



# Geotechnisch Onderzoek Planuitwerkingsfase Dijkversterking IJsselmeerdijk

**Documentnummer: 23ZP0241-RG-01**

# Geotechnisch Onderzoek Planuitwerkingsfase Dijkversterking IJsselmeerdijk

Opdrachtnummer: 23ZP0241

**Rapport betreffende**  
Resultaten geotechnisch onderzoek

**Documentnummer**  
23ZP0241-RG-01

**Versie**  
4.0

**Datum rapport**  
19 april 2024

**Opdrachtgever**  
Waterschap Zuiderzeeland  
Postbus 229  
8200 AE Lelystad

**Opgesteld door:**  
ing. N.N.L. Gubbels



**Vrijgegeven door:**  
ing. K.K. Hertogh



## MANAGEMENT SAMENVATTING

De IJsselmeerdijk dient ter bescherming van de onder zeeniveau gelegen Flevopolder tegen het water van het IJsselmeer. In 2018 is gebleken dat deze dijk niet (meer) voldoet aan de vigerende Waterveiligheidsnormen uit de Waterwet. Daaropvolgend is gestart met een meerjarig project, onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma-HWBP, genaamd "Versterking IJsselmeerdijk". Het traject dat versterkt dient te worden is gesitueerd tussen de Ketelbrug in het noorden en de Houtribdijk nabij Lelystad. Het doel van het project is het vormen van een dijk die zowel veilig als toekomstbestendig is. Voornemens is de realisatie van een vooroeveroplossing buitendijks en een traditionele dijkverzwaring waar inpassing van een vooroever niet uitvoerbaar blijkt. Onderdeel van de planuitwerkfase vormt het geotechnisch onderzoek van de ondergrond, dat de basis vormt voor het verdere ontwerpproces.

In navolging op een aanbestedingsprocedure is het geotechnisch onderzoek door Waterschap Zuiderzeeland (OG) gegund aan SOCOTEC Geotechnics-Inpijn Blokpoel Ingenieurs (ON). De doelstelling van dit geotechnisch onderzoek vormt het, met een hoog detailniveau, in beeld brengen van het dijklichaam, de Zuiderzeebodem en de sterkte van de ondergrond. Opvolgend laboratoriumonderzoek is gericht op het beschrijven van de complexiteit van de ondergrond om het ontwerpteam te voorzien van zettings- en sterkteparameters. Op basis van het geotechnisch labonderzoek is een proevenverzameling opgesteld waarin statistisch De geotechnische meetdata (verkregen en reeds bestaand) en de laboratoriumresultaten zijn ten slotte verwerkt in een tweetal geotechnische lengteprofielen op basis van de Globale Stochastische (WTI-SOS) ondergrondschematisatie voor primaire waterkeringen.

Op basis van de doelstelling is ON gestart met interpretatie en realisatie van het door OG aangeleverde boorplan. Risico's in de uitvoering op het gebied van o.a. tijd en techniek zijn onderkend middels het opstellen van een PVA en een (dynamische) MS Projects-planning. Bedreigingen en factoren voor het facet veiligheid zijn uitvoerig geanalyseerd en gemitigeerd in een VGM-plan. De sonderingen (265) en mechanische boringen (20) ten behoeve van het in beeld brengen van de Zuiderzeebodem zijn uitgevoerd middels een geotechnisch werkschip. Ten opzichte van de uitvraag vanuit OG zijn enkele wijzigingen gedurende het proces doorgevoerd, waaronder het wegens technische onuitvoerbaarheid vervallen van de geotechnische meetlocaties op de strekdam nabij de Flevo Marina haven. Voor het ontwerpteam is het van belang om inzicht te hebben in de positie van (historische) stroomgeulen/rivierduinen. Bij afronding van de eerste fase van het geotechnisch onderzoek op het water zijn na uitvoerige analyse aanvullende sondeerlocaties vastgesteld en uitgevoerd om deze stroomgeulen nauwkeuriger in beeld te brengen. Binnendijks zijn sonderingen (90) uitgevoerd in een drietal raaien ten behoeve van het verkrijgen van inzicht in de dijkopbouw en diens ondergrond.

Gedurende de uitvoeringsfase hebben diverse factoren een invloed uitgeoefend op het verloop, deze zijn steeds benoemd en de ondernomen actie beschreven in de voortgangsverslagen. De belangrijkste externe factor is hierin het weer, meer specifiek de windkracht, geweest. Mede door het anticipatievermogen van de uitvoerders en de vooraf gecalculeerde marge in de planning zijn de effecten hiervan op de doorlooptijd geminimaliseerd. De factor planning is gedurende de laboratoriumfase meerdere keren naar voren gekomen als projectrisico, in de voortgangsrapportages is hierin steeds transparantie en toelichting geboden aan OG. Uiteindelijk is er steeds een bevredigende oplossing hiervoor gevonden tussen OG en ON, rekening houdende met praktische aspecten en belangen op het gebied van databehoeftes en beschikbare tijd.

De veldbeschrijvingen tonen een afwisselend beeld met dunne veenlagen en veel kleilagen in het zuiden naar een bodemopbouw met meer zand- en veenlagen richting de Ketelbrug, het noorden van het onderzoekstraject. De zuidelijke boringen, tussen Lelystad en de Maxima energiecentrale, alsmede de twee boringen direct aan de noordzijde van de Maxima energiecentrale, laten een constante bodemopbouw zien. Aanvankelijk is in het zuidelijke traject eerst een plusminus twee meter zandlaag waar te nemen vanaf -5 m NAP die overloopt in een veenlaag van circa 0,5-1 m dikte. Onder deze

eerste veenlaag is vanaf ongeveer -8 m NAP tot -10,5 à -11,0 m een kleipakket te vinden dat zich kenmerkt in een verloop van een organisch licht type naar een kalkrijk, zwaar type klei onderin. Een dunne veenlaag die varieert in dikte van 0,1 tot 0,5 m sluit het Holocene pakket af. In de boringen ten zuiden van de Maxima energiecentrale zijn vanaf een niveau van -11,5 m NAP de Pleistocene (zand) afzettingen terug te vinden.

Als er nader gekeken wordt naar de boringen ten noorden van de Maxima centrale, dan is er sprake van een afwijkende geologische bodemopbouw. Bij deze reeks boringen is er aanvankelijk ook een zandpakket aanwezig vanaf ongeveer -5 m NAP welke siltig is en vanaf een gemiddelde diepte van -6 m NAP overgaat in silt en/of kleilagen. Lokaal gaat de gelaagdheid over in een veenpakket rond de -7,5 m NAP maar deze overgang is in andere boringen pas op een diepte van -9 m NAP te observeren. Bij de vier meest noordelijk uitgevoerde boringen, nabij de Ketelbrug, is maar één veenlaag te onderscheiden en gaat het veenpakket rond de -9,5 m NAP over in Pleistocene zandlagen. In de overige boringen van dit traject is er ook meer afwisseling; de boringen bevatten wel twee te onderscheiden veenlagen maar het kleipakket ertussenin is veel minder prominent aanwezig dan bij de zuidelijke boringen en bestaat hier hoofdzakelijk uit lichte (organische) klei. Bij de twee boringen direct ten noorden van de Maxima centrale zijn beide typen klei waar te nemen, lichte organische klei gevolgd door een kalkrijke zware klei, maar de basisveenlaag ontbreekt hier echter. Vanaf een niveau van -10 m NAP is een overgang waar te nemen van het Holocene pakket naar het Pleistocene zandpakket.

Samengevat kunnen de verschillen tussen de zuidelijke- en noordelijke boringen voornamelijk worden gekenmerkt door een (sterke) afname in de dikte van het Holocene pakket ten noorden van de Maxima centrale.

Na de uitvoering van classificatieproeven, is er ook een duidelijke clustering waar te nemen voor 5 onderscheidende grondlagen; een kleilaag die onderverdeeld kan worden in een lichte organische klei en een zware kalkrijke klei, een silt/kleilaag en twee veenlagen, waarin de dieper gelegen veenlaag zich onderscheidt door een lager watergehalte. De Atterbergse grenzen, die uitgevoerd zijn op de klei en siltlagen, resulteert voor de kleimonsters in een waarde tussen de A-lijn en de U-lijn waardoor de grondsoorten als klei kunnen worden geclassificeerd. De siltmonsters vallen buiten de A-lijn en worden hierdoor als silt geclassificeerd. De ondiepe veenlaag betreft een zeer gerijpt type veen, met een grote minerale component. Deze veenlaag bleek vanwege het ontbreken van zichtbare plantenresten lastig te classificeren. Door de grote minerale component ligt het voor de hand dat het veen is afgezet in een eutroof milieu, een afzettingsmilieu dat gevoed wordt door voedselrijke en slibhoudend rivier- of zeewater. Hierdoor kan deze veenlaag mogelijk als riet- of bosveen worden geclassificeerd. Vanwege de kleiige component, zou Koopveengrond ook het veen kunnen omschrijven, echter ligt deze optie niet in de lijn der verwachting voor het projectgebied. Op basis van beschreven veenpakketten uit de regio, past de classificatie veenslik ook bij de eigenschappen van het aangetroffen materiaal. Binnen de gehanteerde norm NEN-EN-ISO 14688-1 is dit echter geen valide beschrijving, waardoor de laag ook als "detritus" kan worden benoemd.

Op basis van de resultaten uit de CRS, DSS en triaxiaalproeven kan worden geconcludeerd dat de spreiding in volumegewichten voor de silt/kleilaag erg groot is en het aantal CRS-proeven en Triaxiaalproeven (onderscheidt makend naar NC en OC condities) beperkt zijn. Op basis van een eerste statistische analyse is geopteerd om het aantal kenmerkende grondlagen voor de statistische bewerking terug te brengen van vijf lagen naar vier door de resultaten van de silt/klei samen te voegen met Klei licht respectievelijk Klei zwaar. Voor het vaststellen van de verwachtingswaarden en de variatiecoëfficiënten van de volumegewichten en de samendrukkingsparameters is gebruik gemaakt van reguliere statistiek. Voor het vaststellen van de karakteristieke grondparameters, benodigd voor het beoordelen van de macrostabiliteit van het ontwerp, is de aanpak gehanteerd uit de "Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit".

Onderstaand een overzicht van de volumegewichten, de samendrukkingsparameters en de ongedraineerde schuifsterkteparameters voor de vooroevers van de Dijkversterking IJsselmeerdijk.  
 Overzicht samendrukkingsparameters en normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkteparameters vooroevers.

Grondsoort	Samendrukkingsparameters (verw.w.)						NC ongedraineerde schuifsterkteparameters (kar.)			
	$\gamma_{\text{insitu}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	a [-]	b [-]	c [-]	POP [kN/m <sup>2</sup> ]	OCR [-]	S [-]	m [-]	POP [kN/m <sup>2</sup> ]	OCR [-]
Veen 1	10,7	0,0316	0,2946	0,0227	17,8	1,83	0,29	0,87	13,4	1,51
Veen 2 (Basisveen)	10,6	0,0305	0,2953	0,0245	43,2	2,21	0,35	0,88	31,4	1,72
Klei licht	13,2	0,0167	0,1784	0,0118	24,1	1,90	0,21	0,90	14,4	1,59
Klei zwaar	15,0	0,0138	0,1300	0,0076	18,3	1,89	0,17	0,73	6,9	1,67

Met:

Verw.w	= verwachtingswaarde	[-]
Kar.	= karakteristiek	[-]
$\gamma_{\text{insitu}}$	= insitu (vochtig/nat) volumegewicht	[kN/m <sup>3</sup> ]
a	= herbelast/zwel samendrukkingsconstante	[-]
b	= primaire samendrukkingsconstante na de grensspanning	[-]
c	= secundaire samendrukkingsconstante	[-]
POP	= Grensspanning in de vorm van pre overburden pressure	[kN/m <sup>2</sup> ]
OCR	= Grensspanning in de vorm van overconsolidatieratio	[-]
S	= normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	[-]
m	= Sterkte toename exponent	[-]

## INHOUDSOPGAVE

<b>MANAGEMENT SAMENVATTING .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INLEIDING .....</b>	<b>6</b>
<b>2. WERKVOORBEREIDING .....</b>	<b>7</b>
2.1 Omvang onderzoek .....	7
2.2 Omgevingsfactoren.....	7
2.2.1 <i>Flora en Fauna</i> .....	7
2.2.2 <i>Verkeersmaatregelen</i> .....	8
2.2.3 <i>Kabels en leidingen</i> .....	9
2.3 Uitzetten en schouwen meetpunten .....	9
2.4 Codering meetpunten .....	9
<b>3. UITVOERING VELDWERK .....</b>	<b>10</b>
3.1 Uitvoering sonderingen (bijlage C) .....	10
3.2 Uitvoering mechanische boringen (bijlage D).....	10
3.3 Tachymetrie strekdam nabij Flevo Marina.....	11
3.4 Afwijkingen en opmerkingen uitvoering en uitvraag .....	11
3.5 Digitale uitwisseling resultaten veldwerkzaamheden .....	12
<b>4. LABORATORIUMWERKZAAMHEDEN.....</b>	<b>13</b>
4.1 Algemeen.....	13
4.2 Uitgevoerde laboratoriumwerkzaamheden .....	13
4.2.1 <i>Classificatieproeven en identificatie grondmonsters</i> .....	13
4.2.2 <i>Constant Rate of Strain (CRS) proeven</i> .....	14
4.2.3 <i>Direct Simple Shear (DSS) proeven</i> .....	14
4.2.4 <i>Triaxiaalproeven (TX): Ongedraineerde anisotroop geconsolideerde (CaU) proeven</i> .....	15
4.3 Fotograferen ongeroerde grondmonsters .....	15
4.4 Statistische analyse resultaten laboratorium en opstellen proevenverzameling.....	15
4.5 Digitale uitwisseling resultaten laboratoriumwerkzaamheden.....	15
<b>5. GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL .....</b>	<b>16</b>

**BIJLAGEN:**

- A Situatietekeningen
- B Overzicht meetpunten
- C Sonderingen:
  - C1: Sondeergrafieken (alleen in digitaal opleverdossier)
  - C2: Sondeergrafieken, inclusief Bq-index
  - C3: Voorboorprofielen sonderingen conform NEN-EN-ISO 14688-1
  - C4: kwaliteitstoetsing sonderingen
  - C5: Kalibratierapporten sondeerconussen
- D Boorprofielen
  - D1: Boorprofielen machinale boringen conform NEN-EN-ISO 14688-1
  - D2: Legenda symbolologie boorprofielen
- E Resultaten laboratoriumonderzoek
  - E1: Classificatieproeven
  - E2: CRS-proeven
  - E3: DSS-proeven
  - E4: TX-proeven
  - E5: Foto's boorprofielen
- F Controle verificatie en validatie eisen
- G Tachymetrie strekdam Flevo Marina
- H Rapportage proevenverzameling
- I Geotechnische lengteprofielen

**VERSIE:**

4.0 Rapportage

**VERZENDLIJST:**

Per mail aan Waterschap Zuiderzeeland te Lelystad t.a.v.:

- Dhr. C. Tenthof van Noorden (c.tenthof@zuiderzeeland.nl);
- Dhr. G. Spijkerboer (g.spijkerboer@zuiderzeeland.nl)

## 1. INLEIDING

Door het Waterschap Zuiderzeeland (WSZZL) is grondmechanisch onderzoek uitgevraagd in het kader van “*Geotechnisch Onderzoek Planuitwerkingsfase Dijkversterking IJsselmeerdijk*”. Dit onderzoek richt zich op de (toekomstige) versterking van de IJsselmeerdijk, gesitueerd tussen de Ketelbrug en de Houtribdijk te Lelystad. Voornemens is de realisatie van een dwarsdam op de IJsselmeerbodem en een traditionele dijkversterking binnendijks.

Het voornaamste doel van dit geotechnisch onderzoek vormde het verkrijgen van een nauwkeurig inzicht in de opbouw en sterkte van de ondergrond van de IJsselmeerbodem ten behoeve van de te construeren dwarsdam en de binnendijkse zijde van de IJsselmeerdijk. De opdracht van het grondmechanisch onderzoek is uitgevoerd door SOCOTEC Geotechnics-Inpijn Blokpoel ingenieurs.

Het project is samengesteld uit de volgende werkzaamheden:

- Uitvoeren van sonderingen met waterspanningsmeting (vanaf het water en binnendijks op het land);
- Uitvoeren van (puls)boringen (machinaal vanaf het water);
- Uitvoeren van routinematig en complex laboratoriumonderzoek;
- Tachymetrie van de strekdam te Flevo Marina;
- Rapportage van de onderzoeksbevindingen;
- Opstellen geotechnisch lengteprofiel buitendijks en binnendijks (gepositioneerd parallel aan/nabij de kwelsloot);
- Opstellen van een proevenverzameling t.b.v. het bepalen van karakteristieke geotechnische parameters.

Voorliggend rapport verschaft een gedetailleerde beschrijving van het verloop van het gehele geotechnisch onderzoek. De afwijkingen en/of aanvullingen op de oorspronkelijke uitvraag zullen hierin nader toegelicht worden.



## 2. WERKVOORBEREIDING

### 2.1 Omvang onderzoek

Na ontvangst van het onderzoeksplan (meetpunten en doelstelling) van de opdrachtgever is de werkvoorbereiding gestart. In bijlage B is een "Overzicht Meetpunten" opgenomen met de uitgevoerde veldwerkzaamheden. In tabel 1 zijn de gevraagde en uitgevoerde werkzaamheden samengevat.

**Tabel 1: Omvang grondonderzoek**

Type onderzoek	Type code	Opmerking	Aantallen <sup>opm 1</sup>	
			Uitgevraagd	Uitgevoerd
<b>Sonderingen</b>				
Sonderingen toepassingsklasse 2 met waterspanningsmeting (U2) (Land)	DKMP(2)	Sonderingen tot circa -12 mNAP, min. 2 m in Pleistoceen zand	93	90
Sonderingen toepassingsklasse 2 met waterspanningsmeting (U2) (Water)	DKMP(2)	Sonderingen tot circa -12 mNAP, min. 2 m in Pleistoceen zand	248	265
<b>Boringen</b>				
Mechanische (puls)boringen ten behoeve van QM1 monsters	B	Boringen tot circa -12 mNAP, min. 2 m in Pleistoceen zand	23	20

*Opm. 1: In paragraaf 3.4 wordt nader ingegaan op het verschil in uitgevraagde en uitgevoerde werkzaamheden.*

### 2.2 Omgevingsfactoren

Op basis van de inventarisatie bij de werkvoorbereiding, de ligging en diepte van de meetpunten en de periode waarin de veldwerkzaamheden worden uitgevoerd zijn geen bijzonderheden vastgesteld ten aanzien van de volgende omgevingsthema's:

- Beschermingsgebieden geluid;
- Archeologie;
- Ontploffbare oorlogsresten (OO, voorheen niet gesprongen explosieven (NGE));
- Wet bodembescherming;
- Beschermingsgebieden waterwinning, boring vrije zones.

Voor de volgende omgevingsthema's zijn wel bijzonderheden van toepassing:

- Flora en Fauna;
- Verkeersmaatregelen;
- KLIC.

#### 2.2.1 Flora en Fauna

Gedurende de voorbereiding is gebleken dat de meetlocaties op het water binnen het Natura 2000 gebied IJsselmeer vielen. Gelet op de periode van uitvoering en een uitvoeringsafstand van 30 meter of meer vanaf de oever is geen sprake van beschadiging of verstoring van flora of fauna.

De sonderingen binnendijks zijn gelegen in een zone waar vanuit de Wet Natuurbeheer mogelijk beschermde soorten aanwezig zijn. In verband hiermee is een oriënterend (voor)onderzoek Flora en Fauna uitgevoerd door Royal HasKoning DHV en door opdrachtgever ter beschikking gesteld.

Voorafgaand aan de werkzaamheden binnendijks is in april 2023, na uitvoeren van een veldinspectie flora & fauna, door BNL Advies een werkprotocol ecologie opgesteld. Op basis van de bevindingen bij de veldinspectie is geconcludeerd dat er geen verplaatsing van meetlocaties noodzakelijk waren en binnen de zones van uitvoering en aanrijroutes geen verstoring of schade aan flora & fauna kan plaatsvinden.

Tijdens de uitvoeringsfase is in aanvulling op het protocol zorgvuldig en bewust gewerkt om te voldoen aan de voor uitvoering geldende zorgplicht en de impact op de aanwezige flora en fauna tot een minimum te reduceren.

## 2.2.2 Verkeersmaatregelen

Een aantal meetpunten zijn direct naast de IJsselmeerdijk (weg) gelegen, meer specifiek de binnenberm van de dijk. Rekening houdende met de veiligheidsmarge en de uitvoerbaarheid van de meetlocaties gelden voor deze werkzaamheden verkeersmaatregelen waarbij zowel bij het voorbereiden door verharding als de feitelijke sondering en afwerking verkeersmaatregelen zijn toegepast conform CROW-publicatie 96B. Hierbij is gebruik gemaakt van een semi-dynamische wegafzetting volgens de richtlijnen van figuur 1221. Deze figuur sluit direct aan bij de eisen in Hoofdstuk 5 van het grondonderzoeksprotocol van WSZZL.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de meetpunten waar aanvullende verkeersmaatregelen zijn toegepast in verband met de ligging direct naast de weg.

**Tabel 2: Overzicht meetpunten op of nabij wegen (door OG verstrekte X en Y coördinaten)**

Naamgeving OG	Werklocatie	X_uit	Y_uit	Type_mp	Type weg
SDG-ZBB-0711	BIKR-IJsselmeerdijk	163255.59	508101.59	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0714	BIKR-IJsselmeerdijk	163326.64	508171.96	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0717	BIKR-IJsselmeerdijk	163396.58	508242.55	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0719	BIKR-IJsselmeerdijk	163467.69	508313.96	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0722	BIKR-IJsselmeerdijk	163539.02	508384.26	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0725	BIKR-IJsselmeerdijk	163608.75	508455.94	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0728	BIKR-IJsselmeerdijk	163679.79	508526.33	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0731	BIKR-IJsselmeerdijk	163750.76	508596.80	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0734	BIKR-IJsselmeerdijk	163820.87	508668.09	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0737	BIKR-IJsselmeerdijk	163890.87	508739.51	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0740	BIKR-IJsselmeerdijk	163963.36	508808.48	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0743	BIKR-IJsselmeerdijk	164037.60	508875.73	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0746	BIKR-IJsselmeerdijk	164179.21	509016.96	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0749	BIKR-IJsselmeerdijk	164247.12	509090.44	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0752	BIKR-IJsselmeerdijk	164314.80	509164.14	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0755	BIKR-IJsselmeerdijk	164384.71	509235.64	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0758	BIKR-IJsselmeerdijk	164455.20	509306.57	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0761	BIKR-IJsselmeerdijk	164525.92	509377.28	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0764	BIKR-IJsselmeerdijk	164596.95	509447.68	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0766	BIKR-IJsselmeerdijk	164668.91	509517.17	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0770	BIKR-IJsselmeerdijk	164988.14	509842.38	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0773	BIKR-IJsselmeerdijk	165056.77	509915.14	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0775	BIKR-IJsselmeerdijk	165125.48	509987.83	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0778	BIKR-IJsselmeerdijk	165193.26	510061.42	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0781	BIKR-IJsselmeerdijk	165261.26	510134.80	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0784	BIKR-IJsselmeerdijk	165330.54	510209.30	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0787	BIKR-IJsselmeerdijk	165399.57	510282.71	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0790	BIKR-IJsselmeerdijk	165467.74	510355.78	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0792	BIKR-IJsselmeerdijk	165535.50	510428.84	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0795	BIKR-IJsselmeerdijk	165603.25	510501.86	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg
SDG-ZBB-0798	BIKR-IJsselmeerdijk	165671.92	510575.61	DKMP	Gebiedsontsluitingsweg

### 2.2.3 Kabels en leidingen

Om inzicht te krijgen in de ligging van kabels en leidingen zijn KLIC-meldingen verricht, om gedetailleerd de ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Als veiligheidsmarge hebben wij een minimale afstand van 1,5 meter van alle kabels en leidingen gehanteerd. Uitzonderingen zijn de essentiële transportleidingen/ kabels nabij de Maxima centrale, hier zijn de eisen van de leidingbeheerder voor gehanteerd. De volgende meetpunten zijn binnen 1,5 meter van een kabel en/of leiding gelegen

**Tabel 3: Overzicht meetpunten binnen 1.5 m van een KLIC-objekten (door OG verstrekte X en Y coördinaten)**

Naamgeving OG	Werklocatie	X_uit	Y_uit	Type_mp	KLIC object
SDG-ZBB-0774	BIT- IJsselmeerdijk	165129.33	509984.04	DKMP	DATATRANSPORT, MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0778	BIKR-IJsselmeerdijk	165193.26	510061.42	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0781	BIKR-IJsselmeerdijk	165261.26	510134.80	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0784	BIKR-IJsselmeerdijk	165330.54	510209.30	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0787	BIKR-IJsselmeerdijk	165399.57	510282.71	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0790	BIKR-IJsselmeerdijk	165467.74	510355.78	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0792	BIKR-IJsselmeerdijk	165535.50	510428.84	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0795	BIKR-IJsselmeerdijk	165603.25	510501.86	DKMP	MIDDENSANNING
SDG-ZBB-0798	BIKR-IJsselmeerdijk	165671.92	510575.61	DKMP	MIDDENSANNING

In samenspraak met WSZZL zijn de bovengenoemde onderzoekslocaties op een veilige afstand verplaatst geworden.

### 2.3 Uitzetten en schouwen meetpunten

Voorafgaand aan het uitzetten van de meetpunten is contact gezocht met de beheerder van de binnendijkse percelen. Navolgend zijn met behulp van een GNSS meetsysteem de locaties van de meetpunten uitgezet in RD coördinaten en is de hoogte van het maaiveld ter plaatse van ieder meetpunt bepaald ten opzichte van NAP. Controle van de hoogtemetingen zijn gedaan aan de hand van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3) in GIS.

Voor de resultaten van de inmetingen wordt verwezen naar het "Overzicht meetpunten" in bijlage B. De locaties van de meetpunten zijn aangegeven op de situatietekeningen toegevoegd onder bijlage A.

### 2.4 Codering meetpunten

De meetpunten zijn gedurende het grondonderzoek gecodeerd met een werknummer. Na uitvoering is de naamgeving van Waterschap Zuiderzeeland gehanteerd in de verwerkings- en opleveringsfase van het geotechnisch veld- en laboratoriumonderzoek.

Waarbij: S-D-V  
(v.b. SDG-ZBB-0774)

S = Soort grondonderzoek, "SDG" voor sondering en "BRG" voor boring;  
D = De 3 cijferig code van de dijk;  
V = Een 4 cijferig volgnummer, opvolgend op nummer laatste boring of sondering.

### 3. UITVOERING VELDWERK

#### 3.1 Uitvoering sonderingen (bijlage C)

In totaal zijn **355** sonderingen van toepassingsklasse 2 uitgevoerd. Hiervan zijn **265** sonderingen met inzet van een werkschip van Gemeentewerken Rotterdam vanaf het water uitgevoerd tot een diepte van circa -15 mNAP à -20 mNAP. Het gehanteerde referentieniveau vormt voor deze buitendijkse sonderingen de Zuiderzeebodem. Op het land zijn met inzet van een tracktruck **90** sonderingen uitgevoerd tot een diepte van circa -13 mNAP à 19 mNAP. Hiermee is voldaan aan het uitgangspunt sonderen tot minimaal 2 meter in het Pleistocene zand. De sonderingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22476-1, TE2. De waterspanning is gemeten achter de conuspunt ( $U_2$ ).

Voor de sonderingen met toepassingsklasse 2 is gebruik gemaakt van een standaard 10 cm<sup>2</sup> sondeerconus, inzetbaar tot een conusweerstand van 100 MPa. Als stopmoment voor de sonderingen is circa 70 MPa gehanteerd, deze waarde is echter nergens bereikt.

Voorafgaand aan het maken van een sondering is de sondeerconus voorgekoeld naar circa 10°C. Omdat gewerkt is met twee verschillende type meetsystemen (sonderingen water: A.P. Van de Bergh en sonderingen land Goudageo) is een verschillende methode gebruikt voor het ontluichten en inbouwen van het waterspanningsfilter.

- Op het water: De sondeerconus, inclusief filter waterspanning is in geheel ontluicht, geprepareerd en toegepast voor het uitvoeren van de sondering;
- Op het land: Per sondering is een nieuw waterspanningsfilter in de conus geplaatst. De filters en glycerine zijn voorafgaand aan de werkzaamheden tenminste 36 uur ontluicht. Filters zijn vooraf gereinigd met aceton en zijn na het ontluichten geheel ondergedompeld in glycerine bewaard. Prepareren van de conus vindt plaats onder vloeistof, waardoor ook bij het prepareren geen inslag van lucht kan plaatsvinden.

In het geval van **44** sonderingen is voorafgaand aan het sonderen een voorboring uitgevoerd om de toplaag van de Zuiderzeebodem te doorboren. Het gehanteerde referentieniveau vormt bij deze boringen de op het moment van uitvoering actuele waterspiegel van het IJsselmeer. De trajecten van de voorboringen zijn aangegeven in de sondeergrafieken. De voorboorprofielen zijn beschreven conform NEN-EN-ISO 14688-1:2019+NEN8990:2020 en zijn te vinden in bijlage C3.

Bij iedere sondering is op einddiepte een dissipatietest uitgevoerd, waarna bij de kwaliteitscontrole van de sondering is gecontroleerd of de waterspanningsmeting goed is uitgevoerd en penetratie tot in de zandlaag is behaald. De sondeergaten op het land zijn na afloop van de meting afgedicht met bentoniet (zwekleistaven). Bij de sondering vanaf het water is in de steunbuis die reikt tot juist in de waterbodem mikoliet toegepast.

Voor de grafieken van de sonderingen wordt verwezen naar bijlage C2. De controle op de behaalde toepassingsklasse is gepresenteerd in bijlage C4.

#### 3.2 Uitvoering mechanische boringen (bijlage D)

Binnen het projectgebied zijn **20** mechanische pulsboringen uitgevoerd tot een diepte van circa -15 mNAP à 16 mNAP. Uitgangspunt was boren tot minimaal 2 meter in het Pleistocene zand. Het gehanteerde referentieniveau voor deze pulsboringen vormt de op het moment van uitvoering actuele waterspiegel. De mechanische boringen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22475-1. Verder is gewerkt in navolging van de BRL SIKB 2100, protocol 2101.

De uitkomende grond is conform NEN-EN-ISO 14688-1:2019+NEN8990:2020 beschreven. Tijdens het boren is gelet op gley kenmerken in de opgeboorde grond en heeft registratie plaatsgevonden van de actuele freatische grondwaterstand gedurende het boren. Voor de boorprofielen van de machinale boringen wordt verwezen naar bijlage D.

Bij de mechanische boringen zijn ongeroerde monsters gestoken (Ackermann steekbus: 500 x 67mm) en heeft daarnaast geroerde monsterneming plaatsgevonden. De trajecten van de monsters zijn weergegeven in de boorprofielen. De volgende monsternemingsstrategie is toegepast:

- Continue gedrukt / geslagen ongeroerd monster (2 steekbussen per meter);
- Geroerd monster per meter of binnen een meter waargenomen laagscheiding.

Indien nodig zijn steekbussen met corecatcher gebruikt. Steekbussen met corecatcher worden na bemonstering overgegoten in een monsteremmer.

Na bemonstering is van de steekbussen het Totaal Volume Gewicht (TVG) bepaald. De annulaire ruimte in de steekbussen is vervolgens opgevuld met een plasticfolie als scheiding tussen de bemonsterde grond en het vulmateriaal. De steekbus is navolgend afgedicht met een dop en luchtdicht geseald met tape en voorzien van een deugdelijk etiket met duidelijke registratie van boordiepte, monstertraject, uitvoeringsdatum en projectcode.

De steekbussen zijn aan het einde van de werkdag overgebracht naar een (geconditioneerde) koelcel.

### 3.3 Tachymetrie strekdam nabij Flevo Marina

In het kader van het verkrijgen van inzicht in de geometrie en hoogteligging van de strekdam nabij de Flevo Marina jachthaven zijn een drietal dwarsprofielen en een lengteprofiel ingemeten d.m.v. tachymetrie. De profielen zijn allen doorgezet tot 1 m in het water. De grafische weergave van deze inmeting is te vinden in bijlage G van deze rapportage.

### 3.4 Afwijkingen en opmerkingen uitvoering en uitvraag

In tabel 1 zijn de aantallen wat betreft de uitvraag vanuit Waterschap Zuiderzeeland en de daadwerkelijke uitvoering opgenomen. Van de **93** uitgevraagde (land)sonderingen zijn een drietal sonderingen komen te vervallen vanwege het feit dat het technisch niet uitvoerbaar bleek om te sonderen op de strekdam nabij Flevo Marina.

Op het IJsselmeer zijn in totaal **265** sonderingen uitgevoerd, dit aantal bestaat uit de initieel uitgevraagde **248** sonderingen en **17** van de **25** aanvullende sonderingen van fase 2. Deze aanvullende sonderingen zijn uitgevoerd om vermoedelijke stroomgeulen aanvullend in kaart te brengen (10 stuks), het verkrijgen van inzicht in de bodemopbouw t.b.v. de plaatsing van een meetpaal nabij de Maxima centrale (1 stuk) en om alsnog wel een verwachting te krijgen omtrent de bodemopbouw bij de strekdam van de Flevo Marina haven door niet op maar rondom sonderingen uit te voeren (4 stuks). Daarnaast zijn ter hoogte van de aansluiting van het stroomnet van Windplan Blauw (windturbineproject parallel aan de IJsselmeerdijk) 2 extra sonderingen uitgevoerd. Dit was noodzakelijk omdat de oorspronkelijke 2 sonderingen boven op het kabeltracé gepositioneerd waren. Door het verplaatsen van deze twee sonderingen en het toevoegen van twee extra sonderingen is de bodemopbouw ter hoogte van het kabeltracé ook gedetailleerd in kaart gebracht.

In totaal zijn **20** van de uitgevraagde **23** mechanische pulsboringen uitgevoerd; een drietal boringen bleken technisch niet uitvoerbaar op de strekdam te Flevo Marina en zijn in overleg met Waterschap Zuiderzeeland komen te vervallen.

In tabel 4 zijn de (overige) bijzonderheden en of afwijkingen gedurende de uitvoeringsfase van het geotechnisch veldonderzoek opgenomen.

Samengevat resulteert dit er in dat er in totaal minder metingen, specifiek **11** sonderingen en **3** mechanische boringen, zijn uitgevoerd dan uitgevraagd. In overleg met Waterschap Zuiderzeeland is besloten het resterende budget voor deze metingen te verrekenen met aanvullend laboratoriumonderzoek.

**Tabel 4: Overzicht bijzonderheden en afwijkingen ( met dGPS ingemeten X en Y coördinaten)**

Naamgeving OG	Fase uitvoering	X	Y	Opmerking
SDG-ZBB-0526	Fase 1	163118,22	508071,21	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0530	Fase 1	163258,87	508213,33	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0534	Fase 1	163399,56	508355,03	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0538	Fase 1	163540,13	508497,93	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0542	Fase 1	163679,47	508640,73	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0621	Fase 1	168105,79	512320,65	Verplaatst i.v.m. kabeltracé Windplan Blauw (WPB)
SDG-ZBB-0622	Fase 1	168120,05	512257,43	Verplaatst i.v.m. kabeltracé Windplan Blauw (WPB)
SDG-ZBB-0778	Fase 1	165189,469	510064,33	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0795	Fase 1	165600,398	510506,086	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0798	Fase 1	165665,18	510575,32	Herpoging i.v.m. foutieve waterspanningsmeting
SDG-ZBB-0799	Fase 2	159479,19	506520,56	Inzicht opbouw en draagkracht bodem haven Flevo Marina
SDG-ZBB-0800	Fase 2	159785,77	507003,55	Inzicht opbouw en draagkracht bodem haven Flevo Marina
SDG-ZBB-0801	Fase 2	160128,33	507206,3	Inzicht opbouw en draagkracht bodem haven Flevo Marina
SDG-ZBB-0802	Fase 2	160117,19	507302,66	Inzicht opbouw en draagkracht bodem haven Flevo Marina
SDG-ZBB-0803	Fase 2	168245,95	512289,39	Aanvulling ten behoeve van databehoeft nabij kabeltracé Windplan Blauw (WPB)
SDG-ZBB-0804	Fase 2	168231,09	512347,49	Aanvulling ten behoeve van databehoeft nabij kabeltracé Windplan Blauw (WPB)
SDG-ZBB-0805	Fase 2	164220,11	510424,16	Sondering ten behoeve van plaatsing meetpaal nabij Maxima centrale
SDG-ZBB-0806 t/m SDG-ZBB-0815	Fase 2	diverse X	diverse Y	Sondering ten behoeve van inzichtelijk maken stroomgeulen IJsselmeerbodem

### 3.5 Digitale uitwisseling resultaten veldwerkzaamheden

De resultaten van de veldwerkzaamheden zijn opgeleverd in de volgende bestandsformaten:

- Sonderingen: PDF, GEF en XML;
- Machinale boringen: PDF, XML.

De gegevens van de diverse meetpunten zijn vastgelegd in de werkljst, weergegeven op de situatietekeningen (PDF) en daarnaast is conform het format digitale uitwisseling onderzoeksgegevens van Waterschap Zuiderzeeland een GIS bestand (ESRI Shapefile) samengesteld.

De XML bestanden van de sonderingen en boringen zijn tevens aangeleverd aan de BRO.



## 4. LABORATORIUMWERKZAAMHEDEN

### 4.1 Algemeen

Er zijn zowel geroerde en ongeroerde monsters genomen tijdens uitvoering van de boringen welke gebruikt zijn voor geotechnisch laboratoriumonderzoek. Voor het verkrijgen van de ongeroerde monsters zijn bij de mechanische boringen met behulp van Ackermann steekbussen monsters gestoken. De steekbussen zijn waar mogelijk hydraulisch gedrukt om de kwaliteit van de monsters te waarborgen (Klasse A, conform NEN-EN-ISO 22475-1:2006). In het laboratorium zijn de steekbussen vervolgens weer leeggedrukt met behulp van een uitdrukapparaat waarbij het aanwezige monstermateriaal gelijktijdig in monstergootjes wordt verplaatst. De steekbussen zijn hierbij horizontaal uitgedrukt. Indien nodig zijn de monstergootjes afgedekt met plasticfolie en opgeslagen in een geconditioneerde koelcel om uitdroging van het materiaal te voorkomen.

Door het laboratorium is, in afstemming met de OG, aan de hand van de boorstaten een selectie gemaakt van de geroerde en ongeroerde monsters welke gebruikt moesten worden voor het bepalen van enkele geotechnische eigenschappen van de ondergrond. Voor dit project zijn de volgende proeven uitgevoerd:

- Identificatie van de grond volgens de NEN-EN-ISO 14688-1:2019+NEN8990:2020
- Bepalen nat en droog volumiek gewicht, inclusief watergehalte;
- Bepaling Atterbergse grenzen met valconusmethode;
- Bepaling organisch stofgehalte;
- Constant Rate of Strain proef;
- Direct Simple Shear proef;
- Triaxiaalproef, type CaU singlestage.

### 4.2 Uitgevoerde laboratoriumwerkzaamheden

#### 4.2.1 Classificatieproeven en identificatie grondmonsters

Er zijn **518** grondmonsters geïdentificeerd en beschreven conform de eisen van:

- NEN-EN-ISO 14688-1:2019+NEN8990:2020: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond - Deel 1: Identificatie en beschrijving + Nederlandse aanvulling op NEN-EN-ISO 14688-1.

Voor het bepalen van nat en droog volumieke gewichten alsmede het watergehalte van **173** monsters zijn de volgende normen gehanteerd:

- NEN-EN-ISO 17892-1:2014: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 1: Bepaling van het watergehalte.
- NEN-EN-ISO 17892-2:2014: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 2: Bepaling van de dichtheid van fijn korrelige grond.

Voor het bepalen van het organisch stofgehalte van **22** monsters is de volgende norm gehanteerd:

- NEN-EN-ISO 14688-2:2019+NEN8991:2020: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond - Deel 2: Grondslagen voor een classificatie en beschrijving + Nederlandse aanvulling op NEN-EN-ISO 14688-2.

Het vaststellen van de Atterbergse grenzen (valconus methode) op **20** monsters is uitgevoerd conform de volgende richtlijnen en protocollen:

- NEN-EN-ISO 17892-12:2018: Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 5.3: Determination of the liquid limit by the fall cone method.

Voor het bepalen het soortelijke gewichten van de korrels voor **46** monsters is de volgende norm gehanteerd:

- NEN-EN-ISO 17892-3:2016: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 3: Bepaling van de dichtheid van gronddeeltjes.

Aan de hand van het soortelijk gewicht van de korrels en de bijbehorende volumieke gewichten zijn o.a. de porositeit en verzadingsgraad in de diverse proeven bepaald.

De resultaten van de laboratoriumwerkzaamheden zijn weergegeven in bijlage E1 en zijn samengevat in het STOWA tabel (versie 4.2h). De identificaties van alle beschreven grondmonsters in het laboratorium zijn verwerkt en worden gepresenteerd naast de veldboorstaten, zie bijlage D.

#### 4.2.2 Constant Rate of Strain (CRS) proeven

Er zijn **45** CRS uitgevoerd op ongeroerde monsters zoals geselecteerd door de opdrachtgever. Bij de uitvoering van de CRS proeven is gewerkt volgens de volgende norm en geldend protocol:

- ASTM D4186M/D4186M-20e1:2019: Standard test method for one-dimensional consolidation properties of saturates cohesive soils using controlled-strain loading.
- Het protocol voor het uitvoeren van laboratoriumproeven aan waterkeringen (versie 3, 2016).

Voor de uitvoering van de proef is de in-situ spanning van de betreffende monsters als uitgangspunt genomen voor de gekozen spanningen tijdens de proef. Deze in-situ spanning, of wel terreinspanning, zijn bepaald door het laboratorium. De monsters zijn, na een verzadingsfase, beproefd bij 4 keer de terreinspanning, daarna ontlast tot 2 keer de terreinspanning en vervolgens herbelast naar 6 keer de terreinspanning. Hierna volgt een relaxatieperiode van 16 uur waarna het monster nog éénmaal is belast tot 10 keer de terreinspanning of, indien de effectieve terreinspanning groter is dan 50 kN, tot 16x de terreinspanning. Indien 16x de terreinspanning lager is dan 750 kPa voor kleimonsters dan zijn deze doorbelast tot 750 kPa om een goede b-lijn te kunnen trekken waarmee de isotachen b parameter en de NEN-Bjerrum CR parameter worden bepaald. Voor de uitvoering van de CRS proeven is de apparatuur opgesteld in een geconditioneerde laboratorium ruimte.

De resultaten van de CRS proeven zijn uitgewerkt met eigen programmatuur. Verder zijn op alle monsters waar een CRS proef is uitgevoerd ook soortelijk gewichten van de korrels bepaald conform NEN-EN-ISO 17892-3:2016.

Alle CRS resultaten zijn terug te vinden onder bijlage E2 en zijn samengevat in het STOWA tabel.

#### 4.2.3 Direct Simple Shear (DSS) proeven

In totaal zijn er **29** DSS proeven uitgevoerd waarbij de monsters eerste geconsolideerd zijn alvorens te zijn afgeschoven. De gehanteerde consolidatiespanningen volgen uit de berekende in-situ spanningen welke bepaald zijn door de opdrachtgever/projectleider/laboratorium . Voor de uitvoering van de DSS proeven is apparatuur van GDS-instruments gebruikt welke is opgesteld in een geconditioneerde laboratorium ruimte.

Voor het uitvoeren van de DSS proeven zijn de volgende normen en protocollen gehanteerd:

- Het Protocol voor het uitvoeren van laboratoriumproeven aan waterkeringen (versie 3, 2016);
- ASTM D 6528-17 (2017): Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils.

De uitwerking van de proef is gedaan met eigen programmatuur. Verder zijn op alle monsters waar een DSS proef is uitgevoerd ook soortelijk gewichten van de korrels bepaald conform NEN-EN-ISO 17892-3:2016: Geotechnisch onderzoek en beproeving - Beproeving van grond in het laboratorium - Deel 3: Bepaling van de dichtheid van gronddeeltjes.

Van de 29 DSS proeven zijn er 10 onder overgeconsolideerde (OC) condities uitgevoerd en 19 onder normaal geconsolideerde (NC) condities uitgevoerd. Voor de OC proeven is de k0 belangrijk om de



horizontale en verticale spanning te bepalen tijdens de anisotrope fase. Hiervoor zijn de resultaten van de CRS proef gebruikt en dan specifiek de grensspanning en de vastgestelde volumegewicht van het desbetreffende monster. Voor de NC proeven is de B-waarde van de belang, dit is de bovengrens van de grensspanning. Ook deze waarde is afgeleid uit de bijbehorende CRS proef.

De resultaten van de DSS proeven zijn te vinden onder bijlage E3 en zijn samengevat in het STOWA tabel.

#### 4.2.4 Triaxiaalproeven (TX): Ongedraineerde anisotroop geconsolideerde (CaU) proeven

Er zijn **38** ongedraineerde anisotrope triaxiaal proeven uitgevoerd volgens de volgende geldende normen en protocollen:

- NEN-EN-ISO 17892-9:2018: Geotechnical investigation and testing–Laboratory testing of soil–Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water-saturated soil.
- Het Protocol voor het uitvoeren van laboratoriumproeven aan waterkeringen (versie 3, 2016);

Er is gekozen door de opdrachtgever om de monsters met een diameter van 50 mm te beproeven, dit houdt in dat de monsters bij het prepareren zijn getrimd. De gebruikte apparatuur voor de triaxiaal proeven is opgesteld in een geconditioneerde ruimte en is apparatuur afkomstig van GDS-instruments.

De metingen tijdens de proef zijn verwerkt met eigen programmatuur waarbij er gerekend is met de gecorrigeerde verticale spanning. Het betreft correcties voor het gebruikte membraan en het gebruikte filterpapier volgens de NEN-EN-ISO 17892-9:2018. Op alle monsters waar een triaxiaalproef is uitgevoerd zijn ook het soortelijk gewicht van de korrels bepaald, conform NEN-EN-ISO 17892-3:2016.

Van de 28 triaxiaalproeven zijn er 14 onder overgeconsolideerde (OC) condities uitgevoerd en 24 onder normaal geconsolideerde (NC) condities uitgevoerd. Voor de OC proeven is de  $k_0$  belangrijk om de horizontale en verticale spanning te bepalen tijdens de anisotrope fase. Hiervoor zijn de resultaten van de CRS proef gebruikt en dan specifiek de grensspanning en de vastgestelde volumegewicht van het desbetreffende monster. Voor de NC proeven is de B-waarde van de belang, dit is de bovengrens van de grensspanning. Ook deze waarde is afgeleid uit de bijbehorende CRS proef.

De resultaten van de triaxiaal proeven zijn weergegeven onder bijlage E4 en zijn samengevat in het STOWA tabel.

### 4.3 **Fotograferen ongeroerde grondmonsters**

Van alle machinale boringen zijn de ongeroerde monsters uitgedrukt in gootjes en gefotografeerd. Hierdoor konden de profielbeschrijvingen die tijdens uitvoering van de boring (veldindicaties) zijn opgesteld worden gecontroleerd en beter worden gedetailleerd aan de hand van de grond in de steekbussen. Aan de hand van de ongeroerde monsters en de resultaten van het laboratoriumonderzoek worden eventuele laagscheidingen en lithologie gedetailleerder zichtbaar.

De foto's van de ongeroerde monsters zijn in bijlage E5 opgenomen.

### 4.4 **Statistische analyse resultaten laboratorium en opstellen proevenverzameling**

Na uitvoering van het labonderzoek heeft een statistische bewerking plaatsgevonden in het kader van de indeling in- en toelichting op karakteristieke grondlagen. Deze analyse en de daarop gebaseerde proevenverzameling zijn opgenomen in bijlage H van dit document.

### 4.5 **Digitale uitwisseling resultaten laboratoriumwerkzaamheden**

De resultaten van de laboratoriumwerkzaamheden zijn opgenomen in de STOWA tabel (versie 4.2h). Deze tabel is alleen digitaal beschikbaar.

## 5. GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL

Op basis van de resultaten van sonderingen en boringen, zowel uit de verkenningsfase als huidige planfase, zijn twee geotechnische lengteprofielen (GLP) opgesteld. Het betreft de volgende twee profielen:

- Profiel 1 met een lengte van circa 11,5 km betreft het profiel ter hoogte van de vooroeverdam;
- Profiel 2 met een lengte van circa 17,5 km betreft het profiel binnendijs ter hoogte van de kruin en nabij de kwelsloot.

De profielen presenteren de waargenomen opbouw van de ondergrond. Hierbij is de correlatie beoordeeld tussen sonderingen (wrijvingsgetal, conusweerstand, waterspanning) in de directe nabijheid van een uitgevoerde boringen, alsmede de waarnemingen van deze boringen (gelaagdheid en lithologische samenstelling) in het lab. De correlatie is vervolgens "uitgerold" over alle uitgevoerde sonderingen. In hoofdzaak verloopt het opstellen van het geotechnisch lengteprofiel in 4 stappen:

- 1) Een boring en representatieve sondering(en) wordt beoordeeld, waarbij de correlatie wordt gezocht tussen de laagopbouw uit de boring en resultaat van de sondering (wrijvingsgetal en conusweerstand). Indien nodig wordt ook het waterspanningsverloop bij de beoordeling betrokken. Resultaat van deze analyse vormt een projectspecifieke interpretatie waarbij voor project IJsselmeerdijk de volgende indeling is vastgesteld

Wrijvingsgetal	Waarneming boringen
0,01 – 1,6 %	Grind / Zand / Zand, siltig
1,6 – 4 %	Klei (sterk) / Klei, zandig/siltig
4 – 6,5 %	Klei (slap) / klei, organisch
>6,5 %	Veen

In veel gevallen wordt tegenwoordig de generieke methode Robertson toegepast voor de interpretatie van de sonderingen, alleen ontstaat hiermee een grotere afwijking van de lokale bodemopbouw dan wanneer de correlatie tussen feitelijk in het projectgebied uitgevoerde boringen wordt toegepast.

- 2) Bij de tweede stap zijn alle beschikbare sonderingen en boringen in profiel geplaatst en wordt het resultaat van de sonderingen vereenvoudigd. We hanteren hierbij een marge van 0,5% aan wrijvingsgetal en 0,5 MPa aan conusweerstand. In gevallen waarbij we zien dat gelet op de gelaagdheid en de correlatie met de boringen een kleinere marge nodig is werken we met een aangepaste waarde. Met andere woorden: in de verticaal levert elke verandering in wrijvingsgetal van 0,5% of meer en conusweerstand van 0,5 MPa of meer een waarnemingspunt op.
- 3) De waarnemingspunten per sondering en per profiellijn zijn vervolgens via een lineaire interpretatie met elkaar verbonden tot een vlakdekkend raster. Dus voor bijvoorbeeld de kruin zijn alle beschikbare en sonderingen aan de hand van de interpretatie van stap 1 met elkaar verbonden. Dus de interpretatie tussen één of meerdere boringen in relatie tot op korte afstand aanwezige sonderingen wordt van toepassing verklaard op alle uitgevoerde sonderingen.
- 4) Tenslotte wordt het profiel nog gecontroleerd om te kijken of afwijkingen verklaarbaar zijn.

Op basis van genoemde 4 stappen zijn voor project IJsselmeerdijk de volgende profielen opgesteld:

- Profiel 1: profiel 60/90 uit de oeverlijn en binnendijs kruin en kwelsloot.
- Profiel 2: profiel op 30, 60/90 en 120 meter uit de oeverlijn.

De profielen zijn als GIS-bestanden en PDF opgeleverd.



## **BIJLAGE A**



## **BIJLAGE B**



## **BIJLAGE C1**

(Alleen in digitaal opleverdossier)



## **BIJLAGE C2**



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE C3**



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE C4**





## **BIJLAGE C5**



## BIJLAGE D1



## **BIJLAGE D2**



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE E1**



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE E2**



## **BIJLAGE E3**



## **BIJLAGE E4**



## **BIJLAGE E5**





## **BIJLAGE F**



**SOCOTEC**

## **BIJLAGE G**



## BIJLAGE H



## BIJLAGE I



Voor meer informatie zie: [www.socotec.nl](http://www.socotec.nl)

## **SOCOTEC NEDERLAND SPECIALIST IN:**

### **Geotechniek en milieu-expertise**

Grondonderzoek

Geotechnisch laboratoriumonderzoek

Geotechnisch- en geohydrologisch advies

Bouwplaats- en grondwater monitoring

Waterveiligheid

Uitvoeringsbegeleiding

Milieutechniek

### **Risicobeheer, verzekering en inspecties**

Claims

Controle van de omgeving

Risicoanalyses

Waardebepalingen

### **Gebouw veiligheid & duurzaamheid**

Binnenklimaat

Drinkwaterveiligheid

Gebouw- en techniekinspecties

Gebouwprestatie

Gebouwinformatie