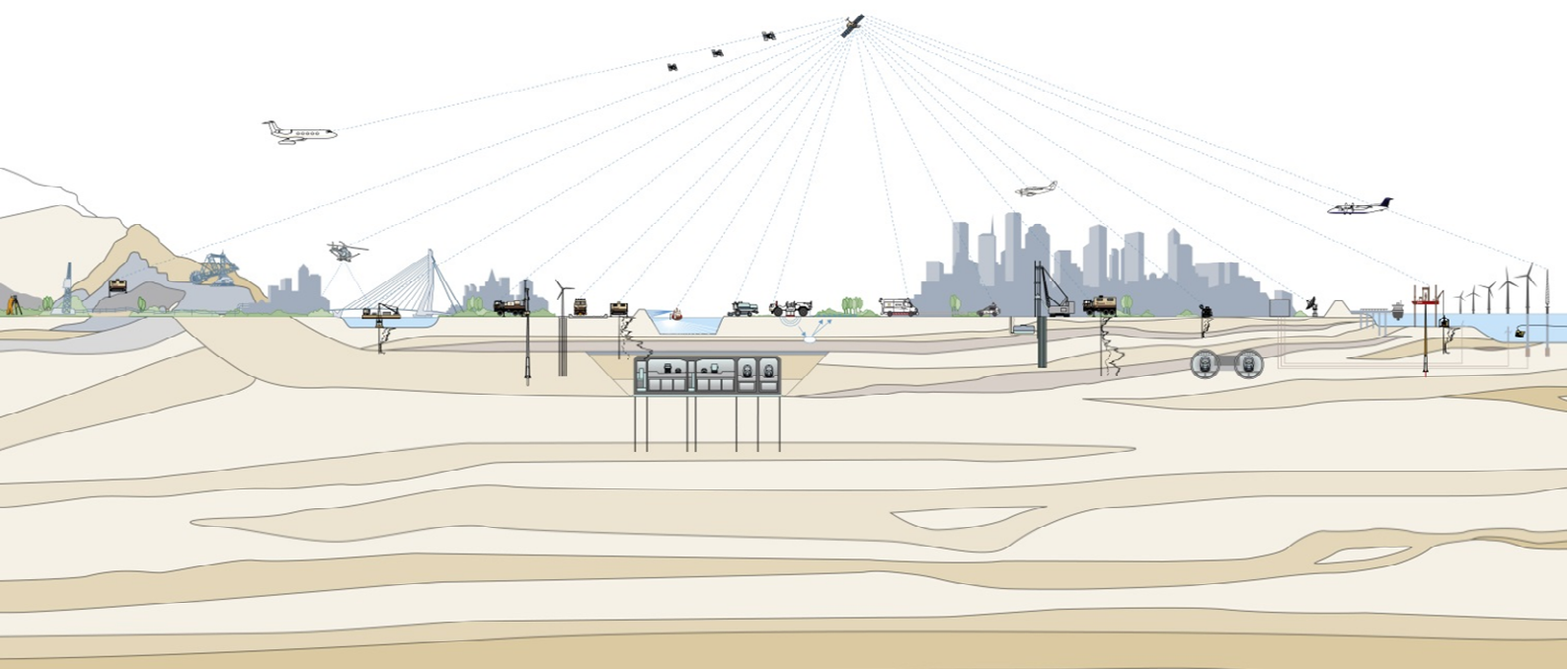


Oeverstabiliteit zandwinputten Willemspolder

Documentnummer: 1217-0056-001

Versie: 3

Datum: 14 december 2020



Opdrachtgever Dekker Groep
projecten
Postbus 6073
4000 HB Tiel

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Archimedesbaan 13
3439 ME Nieuwegein
T 030 60 28175

Projectleider ing. R. Meinsma
Consultant Waterbouw
T 06 430 66150

Opsteller ing. R. Meinsma
Consultant Waterbouw
T 06 430 66150

Controleur ir. B. Rijneveld
Senior consultant Waterbouw
T 06 483 54467

Versiebeheer

1.0	Concept	B. Rijneveld	W.R. Halter	B. Rijneveld	24-07-2020
2.0	Opmerkingen verwerkt HMBreach analysen uitgevoerd	R. Meinsma	B. Rijneveld	R. Meinsma	18-09-2020
3.0	Rapport geactualiseerd n.a.v. beschikbaarheid aanvullend grondonderzoek	R. Meinsma	B. Rijneveld	R. Meinsma	14-12-2020
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum

Inhoud

1.	INLEIDING	1
1.1	Projectbeschrijving	1
1.2	Locatiebeschrijving	2
1.3	Beschikbare informatie	4
1.4	Doel en afbakening van dit rapport	5
2.	TERREIN EN BODEMGESTELDHEID	6
2.1	Beschikbaar grondonderzoek	6
2.2	Beoordeling omvang grondonderzoek	7
2.3	Geologie	8
2.4	Globale geotechnische bodemgesteldheid	10
2.4.1	Put 1	10
2.4.2	Put 2	12
2.4.3	Put 3	12
2.5	Geometrie	13
3.	AFSCHUIVING	16
3.1	Mechanisme beschrijving	16
3.2	Uitgangspunten	16
3.2.1	Geometrie	16
3.2.2	Bodemopbouw	16
3.2.3	(Grond)waterstanden	17
3.2.4	Grondparameters	17
3.2.5	Bovenbelastingen	18
3.2.6	Aarbevingsbelasting	18
3.3	Berekeningsresultaten	19
3.4	Randzone	19
4.	VERWEKINGSVLOEIING	20
4.1	Mechanismebeschrijving	20
4.2	Eenvoudige beschouwing	20
4.3	Gedetailleerde beschouwing	20
4.4	Randzone	22
5.	BRESVLOEIING	23
5.1	Mechanisme beschrijving	23
5.2	Eenvoudige analyse beheerst bressen	24
5.3	Gedetailleerde analyse (taludontwikkeling put 2 en 3)	25
5.4	Gedetailleerde analyse put 1	29
5.4.1	Basisvariant	30
5.4.2	Voorkeursvariant	31
5.5	Randzone	33
6.	STABILITEIT HERINRICHTING	35

7.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	36
7.1	Omvang grondonderzoek	36
7.2	Ontwerptalud	36
7.3	Randzone	37
7.4	Stabiliteit herinrichting	37
BIJLAGEN		1
1.	BIJLAGE 1: STABILITEITSANALYSES	1
2.	BIJLAGE 2: RELATIEVE DICHTHEID PER SONDERING	1
3.	BIJLAGE 3: STABILITEITSANALYSES VERWEKING	1
4.	BIJLAGE 4: STATE PARAMETER	1
5.	BIJLAGE 5: D50 EN D15 PER BORING	1
6.	BIJLAGE 6: D50 EN D15 PER PUT	1

1. INLEIDING

Op 11-12-2017 ontving Fugro te Leidschendam van Dekker Groep te Tiel de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek en het opstellen van een advies met betrekking tot de ontwikkeling van de Willemspolder te Echteld als zandwinlocatie. In voorliggend rapport wordt het advies voor het ontwerptalud van de zandwinlocatie voor Willemspolder Fase 1 gepresenteerd. Hiertoe zijn de volgende faalmechanismen beschouwd:

- macrostabiliteit;
- verwekingsvloeiing en;
- bresvloeiing tijdens uitvoering.

Op basis van de meetdata, opbouw en samenstelling van de ondergrond zal de geometrie van uitwisselputten worden bepaald en zullen de randvoorwaarden worden opgesteld voor een veilige uitvoering van de zandwinning conform de CUR Aanbeveling 113 Oeverstabiliteit bij zandwinputten

1.1 Projectbeschrijving

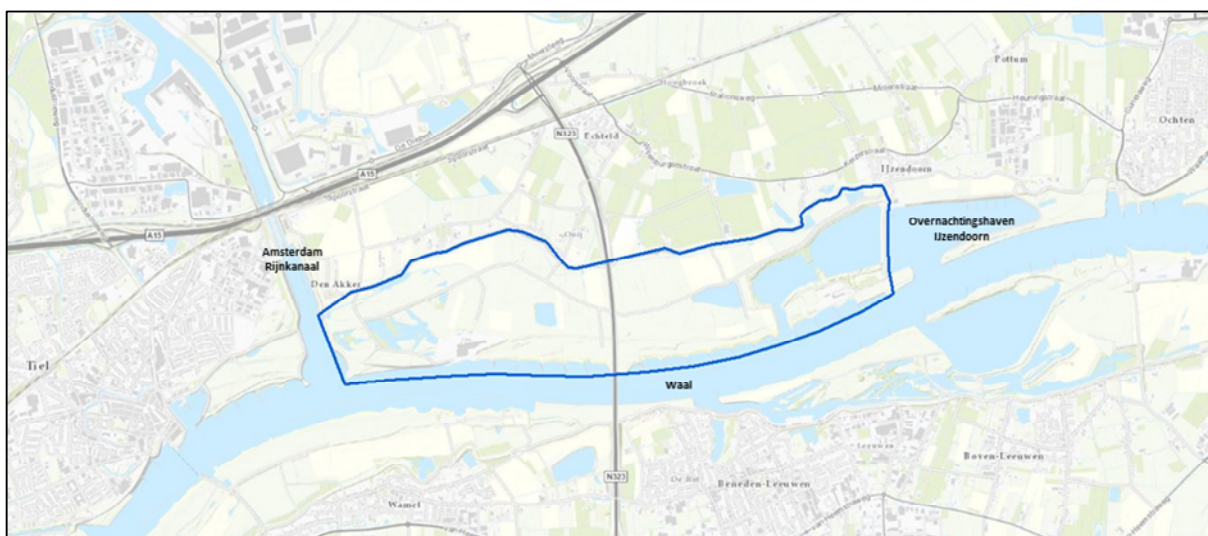
Het project betreft de ontwikkeling van de Willemspolder te Echteld. De huidige polder, gelegen in de uiterwaarden van de Waal, zal in twee fasen worden ontwikkeld tot een natuur- en recreatiegebied. Willemspolder Fase 1 betreft de oostelijke ontwikkeling van de Willemspolder. In fase 2 wordt de Willemspolder verder ingericht als nevengeul. Onderdeel van deze ontwikkeling is de winning van zand in drie zandwinputten. Voor fase 1 zullen de bestaande voormalige zandwinlocaties worden verdiept en uitgebreid. De ontwikkeling heeft mogelijk tijdens het uitvoeren van de werkzaamheden (exploitatie zandwinning) en in de eindsituatie o.a. een effect op de geotechnische situatie in de omgeving. De opdrachtgever heeft aangegeven dat de duur van de zandwinwerkzaamheden circa 9 à 10 jaar zal zijn en dat deze gefaseerd zullen worden uitgevoerd. In figuur 1-1 is de nieuwe situatie weergegeven. In dit rapport wordt advies gegeven met betrekking tot fase 1.



Figuur 1-1: Project Willemspolder situatiekaart

1.2 Locatiebeschrijving

De projectlocatie (fase 1 en fase 2) is gelegen in de uiterwaarden aan de noordzijde van de rivier de Waal te Echteld. Het projectgebied wordt doorsneden door de N323. Aan Westzijde van het projectgebied bevindt zich de aansluiting van het Amsterdam-Rijnkanaal en ten oosten de Overnachtingshaven IJzendoorn. Ten slotte wordt de noordergrens vormgegeven door de ligging van een primaire waterkering van dijktraject 43-5. Deze waterkering is in het beheer van het Waterschap Rivierenland. De projectlocatie grenst de waterkering vanaf dijkpaal DT155 tot en met dijkpaal DT175. Binnen het Rijksdriehoeksnet heeft de projectlocatie globaal de coördinaten $X = 162.800$ m en $Y = 434.100$ m. De gehele projectlocatie is in figuur 1-2 op een topografische achtergrond weergegeven.



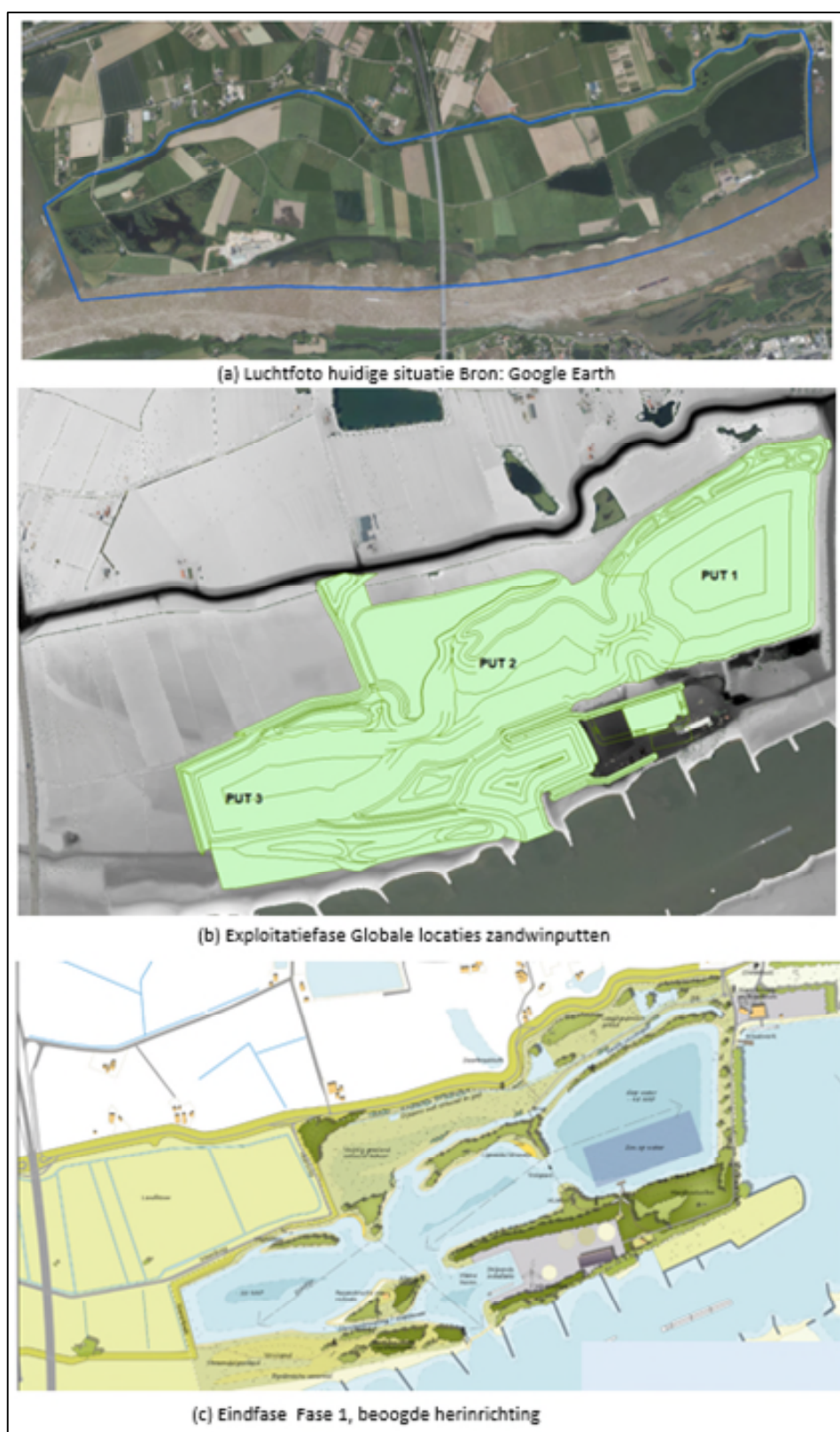
Figuur 1-2: Projectlocatie Willemspolder te Echteld (bron ondergrond: ESRI)

Het project heeft twee fasen welke tezamen met de huidige situatie in figuur 1-3 worden weergegeven. In de eerste fase, exploitatiefase, zal er industriezand worden gewonnen uit één oude zandwinput (put 2 in figuur 1-3b). Deze zal worden verdiept en vergroot. In een latere fase van het project zal restspecie (ophoogzand en zand ten behoeve van de herinrichting) worden gewonnen uit zandwinput 1. De beoogde afmetingen van de zandwinputten is in tabel 1-1 weergegeven waarbij het ontgravingsniveau van put 1 afhankelijk is van de gekozen herinrichtingsvariant.

Na exploitatie worden de winputten aangevuld en ingericht als natuur- en recreatiegebied. Inrichting van het gebied zal geschieden met inachtneming van het concept 'Ruimte voor de Rivier'

Tabel 1-1: Afmetingen zandwinlocaties [i]

NR	Zandwinlocatie	Uitbreiding/verdieping	Afmetingen l x b [ca. m]	Ontgravingsniveau [ca. m NAP]
	Naam			
Put 1	Oostput restspecie	Basisvariant verdieping Voorkeursvariant verdieping		-35 -45
Put 2	Uitwisselput oost	Uitbreiding	700 x 500	-20
Put 3	Uitwisselput centraal en west	Uitbreiding	1.000 x 500	-20



Figuur 1-3: Fasering ontwikkeling Willemspolder

1.3 Beschikbare informatie

Door opdrachtgever is de volgende informatie beschikbaar gesteld:

- i. Willemspolder IJzendoorn; Dekker; maart 2014
- ii. Nulsituatie-bodemonderzoek put IJzendoorn, Industriezand BV, 13 juni 1996; definitief
- iii. Willemspolder-technisch ontwerp-zandwinning; Meetbv; 10 april 2020
- iv. Willemspolder-technische ontwerp-eindsituatie; Meetbv; 24 augustus 2017; concept
- v. Technische tekening; Locatie (uitgevoerde) boringen; Meetbv; 2 oktober 2017; concept
- vi. Technische tekeningen; situatietekening ligging onderzoekpunten; Waterschap Rivierenland; 14 april 2017; definitief
- vii. Technische notitie; 1217-0056-000.M01_uitgangspunten_invloed_kering; 31 mei 2018; definitief
- viii. Technisch rapport Herrinrichting Willemspolder fase 1, effecten primaire kering, Fugro 19-10-2020; ref1217-0056-001_35. R01
- ix. Geotechnisch onderzoek Inpijn-Blokpoel 18-04-1996; ref MB1289

In het Fugro-archief is beschikbaar:

- x. Zandwinning a/d Waardeweg te IJzendoorn, Fugro; 01-12-2005; ref: 6004-0342-001.R02
- xi. Beschouwing geohydrologische invloed Ontwikkeling Willemspolder, Fugro; 16-03-2020; ref: 1217-0056-001_33. R01
- xii. Geotechnisch onderzoek Fugro; 04-06-2020; ref: 1217-0056-130.KR01
- xiii. Geotechnisch onderzoek Fugro; 11-01-2006; ref 6004-0342-001 t/m 003
- xiv. Geotechnisch onderzoek Fugro; 11-11-2020; ref: 1217-0056-130.KR01; versie 3

Daarnaast zijn de volgende bronnen geraadpleegd:

- xv. REGIS/Dino loket; TNO; 04-01-2018; www.dinoloket.nl
- xvi. Hoogtebestand Nederland; AHN; 04-01-2018; www.ahn.nl

Voor het opstellen van het advies zijn de volgende normen en richtlijnen in acht genomen:

- [BALDI 1986] Baldi et al., Interpretation of CPT's an CPTU's, Proceedings of the Fourth International Geotechnical Seminar Field Instrumentation and In-Situ Measurement, 143-156, Singapore1986
- [Crook 1996] Th. Crook, A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands, Geologie en Mijnbouw 75: 11-18, 1996
- [CUR 113] CUR-aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten, CUR, Gouda, 2008
- [NEN 1998-1] Eurocode 8, Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen, april 2005
- [NEN 9997-1] Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1, algemene regels, november 2017
- [SHZV, 2019] Schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing van Rijkswaterstaat in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium, 2019

Fugro staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

1.4 Doel en afbakening van dit rapport

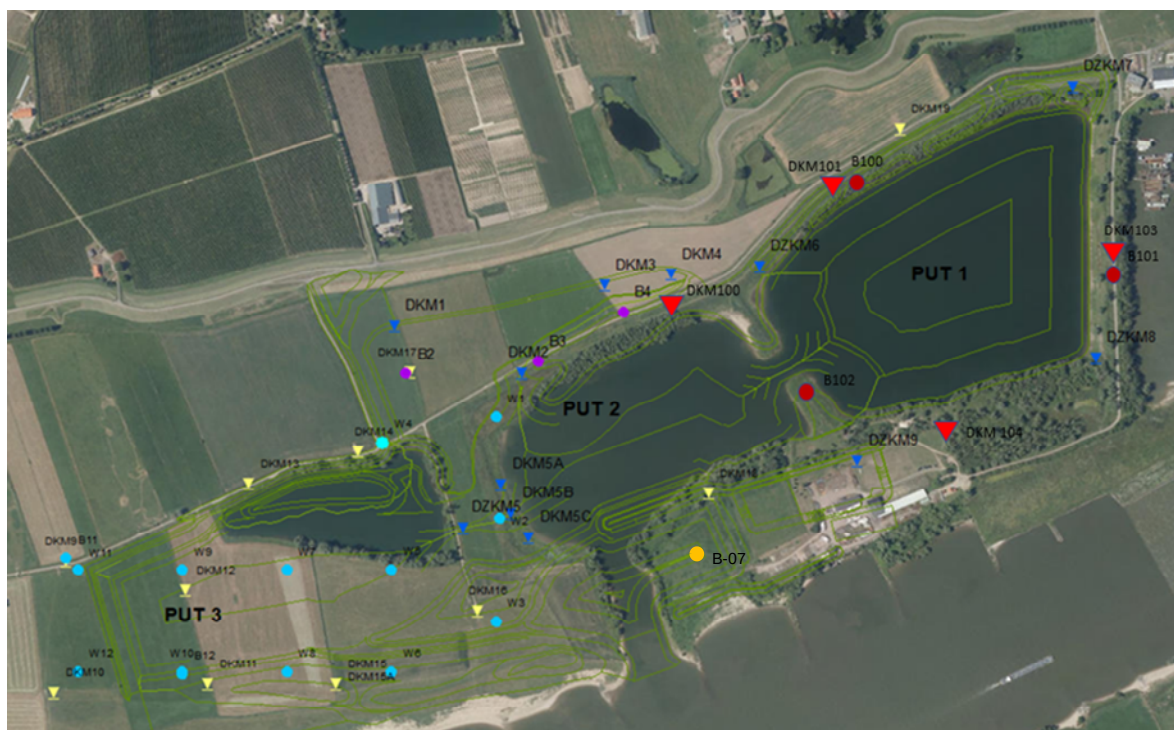
Doel van het rapport is om de maximaal haalbare ontwerptaludhelling van de zandwinputten te bepalen. Deze wordt bepaald op basis van de eenvoudige beoordeling zoals voorgeschreven in [CUR113], voor de faalmechanismen taludafschuiving, verwekingsvloeiing en bresvloeiing. Waar nodig /nuttig is een gedetailleerde en/of geavanceerde analyses uitgevoerd om tot een optimalisatie van het ontwerptalud te komen. Daarnaast worden de randzones conform de eenvoudige methode uit [CUR 113] bepaald, ofwel de veiligheidszones langs de oevers van de zandwinning.

Een beoordeling van het effect op de primaire kering (zoals bijv. het mechanisme piping) is geen onderdeel van deze rapportage. Hiervoor wordt verwezen naar het rapport 'Herinrichting Willemspolder Fase1. Effecten primaire kering' [xiii]. In dat rapport is ten behoeve van een beschouwing van de effecten op de primaire kering ook een risicobeschouwing uitgevoerd volgens de [CUR113] en [SHZV 2019].

2. TERREIN EN BODEMGESTELDHEID

2.1 Beschikbaar grondonderzoek

Door Fugro is in verschillende fasen geotechnisch onderzoek uitgevoerd. Een deel van het grondonderzoek is uitgevoerd in 2002 en 2006 onder Fugro projectnr. 6004-0342. Een deel van het grondonderzoek is in 2018-2020 uitgevoerd onder Fugro projectnr. 1217-0056. In figuur 2-1 is de locatie van het grondonderzoek weergegeven. Voor een gedetailleerde beschrijving van de resultaten van het onderzoek wordt verwezen naar [ix], [xii], [xi] en [xiv].



Figuur 2-1: Locatie beschikbaar grondonderzoek

In tabel 2-1 is per put aangegeven welk grondonderzoek beschikbaar is.

Momenteel wordt aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Zodra de resultaten beschikbaar zijn zal tabel 2-1 worden aangepast inclusief het nagekomen onderzoek uit het archief van de Dekkergroep

Tabel 2-1: Overzicht boringen en sonderingen per zandwinput ¹⁾

Put nummer	Boring	Sondering
Put 1	B100, B101, B102	DZKM6 t/m DZKM9, DKM19 DKM101 t/m DKM104
Put 2	B2, B3, B4, W1, W2 en W4 B102 en B-07	DKM1, DKM2, DKM3, DKM4, DKM5, DZKM6, DZKM9, DKM17, DKM18 en DKM 100
Put 3	W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, B11, B12	DKM9, DKM10, DKM11, DKM12, DKM13, DKM14, DKM15, DKM16, DZKM5

¹⁾ Cursief weergegeven punten uit onderzoek 6004-0342. Overig onderzoek uit 1217-0056.

²⁾ Boring B-07 betreft een boring van Inpijn en Blokpoel 1996 [ix]

2.2 Beoordeling omvang grondonderzoek

Sonderingen

Volgens [CUR113] is bij iedere 0,3 à 0,5 km oever een sondering tot een diepte van minimaal 0,5H_R onder de putbodem nodig, met een minimum van 4 sonderingen per put.

Voor put 1 is in de basisvariant een verdieping voorzien tot een diepte van NAP -35 m. Mogelijk wordt ten behoeve van de herinrichting van het gebied put 1 dieper ontzand tot een diepte van NAP -45 m (voorkeursvariant). Uitgaande van een en een voorziene maximale putdiepte van NAP -45 m, en een toekomstig maaiveldniveau van NAP +6 m á NAP +9 m (niveau bovenkant tijdelijk zomerkade), en waterpeil van NAP +4,8 m, bedraagt de rekenputdiepte (H_r) conform de Cur 113 aanbeveling ca. 45 m voor de basisvariant en circa 55 m voor de voorkeursvariant. De sonderingen dienen dus minimaal tot een diepte van ca. NAP -50 m te worden uitgevoerd voor de basisvariant. En minimaal tot een diepte van NAP-70 m voor de voorkeursvariant.

Ter plaatse van put 1 zijn 5 sonderingen beschikbaar, DZKM7 (NAP-42m), DZKM8, (NAP-52m), DZKM 6, (NAP -43m), DZKM9 (NAP-42m) en DKM19 (NAP -35m). in het aanvullend grondonderzoek [xii] zijn rondom put 1 4 sonderingen uitgevoerd. Sondering DKM 100 is tot een diepte van NAP -40 m uitgevoerd. De overige sonderingen waren gepland om de bodemopbouw tot een diepte van NAP -70 m te verkennen. Echter vanwege de hoogoplopende sondeerwaarden (>45 MPa) en het hierdoor optreden van breuk zijn de sonderingen beëindigd op ca. NAP -48 m.

Voor het beoordelen van de stabiliteit voor een putontwerp basisvariant wordt onzes inziens voldaan aan de onderzoekinspanning conform de CUR 113 aanbeveling. Voor een putontwerp (verdieping naar NAP -45m) voldoen 4 sonderingen tot onder het beoogde putniveau. De dieper gelegen zandlagen zijn dermate vastgepakt (gestuwd) dat verder sonderen ten behoeve van het uitsluiten van verweking (volgens de CUR113) niet noodzakelijk is. Immers vastgepakte zandlagen zijn niet gevoelig voor verweking. Geconcludeerd wordt dat het grondonderzoek voldoet aan de eisen uit CUR 113.

Voor put 2 en put 3 is de voorziene putdiepte NAP -20 m. Bij put 2 is sprake van een maaiveldniveau van NAP +5m en waterpeil van NAP +4,8 m, de rekenputdiepte bedraagt ca. 25m. De sonderingen dienen tot een diepte van NAP -32 m te worden uitgevoerd. Voor de oostzijde, zuidzijde en westzijde van put 2 zijn voldoende sonderingen tot voldoende diepte uitgevoerd. Aan de noordzijde zijn twee sonderingen beschikbaar (DKM 17 en DKM100) tot NAP -35 m a NAP -40 m . De overige sonderingen DKM1, DKM2, DKM3 en DKM 4 zijn tot NAP -26 m beschikbaar. Op basis van de sondeerresultaten zijn voor Put 2 voldoende sondeerdata aanwezig voor een beoordeling conform de CUR Aanbeveling 113.

Bij put 3 is sprake van een toekomstig maaiveldniveau van circa NAP+9 m (bovenkant tijdelijke zomerkade). De rekenputdiepte bedraagt hier ca. 30 m. De sonderingen dienen tot een diepte van NAP -35 m te worden uitgevoerd. Het beschikbare grondonderzoek geeft aan dat er voldoende diepe sonderingen aanwezig zijn.

Boringen

Volgens [CUR 113] is bij iedere 0,3 à 1,0 km oever een boring met classificatieproeven en korrelverdelingen tot putbodem nodig, met een minimum van 3 boringen per put.

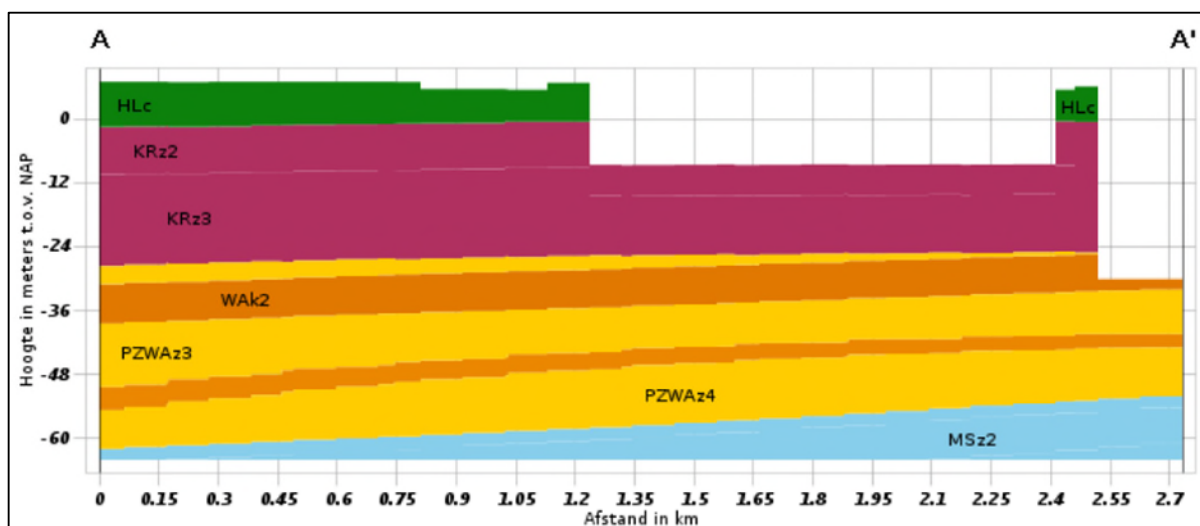
Ter plaatse van put 1 zijn 3 boringen uitgevoerd tot een diepte van ca. NAP -43 m.

Ter plaatse van put 2 zijn aan de noordzijde 3 boringen (B2, B3 en B4) tot onder putdiepte (NAP -25 m) beschikbaar. Aan de oostzijde en aan de zuidzijde is een boring beschikbaar. Aan de westkant zijn 2 boringen (W1, W2 en W3) tot ca. NAP -19 m beschikbaar. Dit geeft voldoende informatie om conform de CUR Aanbeveling 113 een stabiliteitsanalyse uit te voeren.

Ter plaatse van put 3 zijn voldoende boringen tot putdiepte beschikbaar voor het uitvoeren van een stabiliteitsanalyse.

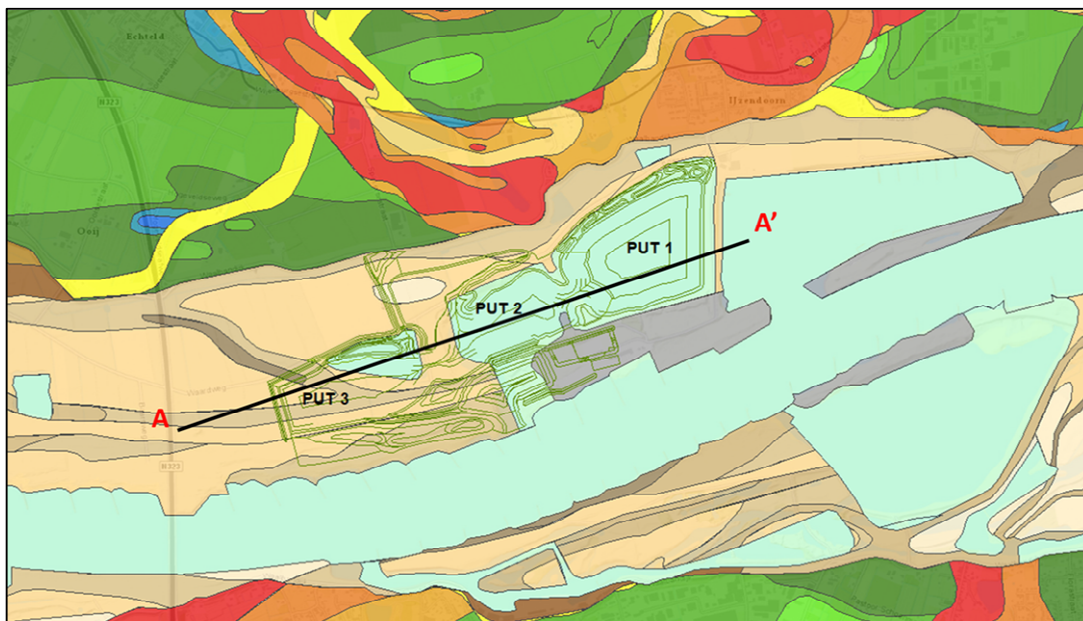
2.3 Geologie

De geologie is geschematiseerd op basis van gegevens uit het DINO-loket en het beschikbare grondonderzoek. Een doorsnede van de schematisatie is weergegeven in Figuur 2-2. De locatie van de doorsnede is weergegeven boven op de zandbanenkaart in figuur 2-3.



Figuur 2-2: Schematisatie geologie (bron: DINO-loket)

Het maaiveldniveau in het projectgebied varieert van NAP +7,0 m à +5,5 m. Vanaf het maaiveld bevinden zich rivierafzettingen in de ondergrond van de Holocene Formatie van Echteld (de groene laag in figuur 2-2 met code HLc). Deze formatie bestaat in sterke mate uit klei, maar kan lokaal ook silt, zand, grind en humeus materiaal bevatten. Het gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van zandbanen (geulafzettingen) welke vanaf enkele meters onder het maaiveld voorkomen en de kleilaag van de Formatie van Echteld doorsnijden (figuur 2-3). De Formatie van Echteld ontbreekt ter plaatse van Put 1 en Put 2 in figuur 2-3 en de overnachtingshaven te IJzendoor; het rivierwater staat hier in direct contact met het watervoerende pakket van de Formatie van Kreftenheye. De onderkant van de Formatie van Echteld ligt in het plangebied op ca. NAP +2,5 m à -1,0 m.



Figuur 2-3: Zandbanenkaart nabij de Willemspolder

Onder de Formatie van Echteld ligt de Pleistocene Formatie van Kreftenheye (de paarse laag in figuur 2-2 met code KRz2/3). De overgang tussen deze twee formaties is gewoonlijk scherp. Aan de bovenzijde van de Formatie van Kreftenheye kan regionaal een stugge kleilaag aanwezig zijn: de Laag van Wijchen. Deze laag heeft een dikte van ca. 0,5 m – 1,0 m. Uit het door Fugro-uitgevoerde grondonderzoek blijkt dat deze laag in het projectgebied nauwelijks voorkomt. De Formatie van Kreftenheye bestaat uit matig tot uiterst grof zand en is grindhoudend. Deze formatie is geohydrologisch gezien watervoerend en vormt het 1e watervoerende pakket. Op basis van gegevens uit het DINO-loket blijkt dat de Formatie van Kreftenheye ontbreekt ter plaatse van overnachtingshaven te IJzendoorn, waardoor de bodem van de haven bestaat uit zand of klei van de Formatie van Waalre. De onderkant van de Formatie van Kreftenheye ligt in het plangebied op ca. NAP -21 m à -31 m.

Onder de Formatie van Kreftenheye ligt de (gestuwde) Pleistocene Formatie van Waalre. De Formatie van Waalre bestaat uit afwisselende gestuwde lagen van klei en uiterst fijn tot uiterst grof zand. Die door de laatste ijstijd (horizontaal) zijn belast wat zicht uit in in sterk wisselende (hoge) sondeer waarden. Zie bijvoorbeeld DZKM 8. De Formatie van Waalre valt deels samen met de Formatie van Peize. De Formatie van Peize bestaat uit matig tot uiterst grof zand. Op basis van het door Fugro-uitgevoerde grondonderzoek bevindt zich een kleilaag of een serie kleilaagjes uit de Formatie van Waalre onder de Formatie van Kreftenheye. Deze kleilaag ligt lokaal dieper, hier sluit het zand van Kreftenheye en Peize-Waalre op elkaar aan. In het gehele pakket liggen twee grote waterremmende lagen bestaande uit klei van de Formatie van Waalre. Deze kleilagen hebben een dikte van 2 tot 8 meter en bevinden zich op een diepte van NAP -28 m à -48 m en NAP -42 m à -65 m. De onderkant van de Formatie van Peize-Waalre ligt in het projectgebied tussen ca. NAP -60 m à -80 m. Hier loopt de Formatie van Peize-Waalre over in de Formatie van Maassluis. Deze wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

2.4 Globale geotechnische bodemgesteldheid

Op basis van geologische beschrijving en het beschikbare grondonderzoek is per zandwinlocatie een geotechnisch bodemprofiel opgesteld.

2.4.1 Put 1

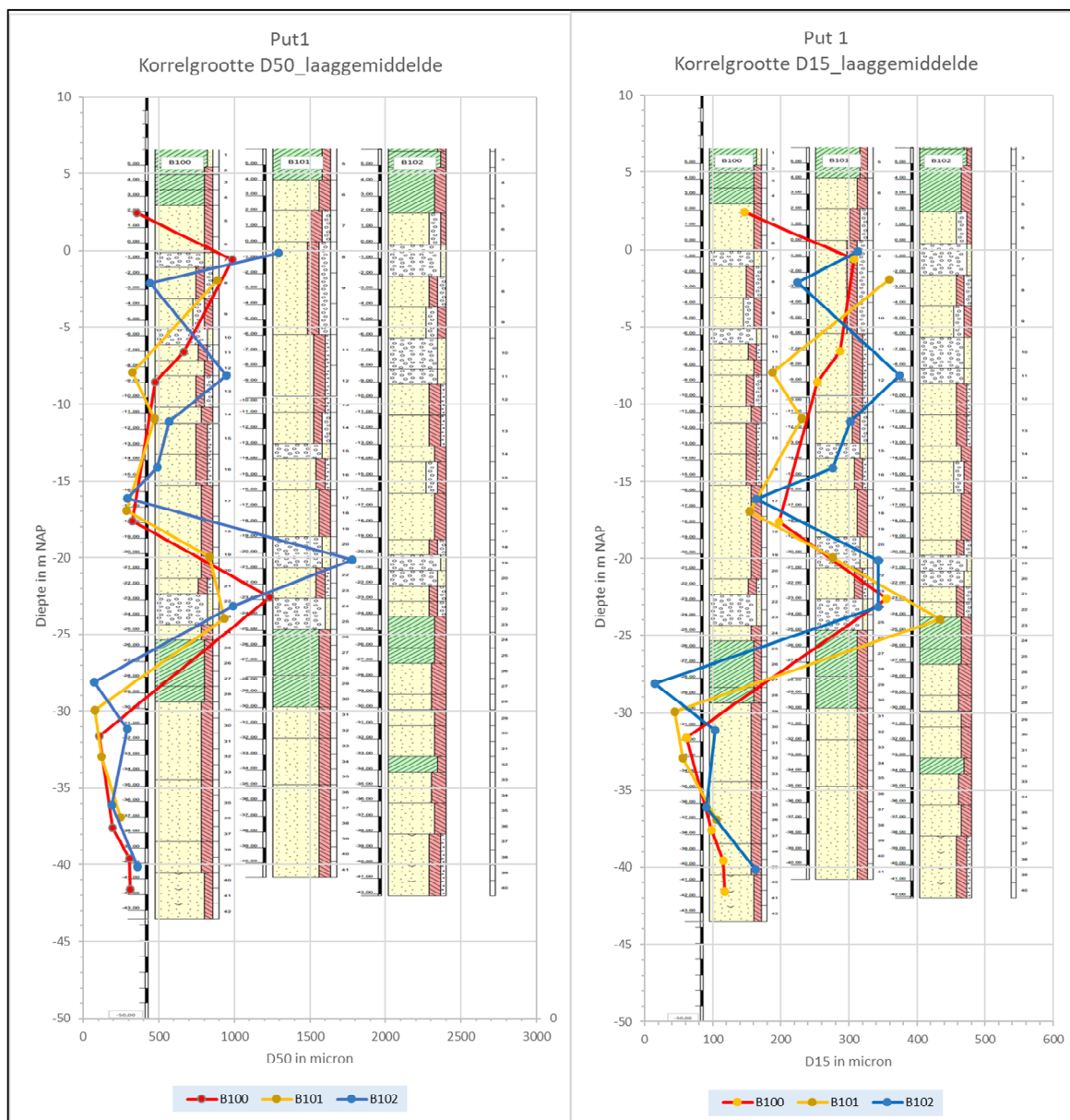
In tabel 2-2 is op basis van de beschikbare sonderingen de bodemopbouw geschematiseerd.

Tabel 2-2: Globale Laagopbouw Put 1 (DZKM6 t/m DZKM9, DKM19 en DKM 101 t/m DKM 103)

Diepte circa * [m NAP]	Omschrijving	Opmerking
+9,0 a' +6,5	<u>Zomerkade</u>	
+1,5 a' +3,0	<u>Cohesieve deklaag overgaand in sterk sitig zand</u>	
-3,0 a' -7,0	<u>ZAND</u> , matig gepakt	Sondeerwaarden variabel ca 4 MPa
-9,0 a' -12,0	<u>ZAND</u> gepakt	Sondeerwaarden van 31 MPa teruglopend naar circa 10 MPa.
-12,0 a' -14,0	<u>Diepte waterbodem bestaande put zie figuur 2.7</u>	
-20,0 a' -22,0	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt	Sondeerwaarden wisselend van 10 MPa tot circa 28 MPa
-26,0	<u>ZAND vastgepakt met stoorlagen van klei (sterk siltig zand)</u>	Sondeerwaarden tot circa 40 MPa
-42,0	<u>ZAND gestuwd sterk siltig met stoorlagen van klei / leem met dikten van circa 1 a' 5 m</u>	Sondeerwaarden wisselend van 10 MPa tot circa 45 MPa
-52,0 max verkende diepte	<u>ZAND gestuwd sterk siltig</u>	Sondeerwaarden tot 35 MPa

* = Behoudens de diepte (ligging maaiveld) markeren de in de tabel genoemde diepten de onderkant van de genoemde grondlaag.

De onderkant van de cohesieve deklaag ter plaatse van put 1 varieert tussen NAP +1,5 en +3m. Hieronder is matig vast, tot vast zand/grind aangetroffen. Tussen ca. NAP -22 en -34m zijn stoorlagen aangetroffen. Deze kenmerken zich door een conusweerstand van ca. 2 à 4 MPa en een wrijvingsgetal van 3 à 4%. De dikte en eigenschappen van deze stoorlaag varieert sterk tussen de sonderingen. In bijv. DZKM8 is sprake van dunne stoorlaagjes, terwijl bijv. bij DZKM6 sprake is van een dikke stoorlaag met zandlaagjes. Het is uit de sonderingen niet eenduidig op te maken of er sprake is van fijn zand, leem/silt of klei. Uit de boringen B100 t/m B102 (figuur 2-4) blijkt dat het zand tot een diepte van NAP-25 m vooral bestaat uit grof zand ($D_{50} \approx 500 \mu\text{m}$). De kleilaag tussen ca. NAP-25 m en NAP -30 m varieert in dikte. Uit de boringen blijkt het sterk zandige kleilaag betreft. Onder deze laag tot de verkende diepte wordt overwegende fijn tot matig grof zand aangetroffen ($D_{50} \approx 200 \mu\text{m}$).



Figuur 2-4: Resultaten boringen Put 1 zie ook [xiv]

2.4.2 Put 2

In tabel 2-3 is op basis van de beschikbare sonderingen de bodemopbouw geschematiseerd

Tabel 2-3: Globale laagopbouw Put 2 (DKM1 t/m DKM3, DZKM6, DZKM9, en DKM 17 t/m DKM18 en DKM18)

Diepte circa * [m NAP]	Omschrijving	Opmerking
+9,0 a' +6,5	<u>Zomerkade a' maaiveld</u>	
+4,0 a' +2,0	<u>Cohesieve deklaag overgaand in sterk sitig zand (DKM2)</u>	
-5,0	<u>ZAND</u> , matig gepakt, matig grof tot grof	<u>Sondeerwaarden variabel ca 15 MPa</u>
-11,0	<u>ZAND vastgepakt, matig grof</u>	Sondeerwaarden van 15 MPa oplopend tot naar circa 30 MPa.
-17,0	<u>Diepte waterbodem bestaande put zie figuur 2.8</u>	
-20,0	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt	Sondeerwaarden wisselend van 12 MPa tot circa 20 MPa geen stoorlagen gedetecteerd
-25,0	<u>ZAND vastgepakt, matig grof tot fijn met stoorlagen van klei</u>	<u>Sondeerwaarden tot circa 30 MPa</u>
-30 a -33	<u>Klei</u>	
-40 max verkende diepte	<u>ZAND</u>	<u>Sondeerwaarden wisselend van 12 MPa tot circa 20 MPa</u>

* = Behoudens de diepte (ligging maaiveld) markeren de in de tabel genoemde diepten de onderkant van de genoemde grondlaag.

Op basis van het beschikbare grondonderzoek wordt geconcludeerd dat de laagopbouw ter plaatse van put 2 tot de toekomstige zandwindiepte van NAP -20 m een vrij homogene opbouw heeft van voornamelijk zand afwisselend in grofheid van matig grof tot grof zand. Vanaf NAP -20 m wordt de grondopbouw grilliger bestaande uit zandlagen afwisselend met cohesieve grondlaagjes van klei en leem. Vanaf NAP -25 m tot ongeveer NAP -33 is er sprake van zand met stoorlagen van klei. Op diepten groter dan NAP-35 m tot aan de maximaal verkende diepte is zand aangetroffen .

2.4.3 Put 3

Uit het grondonderzoek valt af te leiden dat de bodemopbouw ter plaatse van put 3 een vergelijkbare laagopbouw heeft als put 2. Ter plaatse van DKM 10 en DKM11 wordt op een diepte van NAP+5 m tot en met NAP +1 m sterk grindig zand aangetroffen met hoge sondeerwaarden (60 MPa) wat duidt op grindafzettingen. De overige sonderingen in het gebied geven op deze diepte voornamelijk zand aan met een matige pakking (10 MPa). Op basis van de sondeerresultaten kan de bodemopbouw als volgt worden geschematiseerd zoals aangegeven in tabel 2-4.

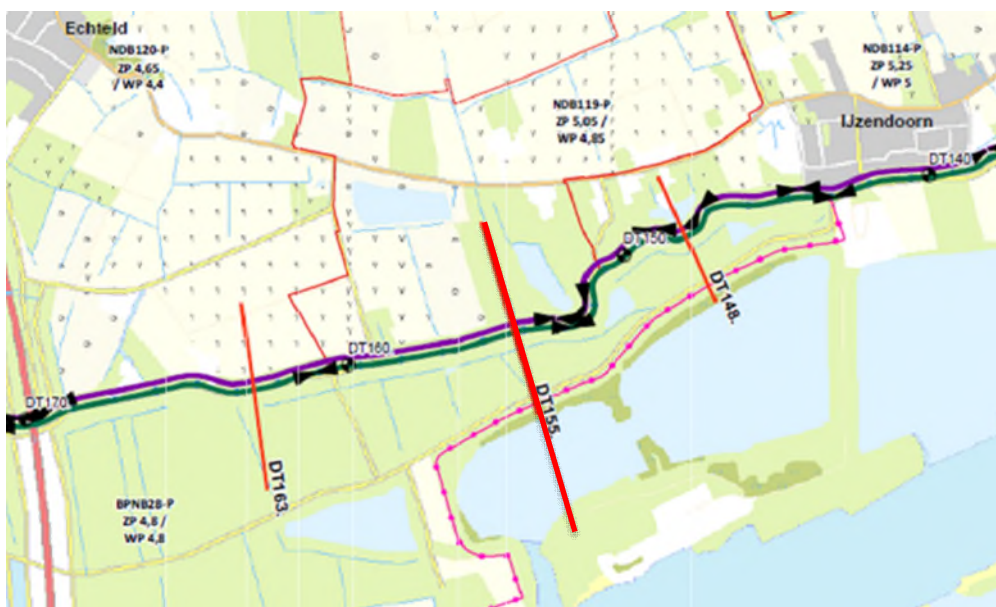
Tabel 2-4: Globale laagopbouw Put 3 (DKM9 t/m DKM16 en DZKM 5)

Diepte circa * [m NAP]	Omschrijving	Opmerking
+6,5	<u>maaiveld</u>	
+5,0 a' +4,0	<u>Cohesieve deklaag overgaand in sterk sitig zand (DKM2)</u>	
+2,0	<u>ZAND gepakt grindig</u>	Alleen ter plaatse van DKM10 een DKM 11 Sondeerwaarden tot 60 MPa
-5,0	<u>ZAND</u> , matig gepakt, matig grof tot grof	Sondeerwaarden variabel ca 15 MPa
-11,0	<u>ZAND vastgepakt, matig grof</u>	Sondeerwaarden van 15 MPa oplopend tot naar circa 48 MPa.
-23,0	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt	Sondeerwaarden wisselend van 12 MPa tot circa 20 MPa geen stoorlagen gedetecteerd
-27,0	<u>ZAND matig gepakt matig grof tot fijn met enkele stoorlagen van klei (sterk siltig zand)</u> Mogelijk start gestuwde grondlagen	Sondeerwaarden tot circa 35 MPa
-35 max verkennde diepte	<u>ZAND matig tot vast gepakt</u>	Sondeerwaarden wisselend van 12 MPa tot circa 35 MPa

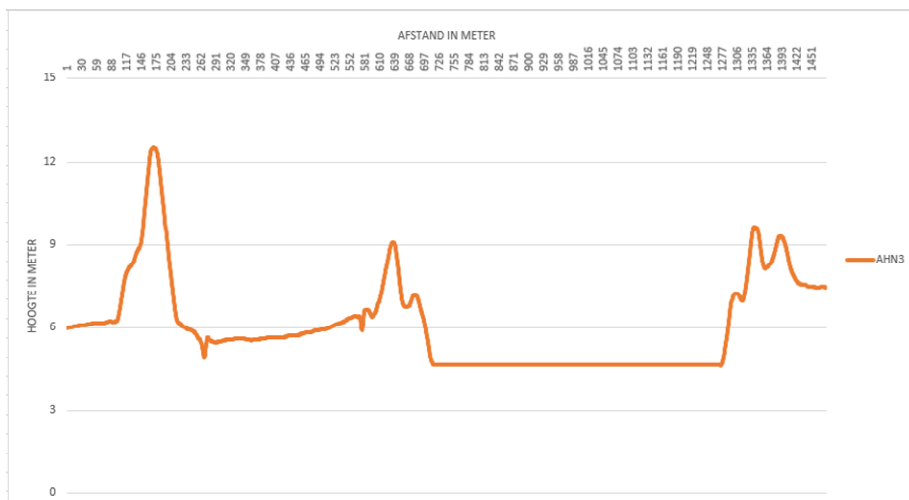
* = Behoudens de diepte (ligging maaiveld) markeren de in de tabel genoemde diepten de onderkant van de genoemde grondlaag.

2.5 Geometrie

Het maaiveldniveau bevindt zich in het projectgebied tussen ca. NAP +7,0 m en +5,5 m. In figuur 2-5 is de ligging van de primaire kering (paars/groen) en de zomerkade (roze) weergegeven. Een dwarsprofiel is weergegeven in figuur 2-6. De hoogte van de primaire kering is ca. NAP +12 m, de hoogte van de zomerkade is ca. NAP +9 m [ij]. De afstand tussen de insteek van put 2 en de teen van de primaire kering bedraagt ca. 90 m. Voor put 1 bedraagt deze afstand ca. 150 m.



Figuur 2-5 Locatie dwarsprofiel – bron [ij]



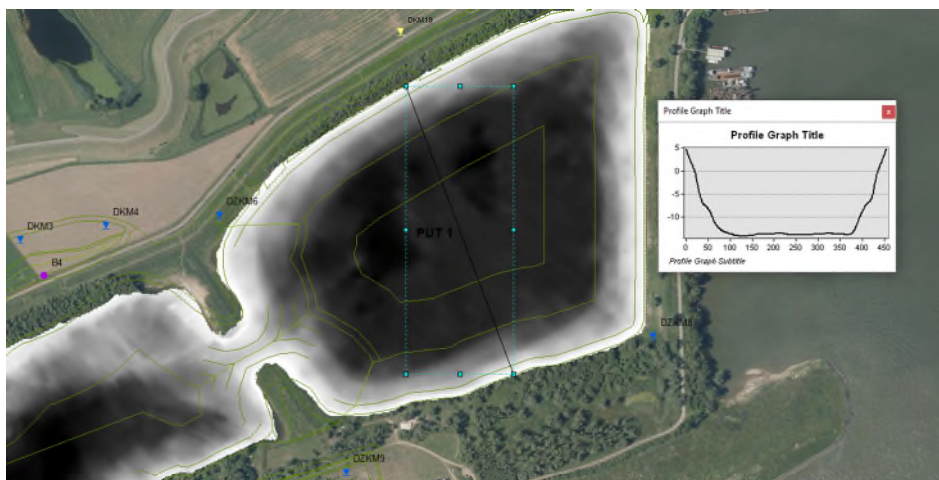
Figuur 2-6 Dwarsprofiel 155 voor zandwinput 2, gezien vanuit het westen

Op basis van een globale inventarisatie zijn de volgende belendingen aan de putten geïdentificeerd. Hierbij is de ligging van kabels en leidingen vooralsnog niet beschouwd. Deze inventarisatie dient door de opdrachtgever geverifieerd en waar nodig aangevuld te worden. Aan de oostzijde van put 1 ligt de Nieuweweg op ca. 35 m afstand van de insteek van de put (blauwe lijn in figuur 2-7). Aan de noord-oostzijde van put 1 ligt bebouwing op ca. 100 m uit de insteek van de put (blauwe cirkel in figuur 2-7). Aan de zuidzijde tussen put 1 en put 2 ligt bebouwing op ca. 150 m uit de insteek van de putten (rode cirkel in figuur 2-7).



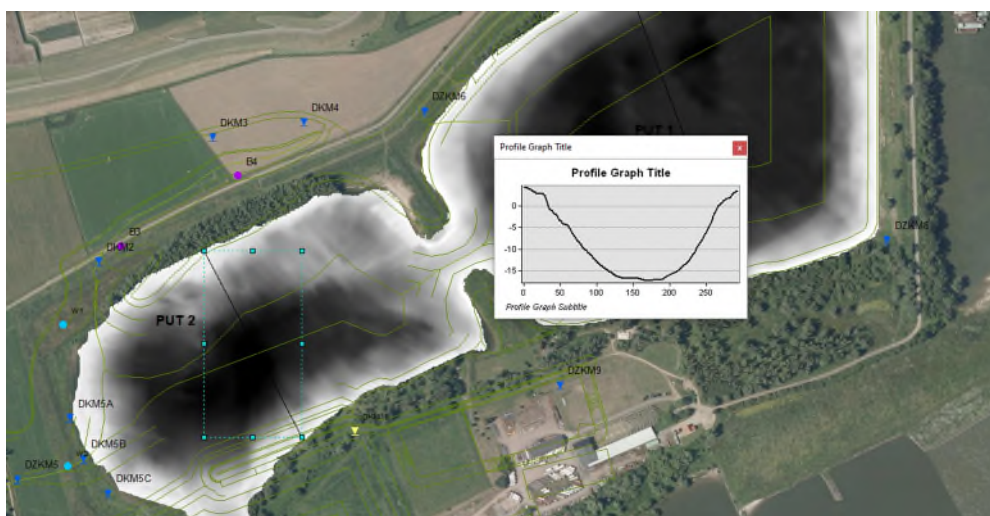
Figuur 2-7 Belendingen zandwinput

De huidige geometrie van put 1 is weergegeven in figuur 2-8. Hieruit volgt dat de diepte van put 1 ca. NAP -14 m bedraagt. Tussen NAP +5 m en NAP is de taludhelling ca. 1:4, tot ca. NAP -7 m is de taludhelling ca. 1:2. Vervolgens is een berm aanwezig, waarna het onderste deel van het talud weer een taludhelling heeft van ca. 1:4.



Figuur 2-8 Geometrie put 1

De huidige geometrie van put 2 is weergegeven in figuur 2-9. Hieruit volgt dat de diepte van put 2 ca. NAP -17m bedraagt. Tussen NAP +5,0 m en NAP +0,0 m is de taludhelling aan de zuidzijde ca. 1:6, tot ca. NAP -10,0 m is de taludhelling ca. 1:3. Na NAP -10m tot putbodem (NAP -17 m) is het talud ongeveer 1:3. Merk op dat de taludhelling aan de zuidzijde steiler is, dan aan de noordzijde.



Figuur 2-9 Geometrie put 2

3. AFSCHUIVING

In dit hoofdstuk komt de beschouwing van het mechanisme taludafschuiving aan de orde.

3.1 Mechanisme beschrijving

Bij verlies van macrostabiliteit is sprake van een evenwichtsverlies of afschuivingen langs een min of meer cirkelvormig schuifvlak. Oorzaken van het optreden van een afschuiving kunnen onder andere een bovenbelasting of een te steile taludhelling zijn.

De stabiliteitsberekeningen van het onderwatertalud zijn uitgevoerd met behulp van een computerprogramma D-GeoStability, waarbij gekozen is voor de methode van Bishop om de macrostabiliteit van de taluds te toetsen. Bij deze methode wordt uitgegaan van cirkelvormige glijvlakken, waarbij het grondmassief voor de berekening in verticaal gescheiden lamellen wordt verdeeld. Het gewicht van de grond en de belastingen daarop aan de actieve zijde van het schuifvlak vormen de aandrijvende momenten. De tegenwerkende momenten bestaan uit het gewicht van de grond en de belastingen daarop aan de passieve zijde en de schuifweerstand langs het gehele glijvlak. De verhouding tussen de tegenwerkende en aandrijvende momenten is een maat voor de veiligheid van het talud.

3.2 Uitgangspunten

3.2.1 Geometrie

Voor het talud is een helling van 1:3 of flauwer gewenst. Daarom is in de statische stabiliteitsanalyse uitgegaan van een talud van 1:3 tot putdiepte. Deze putdiepte is maximaal NAP -45m voor put 1. Hierbij is uitgegaan van de maatgevende bodemopbouw voor put 1, 2 en 3. Wanneer deze situatie voldoet, dan zal een eventueel flauwer of minder diep werktalud, waarin de dynamische invloeden van het winningsproces en het aanstorten (herinrichten) van de Willemspolder in zijn verwerkt, statisch zeker voldoen.

3.2.2 Bodemopbouw

Op basis van het beschikbare grondonderzoek zijn twee representatieve bodemopbouwen bepaald. In bodemopbouw 1 zijn de lokaal aanwezige stoorlagen gemodelleerd. In bodemopbouw 2 is uitgegaan van een volledige bodemopbouw uit zand. Beide bodemopbouwen zijn weergegeven in tabel 3-1.

Tabel 3-1: Scenario's bodemopbouw

Bovenkant laag [m NAP]	Bodemopbouw 1	Bodemopbouw 2
m.v.	<u>KLEI</u> , zwak siltig	<u>KLEI</u> , zwak siltig
+5,0	<u>KLEI</u> , zwak siltig	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt
+1,5	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt
-22,0	<u>KLEI</u> , zwak siltig	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt
-34,0	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt
-47,0	<u>KLEI</u> , zwak siltig	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt
-53,0	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt	<u>ZAND</u> , matig tot vast gepakt

3.2.3 (Grond)waterstanden

De hoge, lage en gemiddelde waterstanden zijn overgenomen uit [x] en weergegeven in tabel 3-2.

Tabel 3-2: Waterstanden

Situatie	Waterstand [m NAP]
Laag	+4,0
Gemiddeld	+4,8
Hoog	+10,55

Voor de (grond)waterstanden zijn twee scenario's beschouwd, namelijk de dagelijkse situatie en de situatie val na hoogwater.

Voor de dagelijkse situatie is uitgegaan van een (grond)waterstand op NAP +4,8m.

Voor de situatie val na hoogwater is uitgegaan van een volledig verzadigd profiel, waarbij de freatische grondwaterstand ca. 0,3 m onder maaiveld ligt. Hierbij is dus uitgegaan van een val na een hoogwater van NAP +9 m (bovenkant zomerkade) of hoger.

Er is een hydrostatisch verloop aangenomen.

3.2.4 Grondparameters

De grondparameters zijn herleid op basis van correlatie met de conusweerstand op basis van tabel 2.b van [NEN 9997-1].

De [CUR 113] geeft aan dat voor een eenvoudige analyse een evenwichtsfactor van minimaal 1,3 moet worden gehanteerd, indien men gebruik maakt van de karakteristieke waarden zoals aangeven in de NEN 6740. Aangezien NEN 6740 is vervallen, is uitgegaan van [NEN-9997-1], waarbij de evenwichtsfactor tenminste 1,0 moet bedragen bij rekenwaarden van de grondparameters.

De zandwinputten zijn ingedeeld in veiligheidsklasse RC1 uit [NEN 9997-1]. Dit betekent dat na macro-instabiliteit wordt uitgegaan van geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving. Dit uitgangspunt dient door de opdrachtgever geverifieerd te worden. De rekenwaarden voor de grondparameters zijn verkregen door de representatieve waarden te delen door de materiaalfactoren voor RC1 conform tabel A.2 uit [NEN 9997-1]. De rekenwaardes die hieruit volgen zijn weergegeven in tabel 3-3.

Tabel 3-3: Sterkteparameters

Grondsoort [-]	γ/γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]	c'_d [kPa]	ϕ_d [°]
KLEI, zwak zandig	18/18	3,0	22,5	2,3	19,0
ZAND, matig (los) gepakt	18/20	0,0	32,5	0,0	28,0
Opmerkingen: γ en γ_{sat} = volumiek gewicht; sat = verzadigd c' = effectieve cohesie (representatieve waarde) ϕ' = effectieve hoek van inwendige wrijving (representatieve waarde) c_d = effectieve cohesie (rekenwaarde) ϕ_d = effectieve hoek van inwendige wrijving (rekenwaarde)					

3.2.5 Bovenbelastingen

Er is rekening gehouden met een bovenbelasting van 13,3 kN/m² over 2,5 m op de zomerkade.

3.2.6 Aarbevingsbelasting

Bij de dagelijkse situatie is rekening gehouden met een aardbevingsbelasting. Uitgangspunt hierbij is figuur 2 uit [Crook 1996]. Hieruit blijkt dat de projectlocatie in een gebied ligt waarvoor een horizontale piekversnelling van 0,5 m/s² geldt bij een overschrijdingskans van 10% in een periode van 50 jaar. Deze ontwerpversnelling komt overeen met de betrouwbaarheidsniveau zoals beschreven in par. 2.1 van Eurocode 8, deel 1 [NEN 1998-1].

De invloed van deze versnelling is, met behulp van de pseudo-statische methode conform par. 4.1.3.3 uit Eurocode 8, deel 5 [NEN 1998-1], in DGeoStability worden verdisconteerd. De horizontale traagheidskracht op het grondmassief kan berekend worden volgens:

$$F_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$$

Waarin:

α : ratio tussen de ontwerp grondversnelling (a_g) en de gravitatieconstante (g);

S : grondparameter volgens [NEN 1998-1], par. 3.2.2.2;

W : gewicht van de grondmassa.

In dit geval geldt dat $\alpha = 0,5 \text{ m/s}^2 / 9,8 \text{ m/s}^2 = 0,05g$. De grondparameter is in dit geval, conform tabel 3.3 uit Eurocode 8, deel 1, gelijk aan $S = 1,5$. Hierbij is ervan uitgegaan dat de magnitude M_s kleiner is dan 5,5 (Type 2 spectrum) en de bodem in het talud uit voornamelijk uit matig tot vast zand (Grondtype C) bestaat. De horizontale versnellingscoëfficiënt is in dit geval gelijk aan $a_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot S = 0,0375g$.

Aangezien er geen los gepakte lagen van significante dikte zijn aangetroffen, is er geen rekening gehouden met het ontstaan van significante wateroverspanningen ten gevolge van de aardbevingsbelasting.

3.3 Berekeningsresultaten

In tabel 3-4 zijn de berekende veiligheidsfactoren weergegeven. De maatgevende glijcirkels zijn ook weergegeven in bijlage 1.

Tabel 3-4 Stabiliteit veiligheidsfactoren zandwinputten

Bodemopbouw	Belastingsituatie	Veiligheidsfactor - Bishop	Voldoet?
1	Dagelijks+aardbeving	1,03	Ja
	Val na MHW	1,29	Ja
2	Dagelijks+aardbeving	1,28	Ja
	Val na MHW	1,63	Ja

Uit tabel 3-4 blijkt dat voor alle situaties voor zowel de basis- als de voorkeursvariant aan de stabiliteitseis ten aanzien van taludafschuiving wordt voldaan bij een talud 1:3 tot aan putbodemp (NAP -20 m a NAP -45 m) .

3.4 Randzone

Aangezien voldaan wordt aan de stabiliteitseis, zijn er conform [CUR 113] vanuit taludafschuiving geen eisen ten aanzien van de te hanteren randzone.

4. VERWEKINGSVLOEIING

In dit hoofdstuk komt de beschouwing van het mechanisme verwekingsvloeiing aan de orde.

4.1 Mechanismebeschrijving

Verwekingsvloeiing is het verschijnsel waarbij een pakket met verzadigd los gepakt zand plotseling verweekt. Hierdoor ontstaat een soort drijfzand. De onderlinge contacten tussen zandkorrels neemt hierdoor sterk af en zo ook de schuifsterkte van het pakket. Hierdoor neemt de taludstabiliteit af en kan een deel van het talud gaan vloeien en pas bij een veel flauwer talud tot stilstand komen.

Uit het sondeeronderzoek blijkt dat er over het algemeen sprake is van matig tot vastgepakt zand/grind of cohesieve lagen. Daarom wordt onderzocht of het mogelijk is om op basis hiervan verwekingsvloeiing uit te sluiten. Hiertoe wordt allereerst een eenvoudige beoordeling conform [CUR 113] uitgevoerd. Vervolgens wordt waar nodig een gedetailleerde analyse uitgevoerd.

4.2 Eenvoudige beschouwing

De verwekingsgevoeligheid van de zandwinput is in eerste instantie beoordeeld volgens de eenvoudige beoordeling zoals beschreven in hoofdstuk 6 van de [CUR 113]. Deze beoordeling is onder andere gebaseerd op de relatieve dichtheid van het zandpakket. Deze relatieve dichtheid is afgeleid over de gehele sondeerdiepte voor alle sonderingen in het gebied conform de methode van Baldi zoals beschreven in [BALDI 1986]. De resultaten zijn weergegeven in bijlage 2.

In de analyse zijn kleilagen als niet verwekingsvloeiingsgevoelig aangemerkt. Om te identificeren of sprake is van klei of zand wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van zowel sonderingen als boringen. Indien alleen sonderingen beschikbaar zijn, is ervan uitgegaan dat lagen met een wrijvingsgetal (R_f) $>1,5\%$ te kleilig zijn om te verweken. Op basis van dit criterium zijn de stoorlagen tussen ca. NAP-22m en NAP-34m te kleilig om te verweken. Door middel van boringen wordt deze aanname geverifieerd.

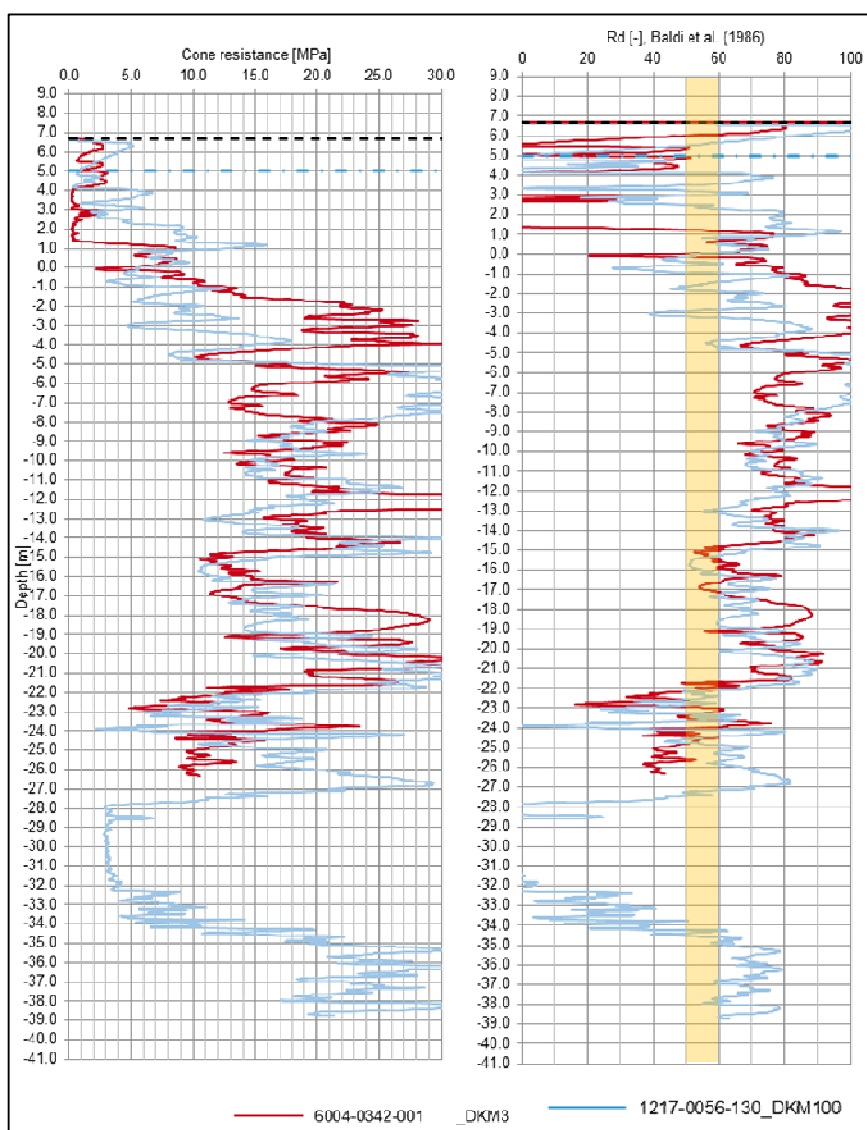
Een verwekingsvloeiing kan worden uitgesloten wanneer geen lagen van 1m of dikker worden aangetroffen waar de relatieve dichtheid lager is dan 50%. Uit een eerste beschouwing blijkt dat slechts op enkele sondeerlocaties een verwekingsgevoelige (zand)laag aangetroffen die niet aan dit criterium voldoet. Bij een nadere analyse blijkt dit voor vrijwel alle lagen het gevolg te zijn van dunne klei stoorlaagjes in de zandlagen, waardoor de gemeten conusweerstand in de zandlagen beïnvloed wordt. Hierdoor wordt de relatieve dichtheid in deze lagen onderschat. Alleen bij sonderingen *DKM3* (ca. NAP-25m), *DZKM5* (ca. NAP -30m), *DKM11* (ca. NAP-5m en NAP-24m), *DKM13* (ca. NAP-1m) en *DKM14* (ca. NAP-3m) zijn 'schone' zandlagen ($R_f > 1,5\%$) met een relatieve dichtheid lager dan 50% over meer dan 1m dikte aangetroffen. Deze worden in de volgende paragraaf gedetailleerd beschouwd.

4.3 Gedetailleerde beschouwing

In deze paragraaf worden de 5 sonderingen waarbij een 'schone' zandlaag is aangetroffen met een dikte groter dan 1 m en een relatieve dichtheid lager dan 50% nader beschouwd.

Sondering *DKM3* bevindt zich langs de noordoever van put 2. Bij *DKM3* is op een diepte van ca. NAP - 25 m een zandlaag met een relatieve dichtheid van ca. 45% aangetroffen met een dikte van ca. 2 m. Deze zandlaag bevindt zich onder de beoogde putdiepte. Daarom is een stabiliteitsanalyse uitgevoerd,

waarbij er van uit is gegaan dat deze laag verweekt en hierdoor een reststerkte van $\phi_{rest} = 5^\circ$ heeft. De berekende stabiliteitsfactor is weergegeven in bijlage 3 en bedraagt 1,05. Dit is groter dan de eis van 1,0, waardoor de kans op een verwekingsvloeiing voldoende klein is. Merk op dat deze stabiliteitsfactor hoger is dan de maatgevende situatie in tabel 3-4. Reden hiervoor is dat in die situatie put 1 is beschouwd, welke een grotere diepte heeft dan de hier relevante put 2. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat sondering DKM3 niet tot voldoende diepte is uitgevoerd, zodat het mogelijk is dat de betreffende laag dikker is, wat een nadelig effect kan hebben op de uitgevoerde stabiliteitsanalyse. De verwachting is dat dit niet het geval is. Om de onzekerheid ten aanzien van verwekingsgevoeligheid uit te sluiten is de grondlaag opnieuw onderzocht door het uitvoeren van een validatiesondering (DKM100) ter plaatse van de oever. Uit de beoordeling volgens de CUR113 blijkt de betreffende laag een relatieve dichtheid te hebben groter dan 50% (figuur 4-1) en dus voldoet aan de CUR113 criteria.



Figuur 4-1 Beoordeling verwekingsgevoeligheid zandlagen DKM3 en DKM100

Sondering DZKM5 bevindt zich aan de oostoever van put 3 en aan de westzijde van put 2. Bij DZKM5 is op een diepte van ca. NAP -30 m een zandlaag met een relatieve dichtheid van ca. 45% aangetroffen over ca. 4 m aangetroffen. Deze zandlaag bevindt zich onder de beoogde putdiepte. Daarom is een stabiliteitsanalyse uitgevoerd, waarbij er van uit is gegaan dat deze laag verweekt en hierdoor een reststerkte van $\phi_{rest} = 5^\circ$ heeft. De berekende stabiliteitsfactor is weergegeven in bijlage 3 en bedraagt

1,06. Dit is groter dan de eis van 1,0, waardoor de kans op een verwekingsvloeiing voldoende klein is. Merk op dat deze stabiliteitsfactor hoger is dan de maatgevende situatie in tabel 3-4. Reden hiervoor is dat in die situatie put 1 is beschouwd, welke een grotere diepte heeft dan de hier relevante put 2 en 3.

Sondering DKM11 bevindt zich aan de zuidoever van put 3. Bij DKM11 is op een diepte van ca. NAP -5m en NAP -25m een zandlaag met een relatieve dichtheid van ca. 45% over een dikte van ca. 1m zichtbaar. Voor deze sondering is de state parameter bepaald conform [SHZV, 2019], zie bijlage 4, waarbij is beoordeeld of deze over een dikte van 3m (ca. 10% van de taludhoogte), lager is dan -0,05. Hierbij is een minimale laagdikte van 3m gehanteerd, aangezien de sondeerafstand met ca. 200m aanzienlijk kleiner is dan de [CUR 113] als minimale afstand voorschrijft en deze sondeerafstand overeenkomt met wat gebruikelijk is voor bijv. waterkeringen, waar ook een minimale laagdikte van ca. 3m wordt gehanteerd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de state parameter voldoende laag is en er geen sprake is van een verwekingsgevoelige laag.

Sondering DKM13 bevindt zich aan de noordoever van put 3. Bij DKM13 is op een diepte van ca. NAP -1m een zandlaag met een relatieve dichtheid van ca. 45% over een dikte van ca. 1m. Voor deze sondering is de state parameter bepaald conform [SHZV, 2016], zie bijlage 4, waarbij is beoordeeld of deze over een dikte van 3m (ca. 10% van de taludhoogte), lager is dan -0,05. Hierbij is een minimale laagdikte van 3m gehanteerd, aangezien de sondeerafstand met ca. 200m aanzienlijk kleiner is dan de [CUR 113] als minimale afstand voorschrijft en deze sondeerafstand overeenkomt met wat gebruikelijk is voor bijv. waterkeringen, waar ook een minimale laagdikte van ca. 3 m wordt gehanteerd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de state parameter voldoende laag is en er geen sprake is van een verwekingsgevoelige laag.

Sondering DKM14 bevindt zich aan de noordoever van put 3. Bij DKM14 is op een diepte van ca. NAP -3 m een zandlaag met een relatieve dichtheid van ca. 40% over een dikte van ca. 3m. Bij een nadere beschouwing blijkt dit met name veroorzaakt te worden door een klei stoorlaagje op NAP -3m, waardoor de conusweerstand nadelig wordt beïnvloed en te lage relatieve dichtheid wordt bepaald. Voor deze sondering is de state parameter bepaald conform [SHZV, 2019] uit de sonderingen, waarbij is beoordeeld of deze over een dikte van 3m (ca. 10% van de taludhoogte), lager is dan -0,05. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de state parameter voldoende laag is en er geen sprake is van een verwekingsgevoelige laag.

4.4 Randzone

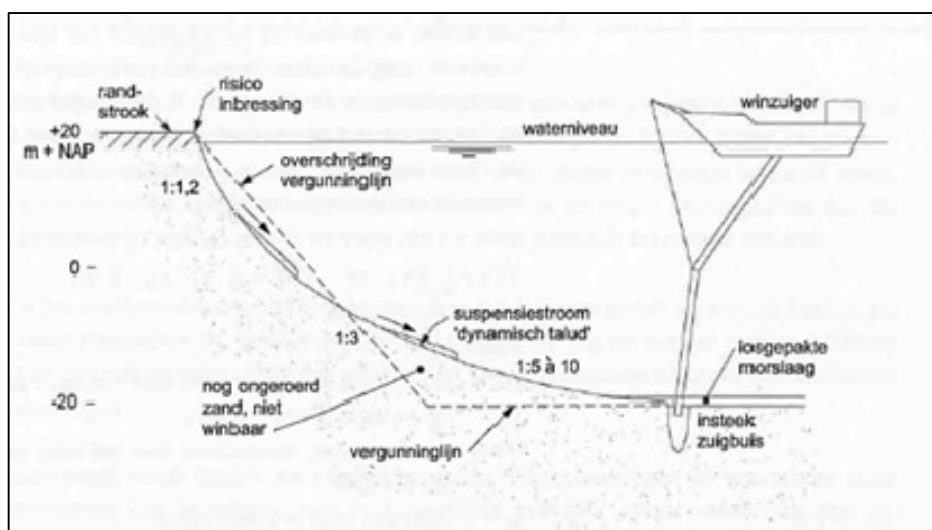
Aangezien er geen verwekingsgevoelige lagen zijn aangetroffen, hoeft zijn er conform [CUR 113] vanuit verwekingsvloeiing geen eisen ten aanzien van de te hanteren randzone.

5. BRESVLOEIING

In dit hoofdstuk komt de beschouwing van het mechanisme bresvloeiing aan de orde.

5.1 Mechanisme beschrijving

Bresvloeiing is een autonoom terugschrijdend erosieproces door een zand-water suspensiestroom op een onderwaterhelling dat uiteindelijk tot een oeverinscharing kan leiden. Bressen treedt altijd op tijdens het zandwinningsproces door middel van een profielzuiger. Het zand stroomt over het talud richting de zuiger. Zolang er sprake van is van beheerst bressen zal er geen probleem optreden. Wanneer de door de zuiger geïnitieerde bres sterker groeit dan voorzien, kan onbeheerst bressen optreden. Dit is een zichzelf versterkend proces waarbij steeds meer materiaal erodeert en wegstroomt. Uiteindelijk zal dit bresproces stoppen wanneer een zeer flauw talud is ontstaan (figuur 5-1). Bresvloeiing kan ook ontstaan wanneer geen zuiger actief is. Dit kan bijvoorbeeld door een lokale afschuiving of erosie door het storten van grond op het talud.



Figuur 5-1 Schematische weergave taludontwikkeling Bron: CUR Aanbeveling 113

Het gevolg van een onbeheerst bresproces kan een oeverinscharing zijn en dat het gewenste taludprofiel (vergunningstalud) wordt overschreden. Wanneer de begrenzing van de winput voldoende ruimte biedt om variatie van het vergunningstalud toe te staan zal een zekere onnauwkeurigheid bij de vorming van het talud geen probleem vormen. Echter wanneer de zandwinning in de nabijheid van infrastructuur zoals huizen, wegen en of recreatiegebieden is gelegen worden er met betrekking tot de veiligheid stringenter eisen gesteld aan de variatie van het op te leveren profiel. In de praktijk betekent dit dat het vergunningstalud niet mag worden overschreden.

In het voorgaande is reeds aangegeven dat een onbeheerst bresproces meestal de aanleiding is van een oeverinscharing. In de CUR Aanbeveling 113 zijn voorwaarden gesteld waaraan moet worden voldaan om een beheerst bresproces te kunnen garanderen en dus het risico een onbeheerst bresproces te minimaliseren.

Deze voorwaarden betreffen:

- de grondgesteldheid;
- de wijze van uitvoering van de zandwinning;
- controle van de uitvoering en de taludontwikkeling.

In de volgende paragrafen zal worden beschouwd of de voorwaarden aanwezig zijn voor een beheerst bresproces. Vervolgens zal worden ingaan op de taludontwikkeling bij beheerst bressen en hoe de ingeschatte (voorspelde) taludontwikkeling zich verhoudt tot het taludontwerp

5.2 Eenvoudige analyse beheerst bressen

Voor de eenvoudige analyse uit [CUR113] voor bresvloeiing moet worden voldaan aan de onderstaande voorwaarden:

1. dikke stoorlagen (> 1 m), indien aanwezig, worden met geschikt materieel verwijderd;
2. zand is grof genoeg: gemiddeld over 5 m of minder $d_{50} > 200 \mu\text{m}$ en $d_{15} > 100 \mu\text{m}$;
3. er wordt van tevoren een werkplan voor de uitvoering vastgesteld;
4. zuigproces wordt beheerst door monitoring van positie zuigbuis en productie;
5. de brestaluds worden regelmatig gepeild.

Voorwaarden 3, 4 en 5 hebben betrekking op de uitvoering van het zandwinproces. In het vervolg wordt ervan uitgegaan dat dat deze voorwaarden door de opdrachtgever worden gewaarborgd.

Om aan voorwaarde 1 te voldoen, dienen stoorlagen met geschikt materieel te worden verwijderd. Dit betreft in ieder geval de deklaag welke tot een diepte van ca. NAP +1,5 en +6m is aangetroffen. De overige aangetroffen stoorlagen bevinden zich onder de putbodem van put 2 en 3 en zijn voor het winzuigen in die putten dus niet relevant.

Voor de verdieping van put 1 tot NAP -35 m zijn tussen ca. NAP -25 m en NAP -30 m stoorlagen (zandige klei) aangetroffen van wisselende dikte. Vanaf NAP -30 m tot NAP -45 m wordt zand met wisselende kleilaagjes aangetroffen (figuur 2-4).

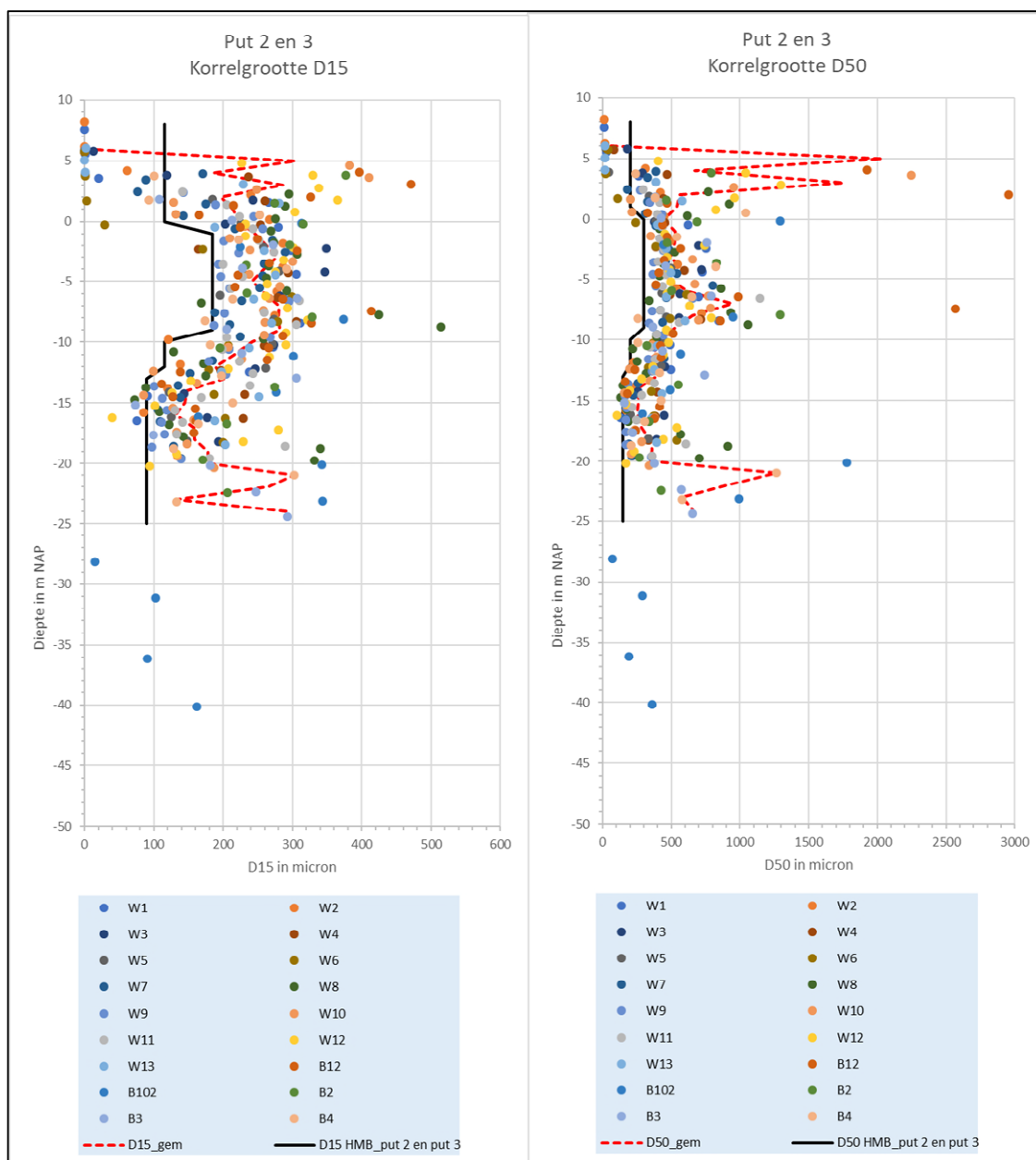
In bijlage 5 en 6 zijn de korrelverdelingen van de beschikbare boringen voor de putten 1, 2 en 3 weergegeven. Hieruit blijkt dat tot een diepte van NAP -10m aan de voorwaarde voor de eenvoudige beoordeling wordt voldaan. Hieronder zijn echter fijnere zandlagen aanwezig. Derhalve is het toepassen van een eenvoudige analyse niet toegestaan en is een gedetailleerde analyse uitgevoerd met betrekking tot de taludontwikkeling tijdens het winzuigen.

Voorwaarden 3, 4 en 5 hebben betrekking op de uitvoering van het zandwinproces. In het vervolg wordt ervan uitgegaan dat in dit rapport genoemde voorwaarden voor een beheerst winproces door de opdrachtgever worden gewaarborgd door middel van een nader op te stellen winplan. En deze te overleggen met de ontgrondingsvergunningverlener.

5.3 Gedetailleerde analyse (taludontwikkeling put 2 en 3)

In deze paragraaf wordt ingegaan hoe talud tijdens het winnen van zand (het zogenaamde brestalud) zich ruwweg zou kunnen ontwikkelen. Hiertoe is gebruik gemaakt van het door Deltares ontwikkelde programma HMBreach. Ten aanzien van de uitvoering en het materieel wordt ervan uitgegaan dat het zand door middel van een profielzuiger wordt gebaggerd waarbij het zand onder natuurlijke wijze naar de zuigmond toestroomt, zie figuur 5-1.

Voor een analyse met HMBreach is de korrelgrootte benodigd. Op basis van de beschikbare boringen en korrelverdelingen is een ondergrens geschat en een laaggemiddelde bepaald voor de D50 en de D15 van de betreffende zandlagen (figuur 5-2).



Figuur 5-2 Bepaling korrelaagopbouw Put 2 en 3

In tabel 5-1 zijn de geschatte ondergrens waarden voor de D50 en de D15 weergegeven voor put 2 en 3, welke naast de laaggemiddelde waarden als invoerwaarde dient voor HMBreach simulaties.

Tabel 5-1: Gehanteerde ondergrens korrelopbouw zandlagen HMBreach put 2 en 3

Bovenkant laag [m NAP]	D50 [μm]	D15 [μm]	n [-]	k ¹⁾ [mm/s]	k ¹⁾ [m/d]	v _{wal} ²⁾ [mm/s]
m.v.	200	115	0,38	0,10	9	2,5
+0,0	300	185	0,38	0,26	22	6,5
-10,0	200	115	0,38	0,10	9	2,5
-13,0	150	90	0,38	0,06	5,3	1,5

D50 = mediane korreldiameter

D15 = 15% percentielwaarde van de korreldiameters

n = porositeit

k = doorlatendheid

v_{wal} = walletjessnelheid

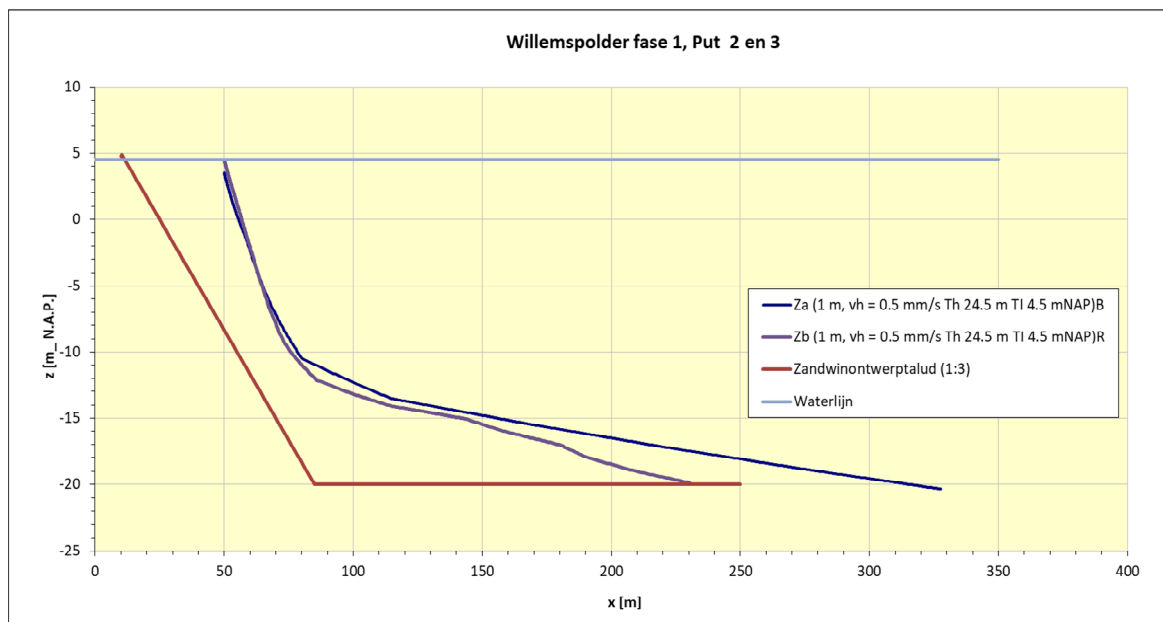
¹⁾ Berekend in HMBreach o.b.v. korrelgroottes

²⁾ Berekend als 25 maal de doorlatendheid

Allereerst is een analyse uitgevoerd met een doorgaand talud met een hoogte van 25 m en een insteekdiepte/hoogte van de initiële bres van 1 m. Het risico op bresvloeiing is afhankelijk van de productiesnelheid. Er is uitgegaan van een verhaalsnelheid van 0,5 mm/s, wat resulteert in een taludproductie van ca. 125 m³/uur bij een meewerkende breedte van 3m.

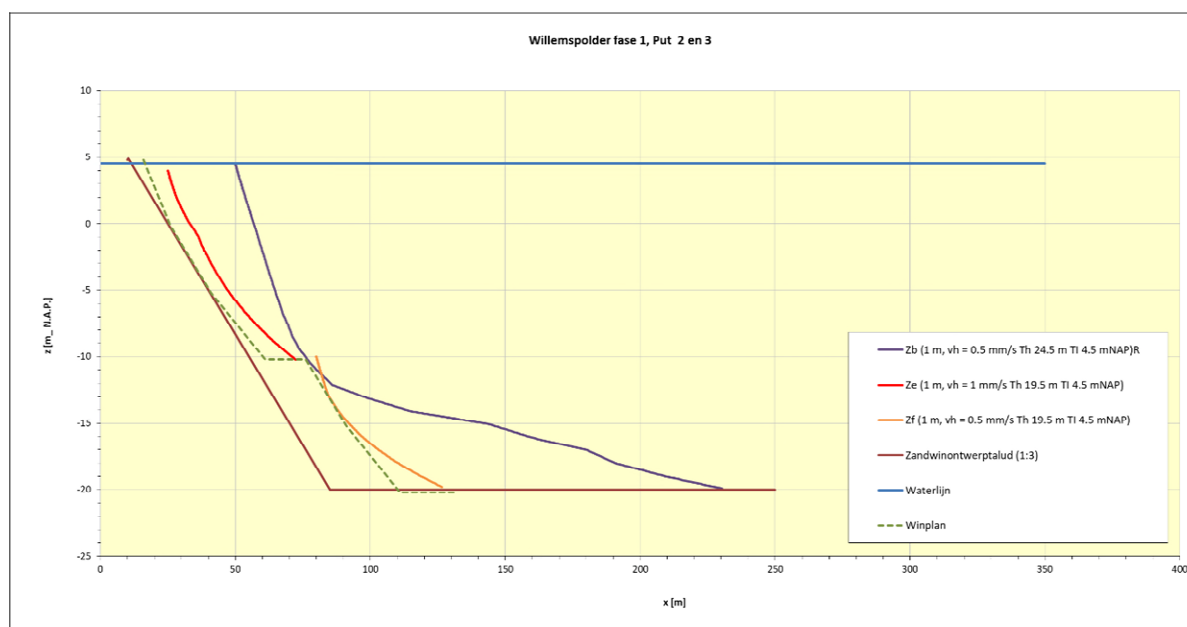
In figuur 5-3 is een simulatie weergegeven van de verwachte taludontwikkeling voor put 2 en 3 wanneer men gelijk op volle diepte (NAP-20 m) het zandpakket aanzuigt. Het betreft een simulatie met als invoer een korrellaagopbouw volgens tabel 5-1 (Za) en simulatie met als invoer de laaggemiddelde korrelopbouw (Zb).

Te zien is dat mag worden verwacht dat het brestalud tot ca NAP -10 steiler en of een vergelijkbare taludhelling zal hebben als het gewenste ontwerptalud. Vanaf NAP -10 treedt er een sterke verflauwing op van het brestalud ten gevolge van een toenemende fijnheid van het zandpakket. Dit duidt op een toenemende kans op onbeheerst bressen en kan leiden tot een oeverinscharing.



Figuur 5-3 Berekende evenwichtstaludhelling put 2 en 3 (doorgaand)

Om te voorkomen dat het taludprofiel wordt doorsneden en de kans op een onbeheerste bres te reduceren wordt geadviseerd om onder voorwaarden het (zandwin) taludontwerp laagsgewijs aan te baggeren. Onder voorwaarden wordt bedoeld dat een winplan wordt opgesteld, waarin staat aangegeven hoe men zand gaat winnen en hoe men rekening houdt met een toenemende kans op onbeheerst en/of meewerkend bressen. In figuur 5-4 is een voorbeeld gegeven hoe een winplan (lees werktalud) van de zandwinning voor put 2 en 3 eruit zou kunnen zien.



Figuur 5-4 Voorbeeld winplan put 2 en 3 (laagsgewijs)

Er is op basis van HMBreach simulaties gekozen om aan de hand van 2 winslagen een zandwinontwerptalud (1:3) te realiseren. Op een afstand van minimaal 150 m gerekend vanaf de teen van het zandwinontwerptalud wordt gestopt met het winnen van zand op de volle diepte. Vervolgens start men met het laagsgewijs baggeren. Als hulpmiddel wordt geadviseerd om in het winplan een werktalud (werktekening) op te stellen voor de uitvoering van de werkzaamheden. Werktekening en

winplan dienen jaarlijks te worden geactualiseerd op basis monitoringsdata zoals peilingen, zuigproductie en positie zuigbuis.

In dit voorbeeld is een werktalud met berm toegepast welke is gesitueerd op NAP-10,0 m. Conform [CUR 113] dient deze een breedte van minimaal 15 m te hebben. Doel van de berm is om gedurende de exploitatiefase een meewerkende bres over de berm te voorkomen. Zodoende kunnen de taluds boven en onder de berm als separate taluds worden beschouwd.

Resumerend kan worden gesteld dat een zandwinontwerptalud van 1 op 3 statische voldoende stabiel is. Om het ontwerptalud te realiseren gedurende de exploitatiefase is onzes inziens een winplan noodzakelijk, waarin is aangegeven welke uitvoeringsmethode wordt gehanteerd en met wat voor werktalud (ook wel snedeschema genoemd), men het zandwinontwerp wil realiseren. In dit rapport is onderstaand een eerste aanzet gegeven hoe zo een snedeschema (behorend bij winplan) eruit zou kunnen zien. Het winplan wordt jaarlijks geactualiseerd en overlegd met het bevoegd gezag.

Uit de HM-Breach-simulaties blijkt dat het op volle diepte zuigen (NAP -20 m) leidt tot een sterke verflauwing van het brestalud, met als gevolg een toenemende kans op een onbeheerst bresgedrag. De methode op volle diepte zuigen wordt dan ook niet geadviseerd binnen een afstand van minimaal 150 m gerekend vanaf de teen van het ontwerptalud. Onderstaand volgt een mogelijk snedeschema voor het winnen van zand.

Nadat de genoemde 150 m lijn (zgn. diepwincontourlijn betreft de afstand gerekend vanaf de teen van het zandwinontwerptalud) wordt overschreden, dan wordt geadviseerd om de volgende talud winmethode toe te passen:

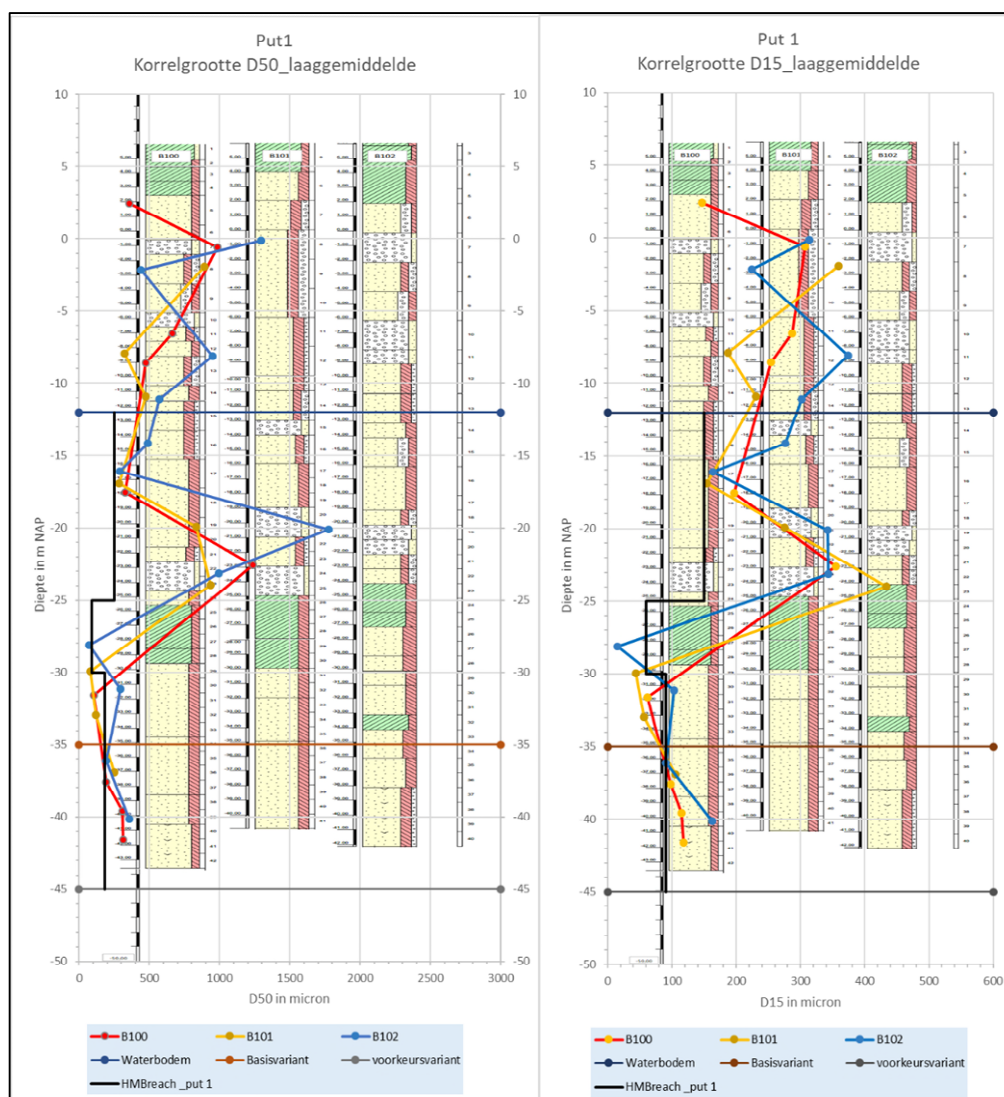
- De winzuiger dient het zand in minimaal twee (snedes) lagen te baggeren in evenwijdige horizontale banen langs de oever met een laagdikte (breshoogte) van maximaal 15 m, voor het baggeren van zandlagen tot een diepte van NAP -20 m. Continue monitoring is een vereiste.
- Nadat de bovenste zandlaag is afgewerkt, dan kan pas met de tweede snede worden begonnen. Hierbij dient te worden gemonitord of er geen sprake is van een meewerkende bres. Ook dient ervoor te worden gewaakt, dat de fijne overgangszandlaag op diepten vanaf N.A.P. -10 m niet sterk gaat verflauwen en alsnog een instabiel talud veroorzaakt.

Verder geldt dat bij het zuigen van een volgende laag er niet meer in de 'afgewerkte' bovengelegen taluds wordt gewerkt. Als alternatief kan men ook kiezen om het talud op een ander wijze te baggeren waarbij het zand halend wordt gebaggerd. Met ander woorden een methode waar bresvloeiing niet relevant is. Er hoeft dan in het werktalud geen bermen te worden toegepast. Wel dient een winplan inzicht te geven hoe stabiliteit van het werktalud wordt gewaarborgd bij het laagsgewijs ontgraven van het zand. Bijvoorbeeld het wel of niet toepassen van box cut methode.

5.4 Gedetailleerde analyse put 1

Voor put 1 zijn twee varianten van toepassing. Variant 1 is de basisvariant en betreft een verdieping van ongeveer NAP-12 m (huidige waterbodem) naar een diepte van NAP-35 m. Variant 2 is de voorkeursvariant en betreft een verdieping tot NAP -45 m.

Op basis van beschikbaar grondonderzoek (boring B100, B101, B102, B-07, B3, B4 en W2) wordt voor put 1 uitgegaan dat tot een diepte van NAP-25 m zand wordt aangetroffen met een D50 van 250 μm en een D15 van 150 μm . Op NAP -25 m tot circa NAP -30 m is kans reëel dat men tussen het zand stoorlagen van klei kan verwachten die het bresproces beïnvloeden. HMBreach is niet ontworpen om het bresgedrag van zand met kleilagen te simuleren. Een wijze om het effect van stoorlagen te simuleren is door ervan uit te gaan dat er een menging optreedt van brokken klei en het zand tijdens het zuigproces als gevolg van het toevoeren van jetwater (mits de kleilaag niet te dik is). Dit heeft tot gevolg dat het zandklei mengsel een lage D50 en D15 waarde zal hebben met als resultaat een flauwe taludontwikkeling. In dit rapport wordt op basis van het grondonderzoek een D50 van 90 μm en een D15 van 60 μm voor de stoorlaag (klei met zandlenzen) aangehouden. Vanaf NAP -30 m tot NAP -45 m is overwegend zand aangetroffen waarvoor een D50 van 180 μm en een D15 van 90 μm wordt aangehouden (figuur 5-5).



Figuur 5-5 Bepaling korrelaagopbouw Put 1

In tabel 5-2 zijn de D50 en de D15 waarden weergegeven voor put 1, welke als invoerwaarde dient voor HMBreach simulaties.

Tabel 5-2: Gehanteerde bodemopbouw HMBreach put 1

Bovenkant laag [m NAP]	D50 [μm]	D15 [μm]	n [-]	k ¹⁾ [mm/s]	k ¹⁾ [m/d]	v _{wal} ²⁾ [mm/s]
w.b	250	150	0,38	0,172	14	4.3
-24,0 á -25,0	90	60	0,40	0,034	2,9	0,8
-35,0	180	90	0,38	0,06	5,1	1,5

D50 = mediane korreldiameter

D15 = 15% percentielwaarde van de korreldiameters

n = porositeit

k = doorlatendheid

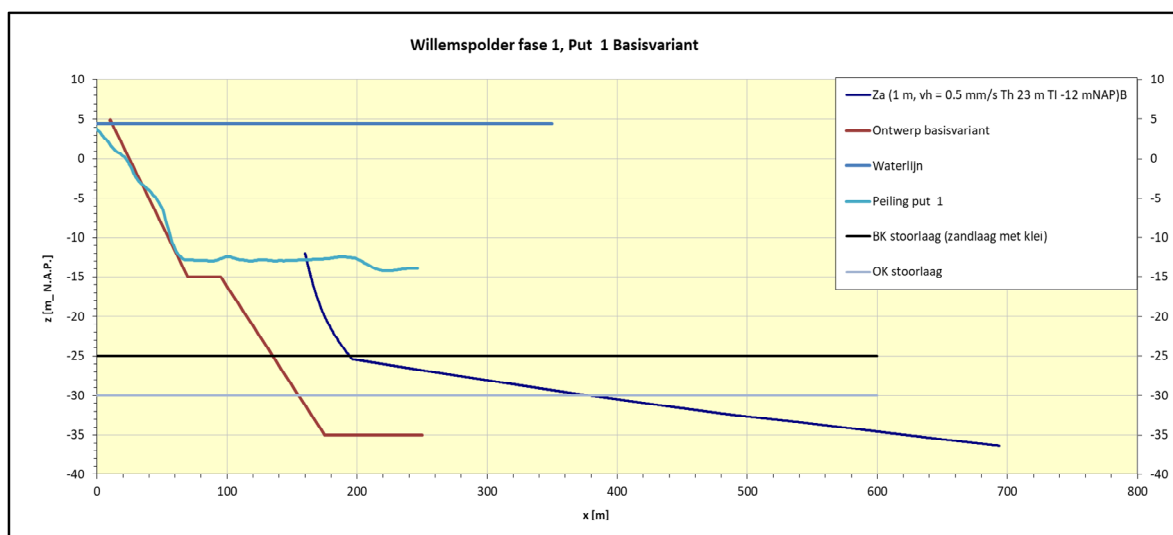
v_{wal} = walletjessnelheid

¹⁾ Berekend in HMBreach o.b.v. korrelgroottes

²⁾ Berekend als 25 maal de doorlatendheid

5.4.1 Basisvariant

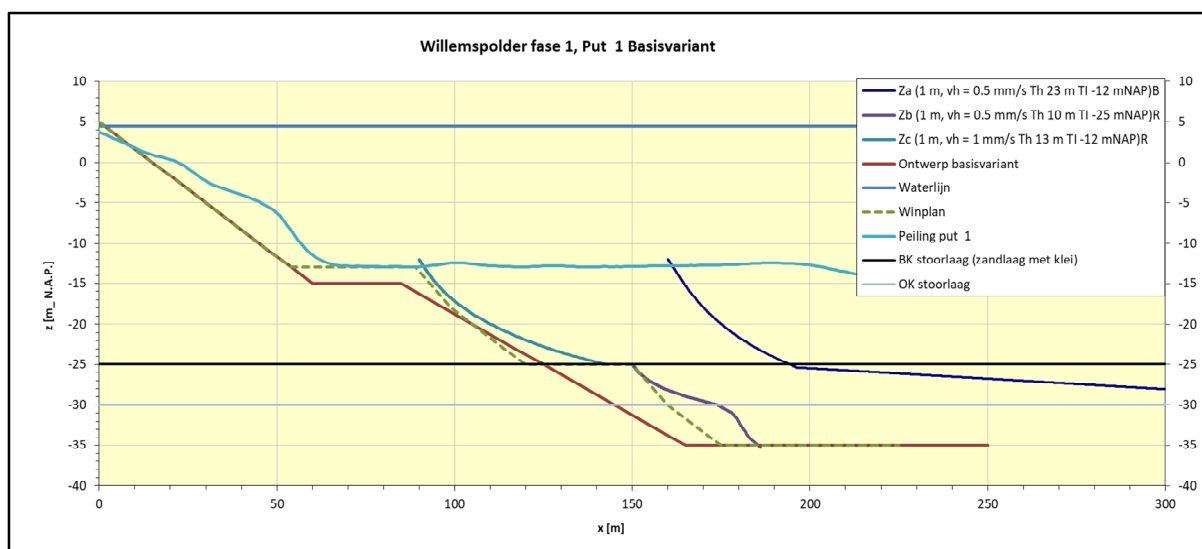
In figuur 5-6 zijn de resultaten weergegeven van een HMBreach simulatie voor een verdieping naar NAP-35 m. Gezien de verwachte stoorlaag (klei met zandlagen) wordt verwacht dat het winzuigen van zand op volle diepte te risicovol wordt. De HMBreach simulatie laat zien dat vanaf de waterbodem (circa NAP-12m) tot NAP -25m een brestalud mag worden verwacht met een helling van 1 op 3. Vanaf NAP -25 m treedt een sterke verflauwing van het brestalud (ten gevolge) van de aanwezige kleilagen. Dit duidt op een toenemende kans op onbeheerst bressen.



Figuur 5-6 Berekende evenwichtstaludhelling put 1 Basisvariant (doorgaand)

Wil men een zandwinontwerptalud met een helling van 1 op 3 á 1 op 4 realiseren dan wordt geadviseerd om voor de verdieping in het winplan een laagsgewijze snedeplan te hanteren, waarbij de gehele verdieping laagsgewijs in lagen van circa 5 m á 8 m wordt gerealiseerd, zie figuur 5-7. Geadviseerd wordt om in het winplan een werktekening in op te nemen waarop wordt aangegeven welke bermafstanden

moeten worden gehanteerd om meewerkend bressen te voorkomen als het ontwerpzandwintalud beheerst met een profielzuiger moet worden gerealiseerd. In het onderstaande voorbeeld zijn in het werktalud bermen opgenomen met een breedte van 35 m op NAP -12 m (aansluiting bestaande waterbodembodem) en 30 m op NAP-25 m. Let wel dit betreft een eerste aanzet volgens de CUR113. Op basis van bresanalyses en in de uitvoeringsfase van het project monitoringsdata is de kans reëel dat de geometrie van het werktalud kan worden geoptimaliseerd.

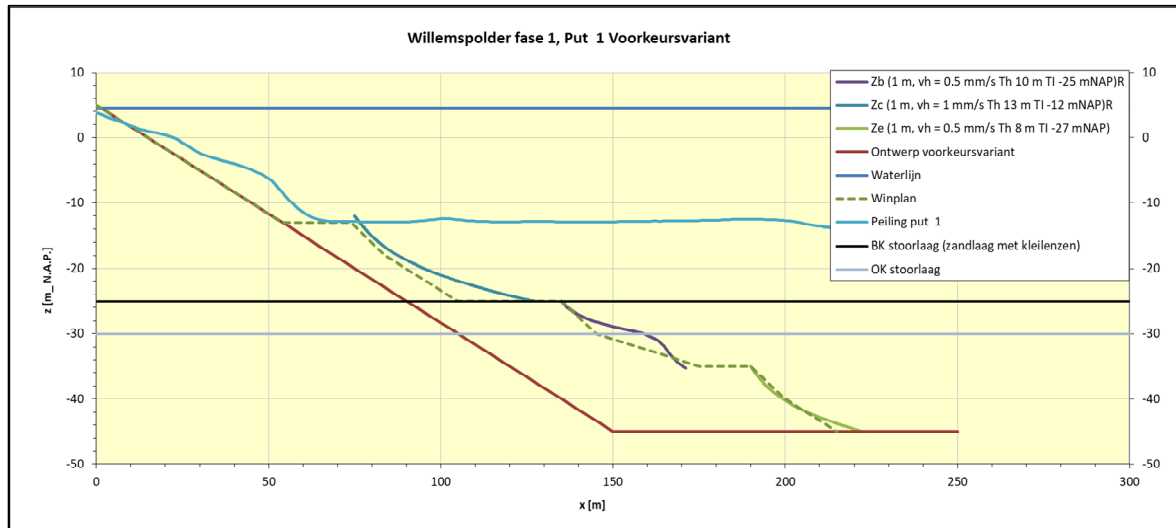


Figuur 5-7 Voorbeeld winplan put 1 Basisvariant (laagsgewijs winnen)

5.4.2 Voorkeursvariant

Voor het winnen van zand in de voorkeursvariant wordt in feite voortgeborduurd op een laagsgewijze baggeren van het zand zoals aangeven in paragraaf 5.4.1. Profielzuigen op volle diepte wordt vooralsnog afgeraden, mits door middel van monitoring kan worden aangetoond dat de taludontwikkeling minder flauw is dan verwacht. In figuur 5-8 is een op basis van de CUR113 een voorbeeld gegeven van een werktalud voor het laagsgewijs winnen van zand door middel van een profielzuiger. In het onderstaande voorbeeld zijn in werktalud bermen opgenomen met een breedte van 26 m op NAP -12 m (aansluiting bestaande waterbodembodem), 30 m op NAP-25 m en 15 m op NAP-35 m. Ook hier geldt dat het een eerste aanzet is. Op basis van bresanalyses en in de uitvoeringsfase van het project monitoringsdata zijn ook hier mogelijkheden om de geometrie van het werktalud te optimaliseren.

Uiteraard kan men ook kiezen om het zand met ander baggermateriaal te winnen (bijvoorbeeld een graafwielzuiger) waarbij het zand halend wordt gebaggerd. Dan kan onze inziens in het een winplan worden overlegd waarbij het zandwinontwerptalud binnen de in het winplan bepaalde werktoleranties wordt gebaggerd.



Figuur 5-8 Voorbeeld winplan put 1 Voorkeursvariant (laagsgewijs)

5.5 Randzone

Bresvloeiing kan niet worden uitgesloten. Daarom moet langs de bovenrand van de zandwinning een veiligheidszone worden aangehouden. De grootte van de randzone is onder ander afhankelijk van de wijze waarop het zand wordt gewonnen en dient als zodanig te worden beschreven in het winplan. Zonder inzicht in de wijze van winning van zand door middel van een profielzuiger kan de randzone met betrekking tot bresvloeiing ruwweg worden bepaald door uit te gaan van de vuistregel van tweemaal de putdiepte [CUR 113]. Dit is voor put 2 en 3 een afstand van 60 m. Voor put 1 bedraagt deze 100 m.

De afstand tussen de insteek van put 2 en de teen van de primaire kering bedraagt ca. 80 m. Voor put 1 bedraagt deze afstand ca. 150 m. In beide gevallen ligt de teen van de primaire waterkering dus ruim buiten de randzone. In het rapport effecten primaire kering [viii] is aangetoond dat de genoemde randzone voldoende waarborg biedt om te voldoen aan de faalkanseis volgens het SHZV2019 (zie kader). De zandwinning doorsnijdt de zomerkade, welke dus niet in functie kan blijven.

Conclusie over de standzekerheid primair kering.

In het rapport "Herinrichting Willemspolder Fase 1 Effecten primaire kering" [viii] is een onderzoek uitgevoerd inzake de standzekerheid van de primaire kering. Op basis van dit onderzoek wordt geconcludeerd dat de standzekerheid van de primaire kering voldoende wordt gegarandeerd volgens de richtlijnen Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing (SHZV 2019) en de CUR Aanbeveling 113.

Voor put 2 en 3 geldt dat zowel in de basisvariant als in de voorkeursvariant, het winnen van zand door middel van een winzuiger de standzekerheid van de kering voldoende is geborgd met voldoende afstand tussen insteek van de zandwinning en de buitenteen van de kering. Er wordt ruim voldaan aan de eis $P(L > L_{\text{toelaatbaar}}) < P_{\text{eis}}$; vak conform SHZV2019.

Voor Put 1 geldt dat de standzekerheid van de kering is geborgd wanneer het winnen van zand in basisvariant tot een diepte van NAP-35m in 2 winslagen wordt uitgevoerd rekening houdend met het fenomeen meewerkend bressen. Het winnen van zand gebeurt door middel van een profielzuiger.

Voor het winnen van zand tot een diepte van NAP-45 m (de voorkeursvariant) wordt het zand het laagsgewijs ontgraven van met behulp van een graafwielzuiger of vergelijkbare techniek zonder dat het zand brest. Het zogenaamd halend baggeren. Aangezien het grondonderzoek aangeeft dat de ondergrond niet gevoelig is voor verweken en het bressend baggeren niet wordt toegepast kan volgens de SHZV2019 worden geconcludeerd dat standzekerheid van de kering niet negatief wordt beïnvloed.

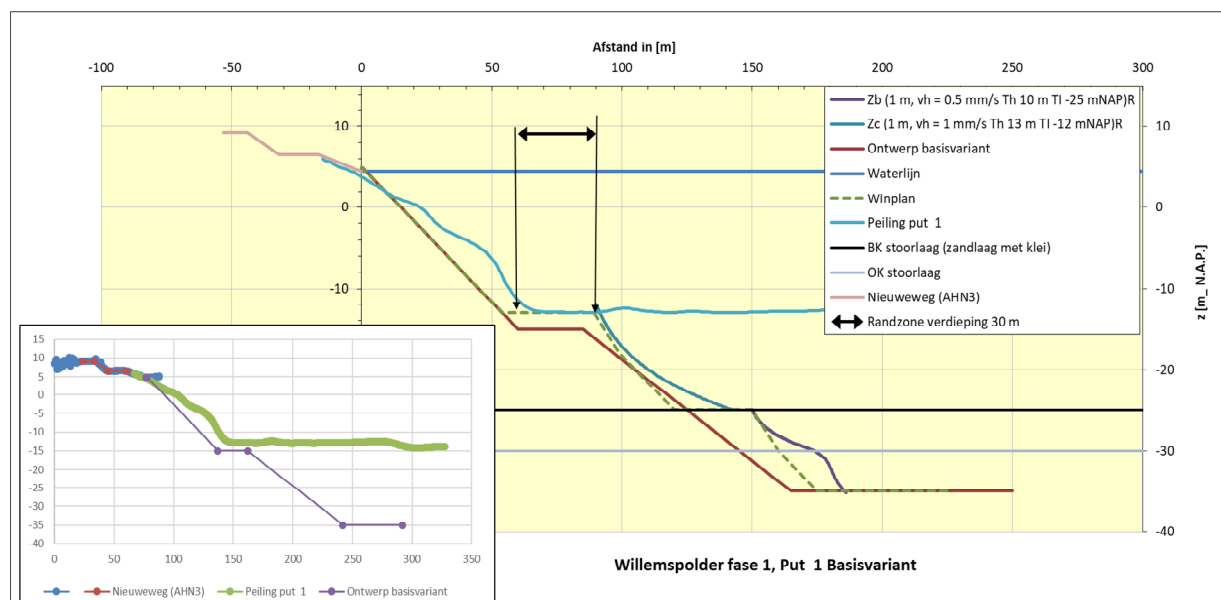
Voor zowel de basisvariant als de voorkeursvariant wordt ervan uitgegaan dat een winplan wordt toegepast waarin wordt aangegeven hoe men rekening houdt met het fenomeen meewerkend bressen.

Aan de oostzijde van put 1 ligt de Nieuweweg op ca. 35 m afstand van de insteek van de put (blauwe lijn in figuur 2-7). Aan de noord-oostzijde van put 1 ligt bebouwing op ca. 100 m uit de insteek van de put (rode cirkel in figuur 2-7). Aan de zuidzijde tussen put 1 en put 2 ligt bebouwing op ca. 150 m uit de insteek van de putten (rode cirkel in figuur 2-7). Hieruit blijkt dat alleen de Nieuweweg binnen de randzone van put 1 ligt wanneer ervan uit wordt gegaan dat de waterlijn op NAP-4,8 m als de insteek van zandwinning wordt gedefinieerd.

Volgens de CUR Aanbeveling 113 mag de verdieping als een aparte put worden beschouwd wanneer in een winplan een voldoende brede berm wordt aangehouden en dat het boventalud is afgewerkt. De twee taluds (boven en onder de berm) kunnen dan in feite los worden beschouwd. Aangezien ter plaatse van het talud boven de berm niet meer gezogen wordt is de kans op bresvloeiing boven het niveau van de berm vanaf dit moment zeer klein. De kans op een bresvloeiing op het niveau van de verdieping is echter wel aanzienlijk groter. Als hier een bresvloeiing optreedt is het belangrijk dat de inscharing van deze bres niet verder reikt dan het snijpunt van de berm met het talud boven de berm. Wanneer een winplan wordt gehanteerd zoals in dit rapport is omschreven waarbij gebruik wordt gemaakt van een werktalud om het meewerkend bressen te voorkomen, mag volgens de CUR 113 Aanbeveling voor de basisvariant worden volstaan met een randzone van 30 m gerekend op de huidige waterbodem (figuur 5-9). In dat geval ligt de Nieuweweg buiten de randzone van de verdieping.

Voor de voorkeursvariant geldt eenzelfde aanpak. Ook hier mag de verdieping als een aparte zandwinning worden beschouwd als in het een winplan voor profielzuigen wordt aangegeven dat men bermen opneemt om het meewerkend bressen tegen te gaan bij het laagsgewijs aanzuigen van het vergunningstalud. In figuur 5-8 is hier een voorbeeld van gegeven. Ook hier mag dan volgens de CUR 113 Aanbeveling voor de voorkeursvariant worden volstaan met een randzone van 30 m gerekend op de huidige waterbodem.

Opgemerkt dient te worden dat als men besluit om het zand (restspecie) uit put 1 te baggeren met een graafwielzuiger en een snedeplan wordt gehanteerd waarbij het zand halend wordt gebaggerd, zodat bresvloeiing niet relevant is dan kan onzes inziens de randzone rondom put 1 worden verkleind naar $\frac{1}{2}$ maal de putdiepte (25m gerekend vanaf de oever van de zandwinput). In dat geval liggen alle permanente belendingen buiten de randzone van de put.



Figuur 5-9 Voorbeeld randzone behorende bij winplan put 1 basisvariant

6. STABILITEIT HERINRICHTING

Gedeeltes van de zandwinputten worden na de winning aangevuld ten behoeve van natuur en recreatie. Lokaal wordt de put daardoor ondieper en de taluds flauwer. Plaatselijk wordt in de voorziene plas weer land aangelegd. Volgens opgave van de opdrachtgever wordt aangevuld met voornamelijk zandig materiaal. Het is echter nog niet bekend wat de eigenschappen (zoals korrelgrootteverdeling) van deze grond zijn en wat de uitvoeringswijze van deze aanvulling is.

Normaal gesproken kunnen door het los storten van zand onder water taludhelling van ca. 1:4 tot 1:7 worden gerealiseerd. Door de opdrachtgever is voorzien om taludhellingen 1:4 toe te passen. Om deze taludhelling onder water te kunnen realiseren zal eerst kaden onder water worden aangebracht van (grof) materiaal wat civieltechnische een stabiel talud oplevert. Het principe ontwerp van de herinrichting bestaat uit het opbouwen van perskaden uit voldoende grof materiaal, zodat een taludhelling 1:4 gerealiseerd kan worden. Hierachter wordt het gebied met fijner zand aangevuld.

Eisen met betrekking tot het aanvulmateriaal i.c.m. de uitvoeringsmethode worden in een later stadium nader uitgewerkt. Afhankelijk van de uitvoeringswijze kan bij het aanvullen ook een afschuiving of vloeijing worden geïnitieerd van het natuurlijke materiaal. Ook deze effecten zullen in een later stadium worden beschouwd te worden.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Voor de zandwinputten in de Willemspolder zijn de ontwerptaludhelling en randzone bepaald op basis van eenvoudige en gedetailleerde analyses volgens [CUR113].

7.1 Omvang grondonderzoek

Uit een beoordeling van de omvang van het beschikbare grondonderzoek inclusief het aanvullend grondonderzoek blijkt dat er voldoende onderzoek beschikbaar is.

7.2 Ontwerptalud

Op basis van de uitgevoerde analyses blijkt dat een zandwinontwerptalud met een helling van 1 op 3 statisch voldoende stabiel is.

Bresvloeiing is maatgevend voor de exploitatie van de zandwinning. Dit betekent dat bij het realiseren van een statische stabiel zandwinontwerptalud met een helling van 1 op 3 door middel van een profielzuiger onzes inziens een winplan noodzakelijk is. In dit winplan dient een werktalud te worden opgenomen waarin wordt aangegeven hoe een ontwerptalud kan worden gerealiseerd rekening houdend met de kans op onbeheerst bressen. In dit rapport zijn op basis van HMBreach analyses voor de genoemde zandwinputten 2 en 3 een werktalud (ook wel snede plan) ontwikkeld, die als een eerste aanzet kan worden beschouwd:

- Talud 1:3 tussen NAP +5m en NAP -10m.
- Berm met een breedte van 15m op NAP -10m.
- Talud 1:3 tussen NAP -10m en NAP -20m.

Op basis van HMBreach analyses voor put 1 wordt geconcludeerd dat een verdieping van de voormalige zandwinning van Waterbodemp (NAP-13 m) tot NAP -35 m of tot NAP -45 m mogelijk moet zijn waarbij het zand laagsgewijs in lagen van circa 5 à 8 m kan worden gebaggerd. Ook hier geldt dat een winplan met daarin opgenomen een werktalud (lees snedeplan) essentieel is. Afhankelijk van het gekozen baggermateriaal dient voorafgaand aan de zandwinning een winplan te worden opgesteld.

Een andere mogelijkheid is om te ontzanden door materieel in te zetten waarbij niet gebrest wordt en bresvloeiing niet meer relevant is. In dat geval kan het ontwerptalud van 1v:3h door ontgraving voldoende veilig gerealiseerd worden. Hierbij is ook een combinatie van winmethoden mogelijk, waarbij eerst met een winzuiger zand gewonnen wordt in het midden van de put en vervolgens de taluds worden afgewerkt met geschikt materieel. Dit kan verder worden uitgewerkt in een winplan.

7.3 Randzone

Voor de bepaling van de randzone blijkt bresvloeiing maatgevend. Op basis van een eenvoudige risicoanalyse (vuistregel) bedraagt de randzone voor put 2 en 3 50 m en de randzone voor put 1 100 m. Hierbij is de randzone gedefinieerd als een landzone gerekend vanaf de waterlijn (NAP +4,8 m) van de zandwinput. Aan de oostzijde van put 1 ligt de Nieuweweg die op basis van een eenvoudige vuistregel binnen de randzone bevindt. Aanvullende bresberekeningen hebben aangetoond dat door het toepassen van een winplan meewerkende bressen van het bestaande talud kan worden voorkomen zodat er een voldoende veilige afstand wordt gecreëerd tussen de zandwinning (verdieping) en de nieuwe weg.

De afstand tussen de insteek van put 2 en de teen van de primaire kering bedraagt ca. 90 m. Voor put 1 bedraagt deze afstand ca. 150 m. In beide gevallen ligt de primaire waterkering dus buiten de randzone conform [CUR113]. Voor put 2 geldt dat de insteek van de zandwinning binnen invloedslin van de waterkering ligt. Hiertoe is inmiddels contact gelegd met het waterschap. In een apart rapport [viii] is het effect van de ontgraving op de waterkering expliciet beschouwd en zal na overleg met het waterschap als bijlage worden toegevoegd.

Indien gekozen wordt om het zand niet bressend te winnen, wordt geadviseerd om een minimale randzone van $\frac{1}{2}$ keer der putdiepte te hanteren. Dit is in het geval van put 1 een breedte van 25m. In dat geval liggen alle permanente belendingen buiten de randzone van de put.

7.4 Stabiliteit herinrichting

In de toekomst zal de plas weer deels worden aangevuld met grond ten behoeve van natuur en recreatie. Voor de herinrichting zijn taluds 1:4 voorzien. Om deze taludhelling onder water te kunnen realiseren zijn eisen aan het aanvulmateriaal en uitvoeringswijze noodzakelijk.

Het principe ontwerp bestaat uit het opbouwen van perskaden uit voldoende grof materiaal, zodat een taludhelling 1:4 gerealiseerd kan worden. Hierachter wordt met fijner zand aangevuld. Deze wijze van herinrichten is een vrij gangbare manier van werken.

De eisen aan het aanvulmateriaal i.c.m. met ontwerp en uitvoeringsmethode worden in een later stadium nader uitgewerkt.

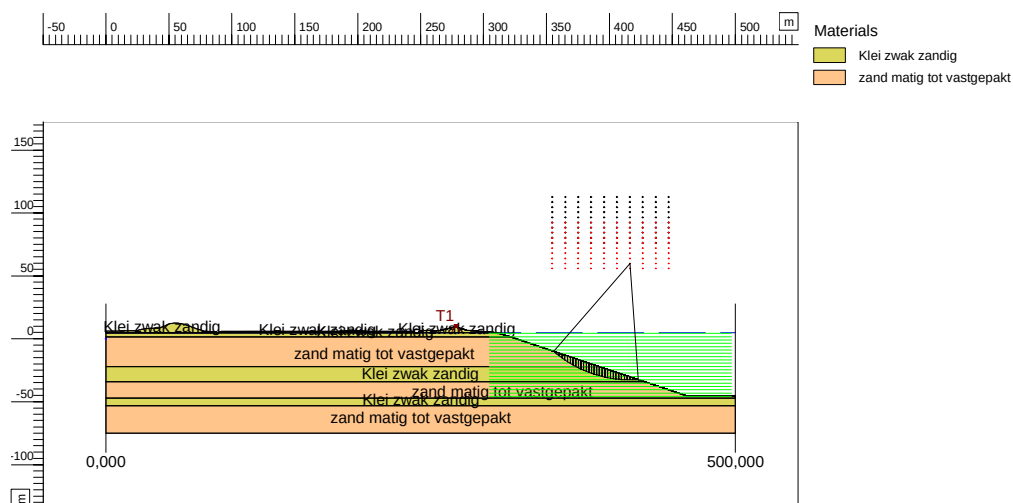
BIJLAGEN

OEVERSTABILITEIT ZANDWINPUTTEN WILLEMSPOLDER

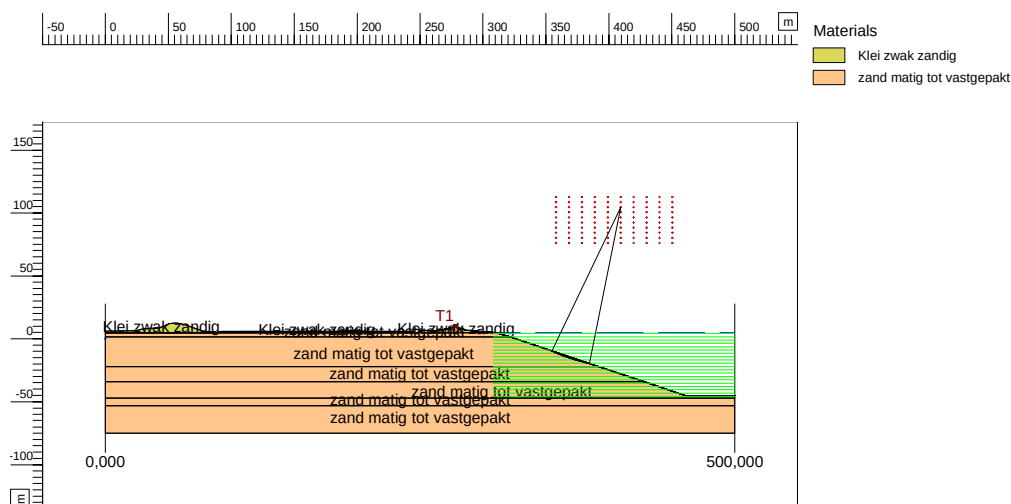
1. BIJLAGE 1: STABILITEITSANALYSES

Dagelijkse situatie + aardbeving

Critical Circle Bishop

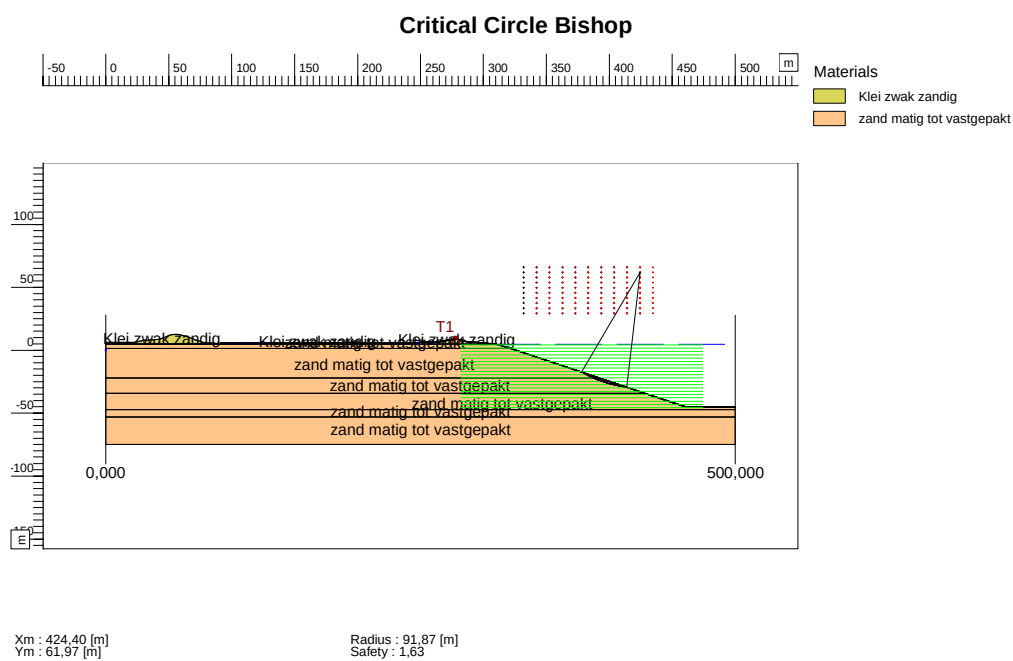
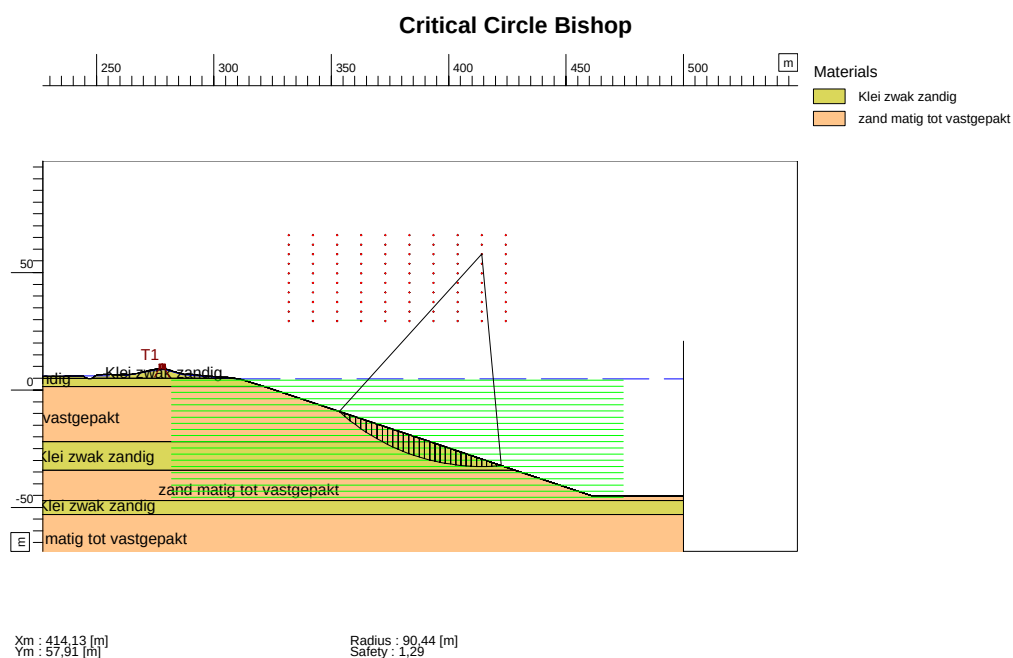


Critical Circle Bishop



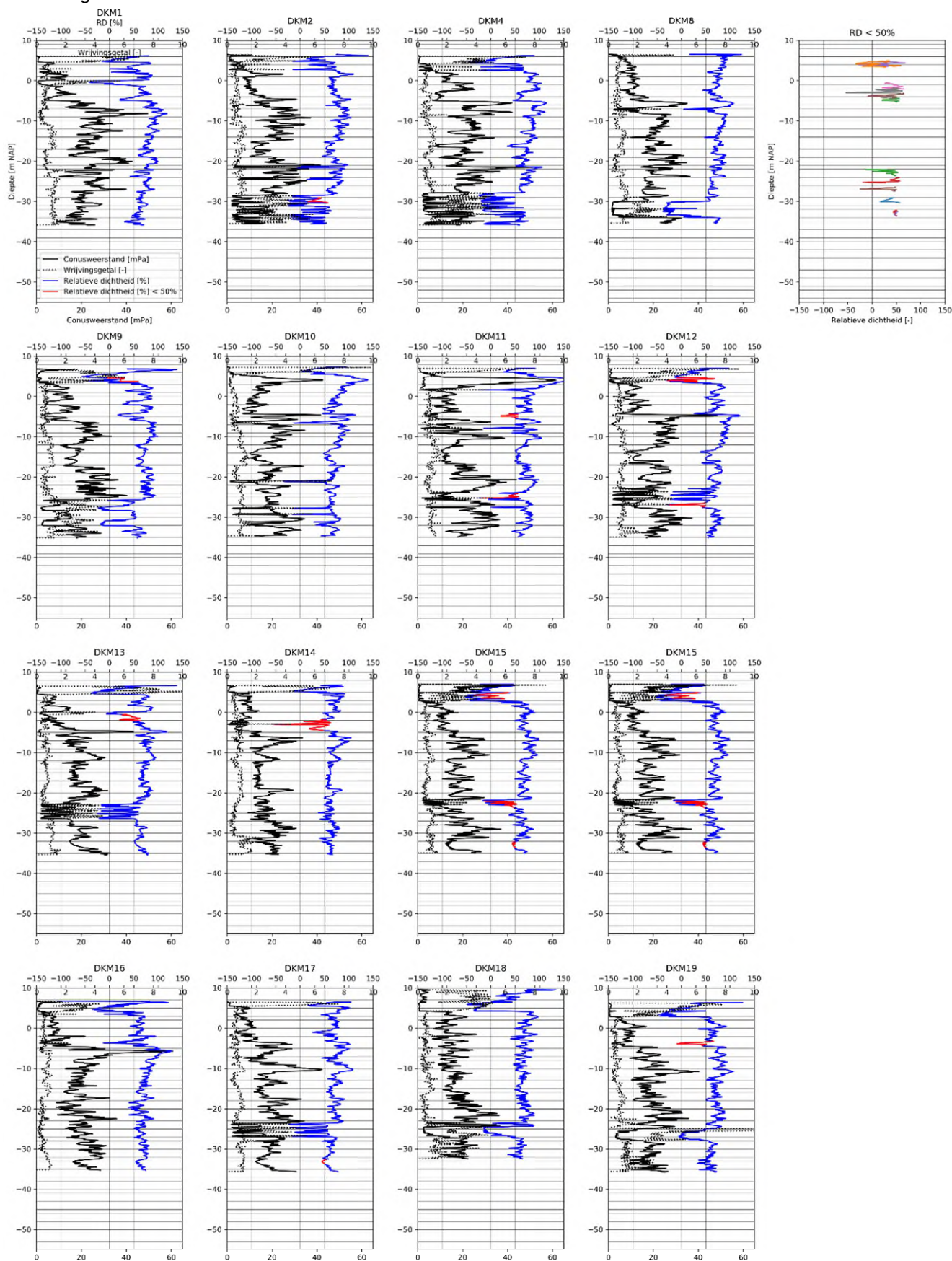
OEVERSTABILITEIT ZANDWINPUTTEN WILLEMSPOOLDER

Val na hoogwater



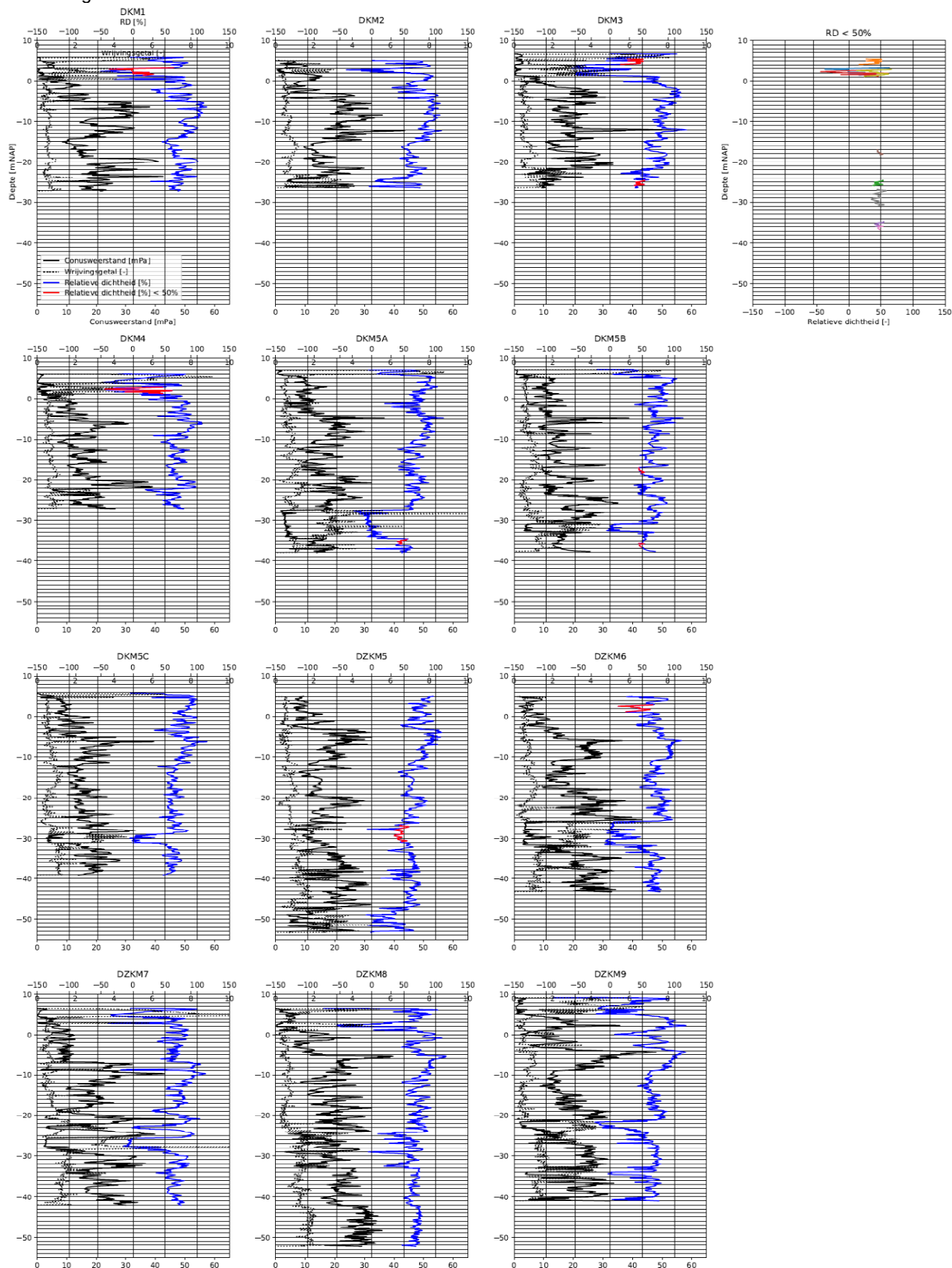
2. BIJLAGE 2: RELATIEVE DICHTHEID PER SONDERING

Sonderingen 1217-0056



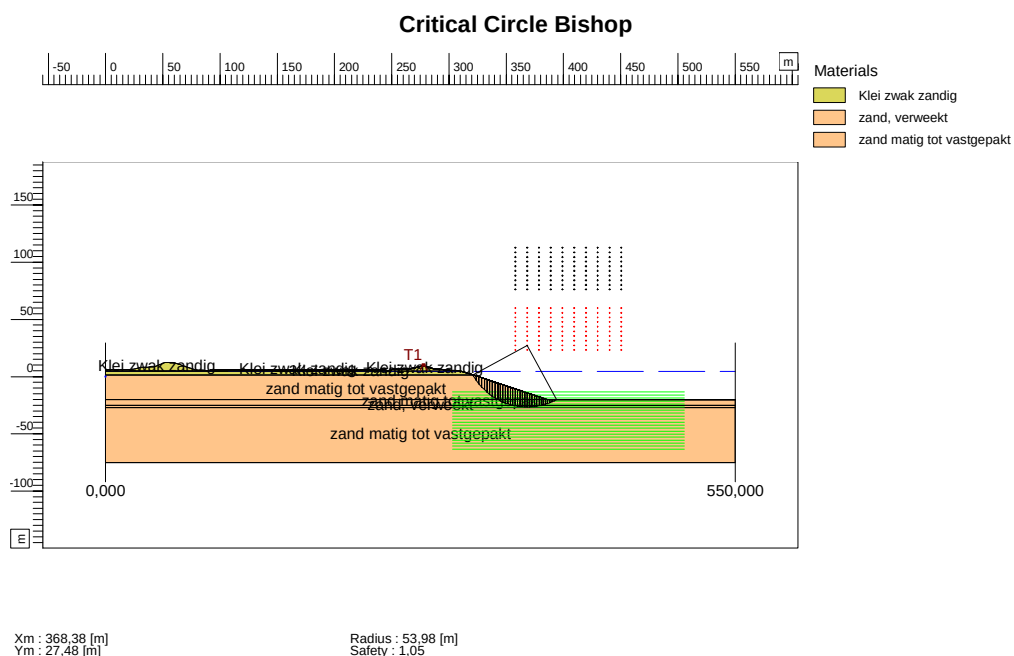
OEVERSTABILITEIT ZANDWINPUTTEN WILLEMSPOOLDER

Sonderingen 6004-0342

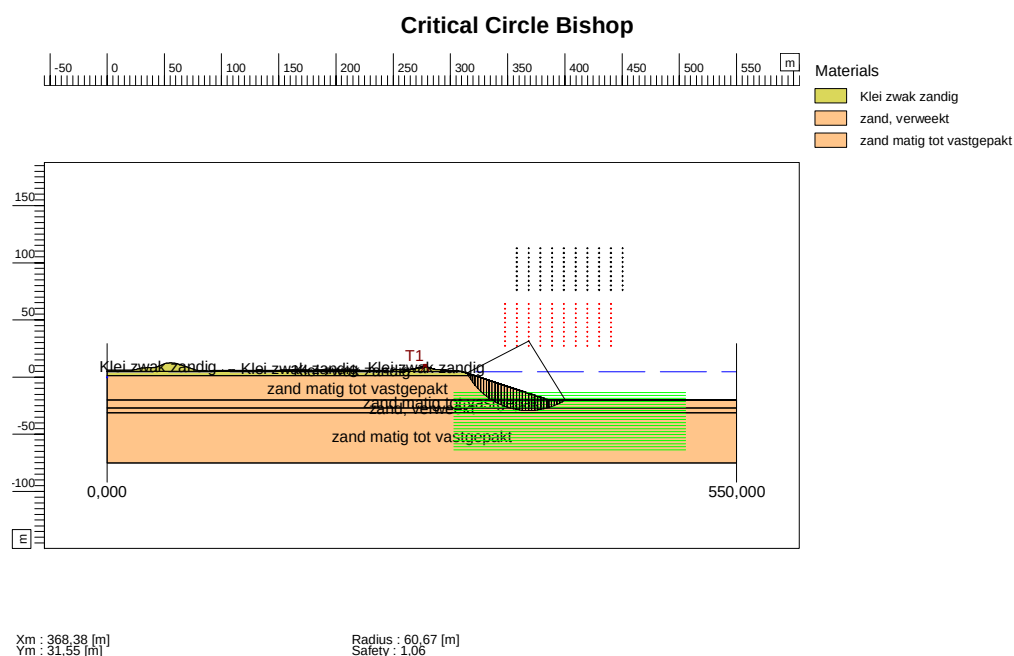


3. BIJLAGE 3: STABILITEITSANALYSES VERWEKING

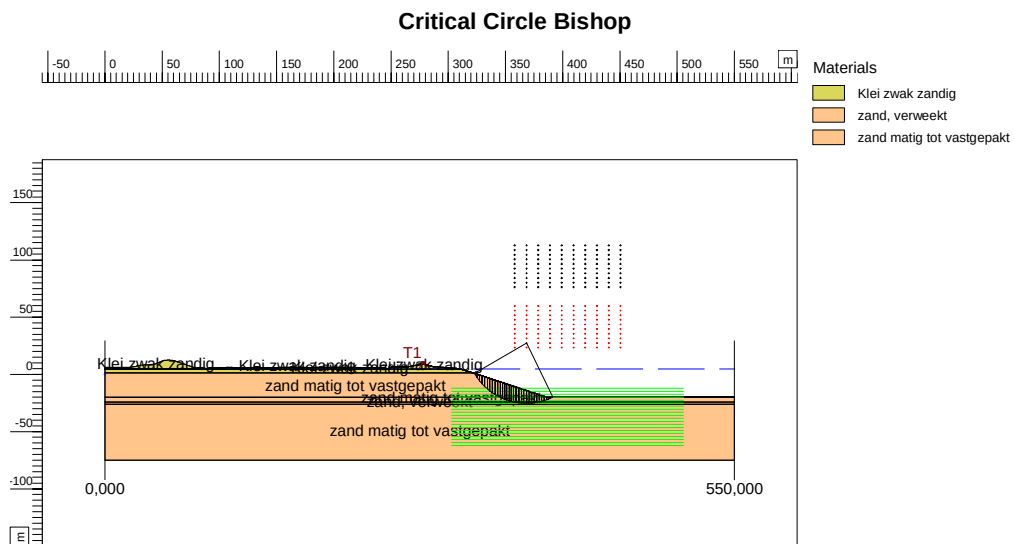
Resultaat stabiliteitsanalyse met verweekte sterkte *DKM3*



Resultaat stabiliteitsanalyse met verweekte sterkte *DZKM5*

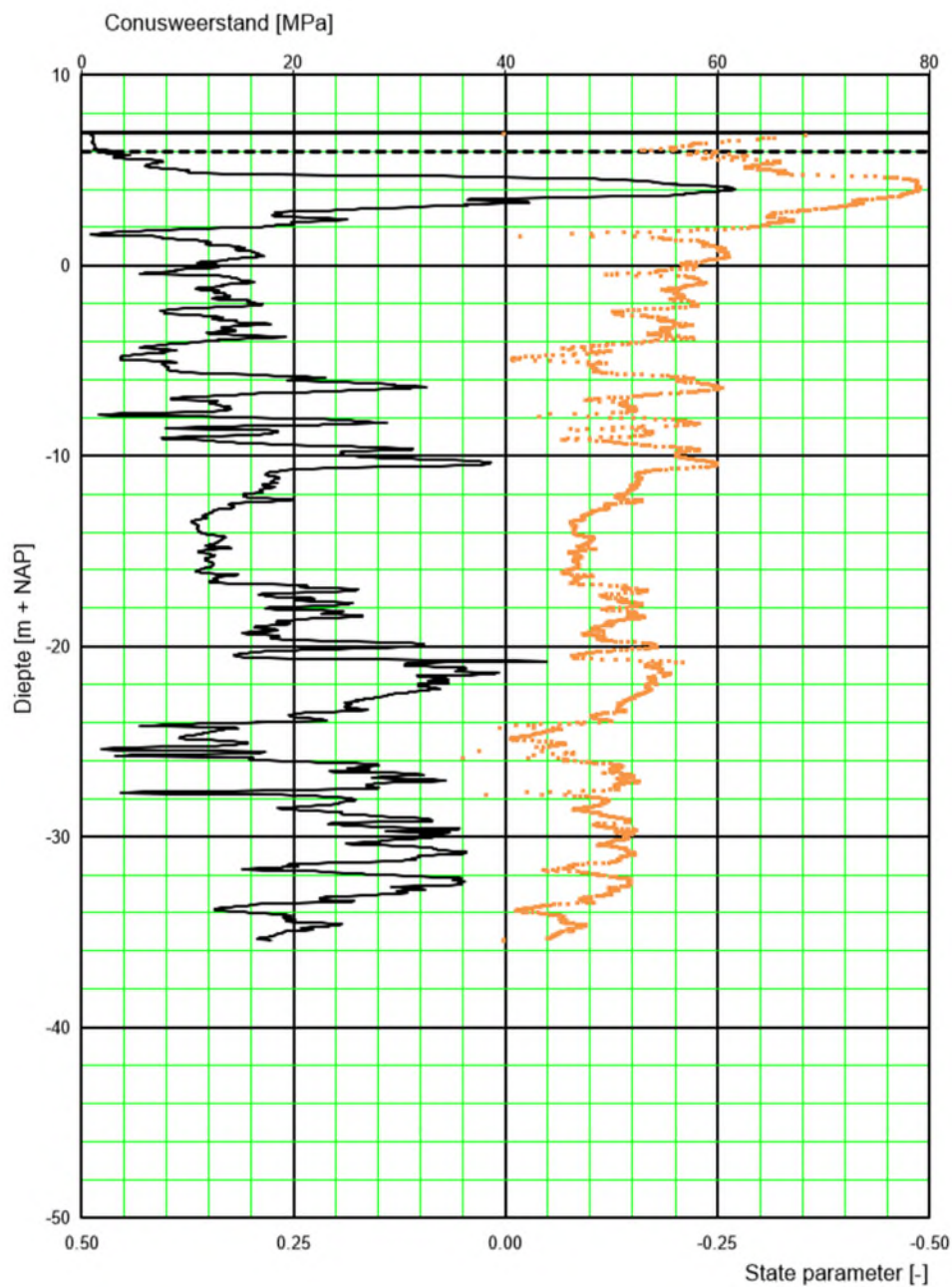


Resultaat stabiliteitsanalyse met verweekte sterkte DKM11

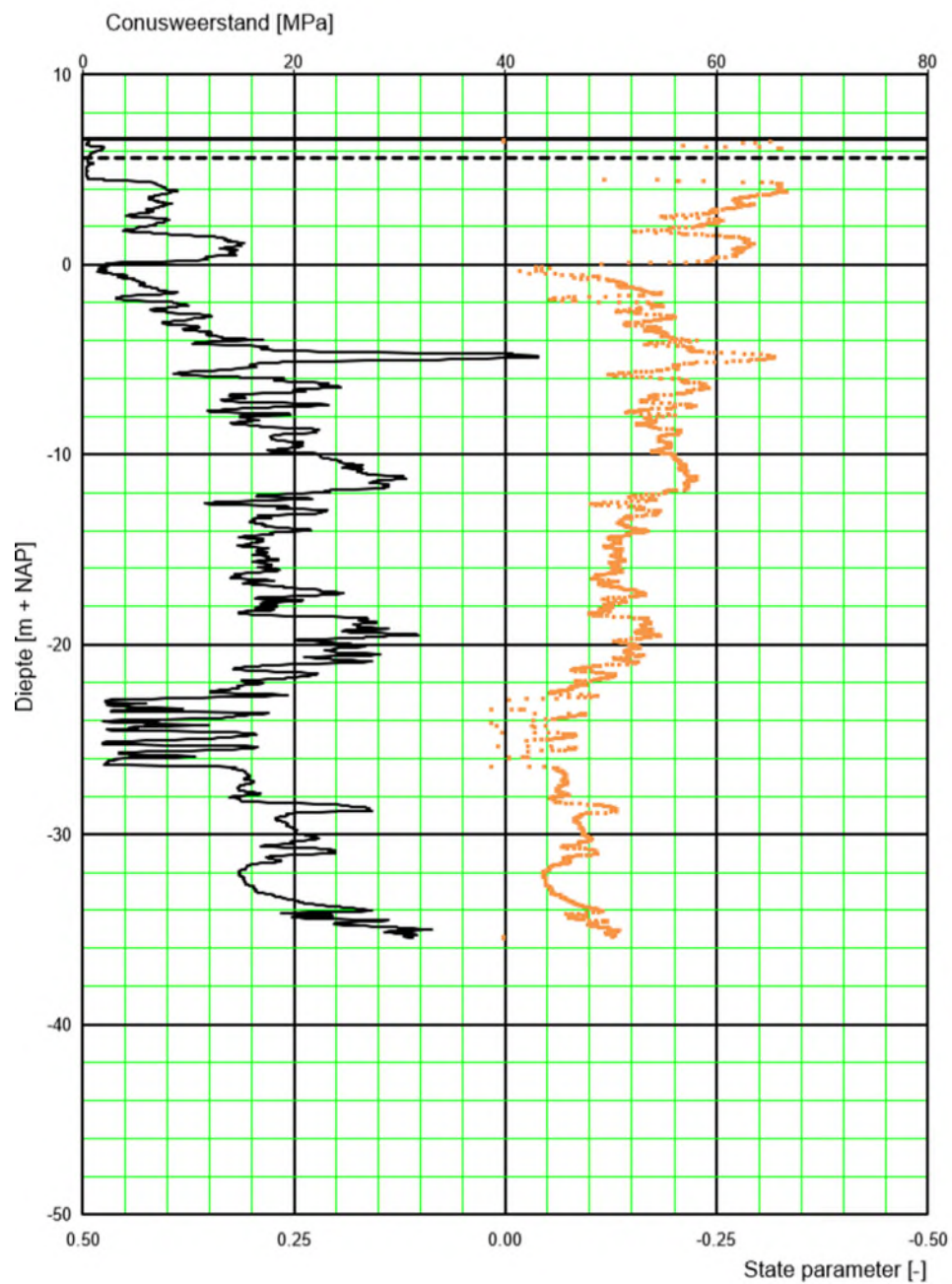


4. BIJLAGE 4: STATE PARAMETER

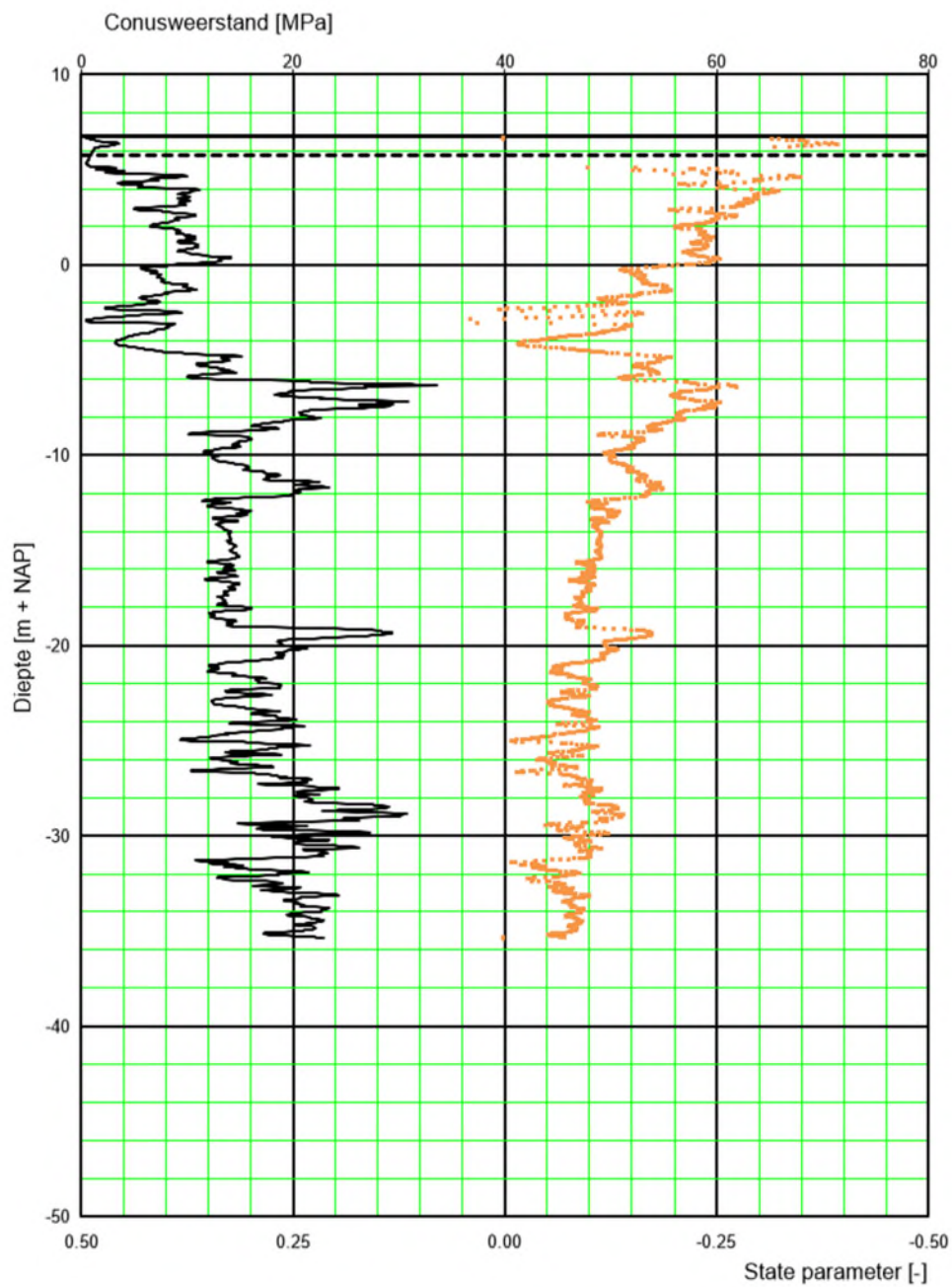
State parameter bepaling DKM11



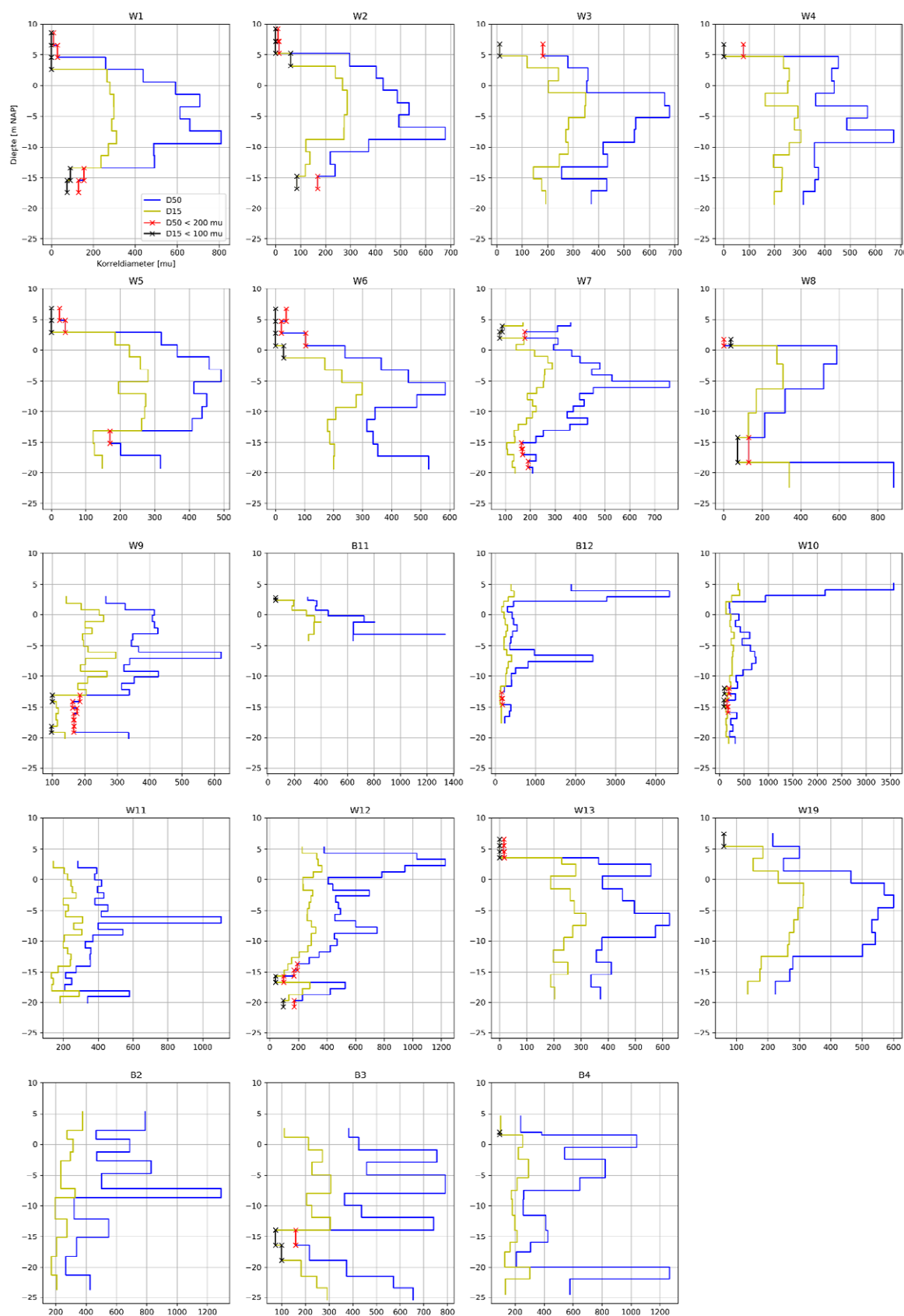
State parameter bepaling DKM13



State parameter bepaling DKM14



5. BIJLAGE 5: D50 EN D15 PER BORING



6. BIJLAGE 6: D50 EN D15 PER PUT

