In onderstaande tabellen zijn de resulterende predictie parameters ten behoeve van het DO van de POT weergegeven. Voor de 2D- en 3D-predicties in dit DO is uitgegaan van de gemiddelde verwachtingswaarden van de grondeigenschappen.

Grondsoort	$\gamma_{\text{unsat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$\psi$ [°]	$\nu_{\text{ur}}$	$E'$ [kPa]
Toplaag	14,5	14,5	30	5	0	0,3	10.000

Tabel 3.5 Geotechnische parameters MC model tbv DO POT

Grondsoort	$\gamma_{\text{unsat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c'$ [kPa]	$\psi$ [°]	$\nu_{\text{ur}}$ [-]
3. klei, matig siltig, humeus	12,5	12,5	28	4	0	0,2
4. Veen	10,0	10,0	45	3	0	0,1
5. Zand	18,0	20,0	36	1	12	0,2
6. Klei, leem, humeus	12,5	12,5	25	30	0	0,2

Tabel 3.6 Sterkteparameters HS model (gedraineerd) tbv DO POT

Grondsoort	$E'_{50 \text{ ref}}$ [kPa]	$E_{\text{Oed ref}}$ [kPa]	$E_{\text{ur ref}}$ [kPa]	m [-]	POP [kPa]
3. klei, matig siltig, humeus	4.000	2.000	20.000	0,93	17
4. Veen	2.000	500	10.000	1,0	9
5. Zand	30.000	30.000	90.000	0,5	10
6. Klei, leem, humeus	4.000	2.000	20.000	1,0	139,0

Tabel 3.7 Geotechnische stijfheidsparameters HS-model tbv DO POT

### 3.5 Na proeven (tbv postdicties)

#### 3.5.1 Postdicties FSP-groen en FSP-blauw

In Tabel 3.8 zijn de resulterende geotechnische parameters ten behoeve van de postdicties voor de aanleg en proeffase van de FSP-groen weergegeven. Deze is opgezet aan de hand van interpretatie van al het uitgevoerd grondonderzoek, theoretische relaties tussen parameters (uit geotechnische handboeken) en engineering judgement. Uitgangspunt voor de postdictie analyse is dat gebruik wordt gemaakt van de volgende materiaalmodellen:

- Aanlegfase: SSC model
- Proeffase: SS/SSC of NGI-ADP model

Laag	model	drainage	Gsat [kN/m]	s'vi [kN/m]	Phi [gr]	Sin(phi) [-]	Coh [kPa]	K0:nc [-]	Kur=K0nc/2 [-]	v:ur [-]	popi [kPa]	OCR-i [-]	k0:oc [-]	S;res:DSS [-]	m [-]	Su:i [kPa]	Su:min [kPa]
klei talud	MC	drained	17		30			5		0.3							
ophoogzand	HS	drained	19.5		36	0.59	1	0.41		0.21	0.17	0					
	1 MC	drained	14.4	5	30	0.50	4	0.50		0.25	0.30	17	4.4	1.05			
	2 SS(C) / SH NGI	undrained	14.4	6.0	37	0.60	4	0.40		0.20	0.17	17	3.8	0.78	0.41	0.9	8
	3 SS(C) / SH NGI	undrained	13.2	13.9	37	0.60	4	0.40		0.20	0.17	17	2.2	0.59	0.41	0.9	12
	3a SS(C) / SH NGI	undrained	12.6	13.9	32	0.53	2	0.47		0.24	0.19	9	1.6	0.60	0.33	0.9	7
	4 SS(C) / SH NGI	undrained	10.2	16.1	45	0.71	5	0.29		0.15	0.13	12	1.7	0.39	0.50	0.9	13
	5 HS	drained	19.5	41.5	36	0.59	1	0.41		0.21	0.17	10	1.2	0.46			
	6 SS(C)	undrained	16.3	71.4	37	0.60	4	0.40		0.20	0.17	139	2.9	0.68	0.37	0.9	70
tpv groen kruin																	
	3 SS(C) / SH NGI	undrained	13.2	13.9								25	2.8		0.41	0.9	14
	4 SS(C) / SH NGI	undrained	10.2	16.1								27	2.7		0.50	0.9	20
Laag	model	drainage	Su:che [kPa]	q:fa [-]	q:fd [-]	q:fp [-]	Gur/t0/suA [-]	L* [-]	K* [-]	M* [-]	E' [kN/m2]	E50ref [kN/m2]	Eoedref [kN/m2]	ke0 [m/s]	ke0 [m/daag]	ck [-]	
klei talud	MC	drained									5000			1.0E-05	8.6E-01		
ophoogzand	HS	drained										3.6E+04	3.6E+04	1.0E-05	8.6E-01	-	
	1 MC	drained									10000			1.0E-05	8.6E-01	-	
	2 SS(C) / SH NGI	undrained	11	25%	35%	40%	80	0.80	0.155	0.028	0.011			1.0E-08	8.6E-04	0.60	
	3 SS(C) / SH NGI	undrained	16	25%	35%	40%	80	0.80	0.155	0.028	0.011			1.0E-08	8.6E-04	0.60	
	3a SS(C) / SH NGI	undrained	11	25%	35%	40%	80	0.76	0.155	0.028	0.011			1.0E-08	8.6E-04	0.60	
	4 SS(C) / SH NGI	undrained	20	35%	45%	50%	57	0.85	0.332	0.090	0.035			5.0E-08	4.3E-03	2.40	
	5 HS	drained										3.6E+04	3.6E+04	1.0E-05	8.6E-01	-	
	6 SS(C)	undrained	78	10%	20%	25%	200	0.80	0.100	0.020	0.050			1.0E-08	8.6E-04	0.60	

Tabel 3.8 Ge-update postdictie parameterset voor postdictie FSP-groen o.b.v. proefresultaten

De volgende opmerkingen dienen bij deze postdictie parameterset te worden geplaatst:

- Laag 1 betreft de toplaag en wordt als MC drained gemodelleerd. Sterkte en stijfheid o.b.v. engineering judgement.
- Laag 2 betreft de initieel onverzadigde kleilaag onder de toplaag gelegen boven de grondwaterstand. Deze laag zal tijdens de ophoging echter onder water zakken en verzadigd raken. Uiteindelijk is hier daarom deze laag toch als undrained gemodelleerd (in tegenstelling tot DO fase). Relevante parameters zijn gelijk gekozen aan laag 3.
- SSC stijfheden laag 3a gelijk gesteld aan laag 3 bij gebrek aan CRS testen op laag 3a.
- SSC en NGI-ADP stijfheid laag 6 geschat adhv het volumiek gewicht, de 2 beschikbare CRS testen op deze laag worden als niet representatief gezien voor het bulk gedrag.
- SSC sterkte parameters gefit op pieksterkte DSS proeven.
- NGI-ADP sterkteparameters gefit op sterkte DSS proeven bij eindrek/grote rekken (meest representatief geacht voor overall sterkte afschuifvlak).
- Doorlatendheid laag 3a en 6 gelijk genomen aan laag 3 bij gebrek aan proef data.
- Het beschikbaar lab onderzoek voor lagen 3 en 4 t.p.v. de voorbelaste delen van FSP groen onderbouwt een significant hogere POP. De stijfheid en doorlatendheid zijn in eerste instantie gelijk gehouden aan de niet voorbelaste lagen.
- De NGI-ADP stijfheden zijn bepaald adhv de DSS proeven. De TRX compressie en TRX extensie stijfheden zijn vervolgens zo laag als mogelijk geschat (binnen de mogelijkheden van het materiaal model).
- De sterkte en stijfheid van het ophoogzand is gelijk gekozen aan de parameters van laag 5 en zijn gebaseerd op proeven bij 75% relatieve dichtheid.
- De sterkte en stijfheid van de klei op het talud zijn gebaseerd op engineering judgement.

Ten opzichte van de predictie parameterset (zie subparagraaf 3.4.1) zijn in de postdictie parameterset diverse wijzigingen doorgevoerd. De belangrijkste zijn in Tabel 3.9 toegelicht.

Predictie parameterset	Postdictie parameterset
Laag 1 en 2 samen genomen en als onverzadigde laag aangemerkt met relatief hoge doorlatendheid en daarmee effectief als een gedraineerde laag werkte. De lagen zijn als MC gemodelleerd.	Laag 1 als onverzadigd, gedraineerd en MC. Laag 2 zal door zetting onder de grondwaterstand zakken en verzadigd raken. Laag 2 daarom gemodelleerd met een lage doorlatendheid (undrained) en als SSC danwel SHANSEP laag.
Volumieke gewichten alleen bepaald o.b.v. de resultaten van de CRS proeven. Grondwaterstand op NAP -0.8 m aangehouden. Initiële spanningen zijn gebaseerd op voorgaande.	Bepaling van gemiddelde van alle beschikbare volumieke gewichten (CRS/DSS/TRX). Verwijderen van ongeloofwaardige resultaten. Grondwaterstand groene dijk op NAP -0.5 m (blauwe dijk is NAP -0.4 m) aangehouden. Initiële spanningen zijn gebaseerd op voorgaande.
De sterkteparameters ( $\varphi'$ , $c'$ ) van de cohesieve lagen (zoals gebruikt in SSC model) bepaald adhv fit op ongedraineerde sterkte mbv PLAXIS Soiltest runs. Verwachtings-, boven- en ondergrenswaarden van de sterkte zijn gefit op de verzameling van critical state/eindrek waarden van DSS en TRX proeven.  Uitgangspunten: <ul style="list-style-type: none"> <li>de <math>K_0^{nc}</math> is een vaste waarde en wordt gehanteerd conform de gemiddelde waarde per laag volgend uit de <math>K_0</math>-CRS testen.</li> <li>Er wordt een vaste <math>K_0</math>-waarde van 0.5 gehanteerd in de simulatie.</li> </ul>	De verwachtingswaarden van de sterkteparameters ( $\varphi'$ , $c'$ ) van de cohesieve lagen zijn bepaald adhv fit op ongedraineerde sterkte mbv PLAXIS Soiltest runs.  Uitgangspunten: <ul style="list-style-type: none"> <li>De wrijvingshoek <math>\varphi'</math> is bepaald adhv het spanningspad van de DSS proef.</li> <li><math>K_0^{nc}</math> gehanteerd conform <math>1 - \sin(\varphi')</math>.</li> <li><math>K_0</math> in Soiltest conform <math>K_0^{nc}</math> (normaal geconsolideerd monster) danwel <math>K_0 = K_0^{nc} * OCR^{0.5}</math> (overgeconsolideerd monster)</li> </ul>
De stijfheden van het SHANSEP NGI-ADP model ( $G_{ur}/s_{uA}$ , gamma's, $T0/s_{uA}$ ) bepaald obv engineering judgment.	De stijfheden van het SHANSEP NGI-ADP model ( $G_{ur}/s_{uA}$ , gamma's, $T0/s_{uA}$ ) bepaald obv fit DSS proef

Tabel 3.9 Toelichting op meest relevante verschillen predictie (DO) en postdictie parameterset FSP-groen

### 3.5.2 Postdicties POT

In onderstaande tabellen zijn de resulterende geotechnische sterkte- en stijfheidsparameters ten behoeve van de de 2D- en 3D-predicties voor de POT weergegeven.

Grondlaag	Niveau bk [m+NAP]	EEM materiaal- model	MC $S_u$ [kPa]	HS			NGI-ADP	
				$c'_{na}$ [kPa]	$\varphi'_{na}$ [°]	$\psi_{na}$ [°]	S [-]	m [-]
1. toplaag (niet bevroren)	0,0	MC	12	-	-	-	-	-
3. klei, matig, humeus	-1,0	SSC NGI-ADP		4,0	37,0	0	0,41	0,9
4. veen	-2,1 a -2,3	SSC NGI-ADP		5,0	45,0	0	0,50	0,9
5. zand	-4,5 a -4,7	HS		1,0	36,0	6	-	-
6. klei, leem, humeus	-7,2 a -7,5			30,0	25,0	0	-	-
5. zand	-8,0			1,0	36,0	6	-	-
6. klei, leem, humeus	-9,0 a -9,2			30,0	25,0	0	-	-
5. zand	-10,5 a -11,0			1,0	36,0	6	-	-

Tabel 3.11 Sterkteparameters en constitutief model per grondlaag tbv postdicties POT

Grondlaag	HS				MC	
	$E_{50}$ [kPa]	$E_{oed}$ [kPa]	$E_{ur}$ [kPa]	m [-]	E [kPa]	$\nu$ [-]
1. toplaag (niet bevroren)	-	-	-	-	10e3	0,3
3. klei, matig humeus	1.520	650	13.400	0,9	-	-
4. veen	990	300	5.800	0,9	-	-
5. zand	36.000	36.000	180.000	0,5	-	-
6. klei, leem, humeus	2.350	1.000	18.800	0,9	-	-

Tabel 3.12 Geotechnische stijfheidsparameters Hardening Soil en Mohr Coulomb model

Grondlaag		SHANSEP NGI-ADP			
		$G_{ur}/s_u$ [kPa]	Strain comp [%]	Strain ext [%]	Strain DSS [%]
3.	klei, matig humeus	80	25	40	35
4.	veen	57	35	50	45

Tabel 3.13 Geotechnische stijfheidsparameters SHANSEP NGI-ADP model

Na het uitvoeren van de eerste proef was er sprake van een kortdurende, maar strenge vorstperiode. Dit heeft tot een bevroren deel van de toplaag van circa 0,15 m geleid. Voor bevroren grond is bekend dat de druksterkte aanzienlijk hoger kan worden. Op basis van gevoeligheidsberekeningen is tot  $S_u = 50$  kPa over een diepte van 0,5 m (om te dunne lagen in het 3D-model te voorkomen) gekomen.