

**MARKERWADDEN
GEOTECHNISCH UITVOERINGSONTWERP
ZETTING- EN STABILITEITBEREKENINGEN**

BOSKALIS

RAPPORTNR: 13084-04-R02-2-PTUR

14 Maart 2016
Definitief



Inhoud

1	Inleiding	5
2	Documenten (input)	6
3	Uitgangspunten	7
3.1	Doel van de zettingberekeningen.....	7
3.2	Doel van de geotechnische stabiliteitsberekeningen.....	7
3.3	Bruto-, netto zanddikte en gebaggerd holoceen materiaal.....	8
3.4	Terminologie.....	8
3.5	Eindprofiel/Garantieperiode.....	8
3.6	Bouwtijd.....	9
3.7	Grondopbouw Zettingsberekeningen.....	9
3.7.1	Grondopbouw sondering DKM 24.....	11
3.7.2	Grondopbouw Sondering DKM 33.....	11
3.7.3	Grondopbouw sondering DKM 36.....	11
3.7.4	Grondopbouw Sondering DKM 35.....	12
3.7.5	Grondopbouw sondering DKM 13.....	12
3.7.6	Grondopbouw sondering DKM 37.....	13
3.7.7	Grondopbouw sondering DKM 31.....	13
3.8	Grondparameters.....	14
4	Resultaten Zettingsberekeningen	15
4.1	inleiding.....	15
4.2	Doel zettingberekeningen.....	15
4.3	Proces zettingberekeningen.....	15
4.4	Resultaten zettingberekeningen.....	16
4.4.1	Zetting t.p.v. sondering DKM24.....	16
4.4.2	zetting t.p.v. sondering DKM 33.....	17
4.4.3	zetting t.p.v. sondering DKM36.....	18
4.4.4	Zetting Ter plaatse van sondering DKM35.....	19
4.4.5	zetting ter plaatse van sondering DKM13.....	20
4.4.6	Zetting ter plaatse van sondering DKM37.....	21
4.4.7	Zetting ter plaatse van sondering DKM31.....	22
4.5	Bruto-/Nettoverhouding zand en gebaggerd holoceen.....	23
4.5.1	H_{bruto}/H_{netto} verhouding HT1 (Moeras) en HT2.....	24
4.5.2	H_{bruto}/H_{netto} verhouding RA2; HT1 (Luwtedammen); IE3; IE1.....	24
4.5.3	H_{bruto}/H_{netto} verhouding RA1; IE2.1; IE6.....	25
4.5.4	H_{bruto}/H_{netto} verhouding HT1 (Beheer- en wandelpaden).....	26
5	Stabiliteit Algemeen	27
5.1	Inleiding.....	27
5.2	Veiligheidsfilosofie.....	27
5.3	Proces.....	27
5.4	beperkingen.....	28

6	Stabiliteit Harde Rand	29
6.1	Inleiding.....	29
6.2	Uitgangspunten	29
6.2.1	Geometrie harde rand	29
6.2.2	Belasting.....	30
6.3	Resultaten stabiliteit Harde Rand.....	30
6.3.1	Fase 1	30
6.3.2	Fase 2	31
6.3.3	Fase 3	33
6.4	uitvoeringsadvies	33
6.4.1	Inleiding	33
6.4.2	Fasering.....	34
6.4.3	Uitvoeringseisen	35
7	Stabiliteit Havendammen	36
7.1	Inleiding.....	36
7.2	Uitgangspunten	36
7.2.1	Grondopbouw.....	36
7.2.2	Fasering.....	37
7.2.3	Geometrie.....	37
7.2.4	Belasting.....	37
7.3	Resultaten stabiliteit Havendammen.....	37
7.3.1	Fase 1 Initieel aanlegprofiel	37
7.3.2	Fase 2: Taluds Profileren en kruin construeren	38
7.4	Uitvoeringsadvies.....	39
7.4.1	Inleiding	39
7.4.2	Fasering.....	40
7.4.3	Uitvoeringseisen	40
8	Stabiliteit Compartimenteringsdammen.....	41
8.1	Inleiding.....	41
8.2	Uitgangspunten	41
8.2.1	Grondopbouw.....	41
8.2.2	Fasering.....	41
8.2.3	Geometrie.....	42
8.2.4	Belasting.....	42
8.3	Resultaten stabiliteit Compartimenteringsdammen	42
8.3.1	Fase 1, opzetten onderwater zavel dammen	42
8.3.2	Fase 2, Vullen compartiment tot N.A.P. -2 meter	43
8.3.3	Fase 3, aanbrengen Compartimenteringsdam	44
8.3.4	Fase 4: vullen compartiment tot N.A.P. + 2 meter	45
8.3.5	Fase 5: Profileren Compartimenteringsdam.....	46
8.4	uitvoeringsadvies	47
8.4.1	inleiding	47
8.4.2	fasering.....	48
8.4.3	uitvoeringseisen	48
9	Nauwkeurigheid Berekeningen.....	49
9.1	Zettingberekeningen	49

9.2	stabiliteitberekeningen.....	49
Bijlage 1	DKM 24.....	50
Bijlage 2	DKM33.....	51
Bijlage 3	DKM 36.....	52
Bijlage 4	DKM34.....	54
Bijlage 5	DKM13.....	55
Bijlage 6	DKM37.....	56
Bijlage 7	DKM31.....	57

1 Inleiding

In deze rapportage worden de uitgangspunten en resultaten van zettings- en stabiliteitsberekeningen t.b.v. het schetsontwerp van het project Markerwadden gepresenteerd.

De gepresenteerde resultaten zijn de uitkomst van een 6- tal zettingsberekeningen en zijn bedoeld om indruk te geven m.b.t. de geotechnische aspecten van het ontwerp van het eiland vulmateriaal en hun buitencontour. Tevens zijn stabiliteitsberekeningen ter plaatse van de harde rand, havendammen en compartimenteringsdammen uitgevoerd. De zetting- en stabiliteitsberekeningen zijn van toepassing op de objecten in Tabel 1.

Objectcode	Object
HT1	Moeras
HT2	Beschutte Oeverzone
RA2	Zachte Rand
HT1	Compartimenteringsdammen (Luwtedammen)
IE3	Recreatiestrand
IE1	Zandplateau
HT1	Compartimenteringsdammen (beheer- en wandelpaden)
RA1	Harde Rand
IE2.1	Havendammen
IE6	Loswal

Tabel 1 Objecten

Opgemerkt wordt dat er geen aparte objectcode geldt voor de Luwtedammen en de beheer- en wandelpaden. Beiden hebben de objectcode HT1.

2 Documenten (input)

1. Fugro, Geotechnisch Veldwerk onderzoek Marker Wadden, 1013-0294-000, 17 december 2013;
2. Ontwerpbasis Geotechniek, MIAS: 528-12492, 13084-01-R01-0-PTUR, Hydronamic, 26-03-2015;
3. Laagdikte holocene kleilagen Interpretatie aangeleverd gegevens Fugro. Tekeningnummer 52812492-X-0014. Revisie 0a van 15-01-2015;
4. Laagdiepte holocene kleilagen Interpretatie aangeleverd gegevens Fugro. Tekeningnummer 52812492-X-0022. Revisie 0a van 15-01-2015;
5. Locaties grondonderzoek Fugro + aanvullende onderzoek. Tekeningnummer 52812492-X-0001. Revisie 0a van 15-01-2015;
6. Contract Planning Markerwadden, Boskalis Nederland BV., 31 september 2015;
7. Tekening Markerwadden Principeprofielen. Tekeningnummer 52812492-D-0303 van 13-04-2015;
8. Tekening Markerwadden onderdeel Harde Rand dwarsprofielen. Tekeningnummer 52812492-TEK-UO-0004, revisie 4, d.d. 20-11-2015;
9. Tekening Markerwadden onderdeel havendammen. Tekeningnummer 52812492-0005, revisie UO-0005, revisie 0.2, overzicht havendammen, d.d. 18-01-2016;
10. DO 1 op 500 profielen, 007-1523-MAR, revisie 0.4, 18 januari 2016;
11. Landschappelijke Kwaliteit Vogelparadijs -EMVI 2, Boskalis Nederland BV., 29 mei 2015;

3

Uitgangspunten

Onderstaand hoofdstuk betreft de geotechnisch uitgangspunten t.a.v. de zettings- en stabiliteitsberekeningen van de Markerwadden.

- Globale bodemligging N.A.P. -4.5 meter;
- Zomerpeil N.A.P. -0.20 m; Winterpeil N.A.P. -0.40 m.

Zettings- en stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd bij het Zomerpeil van N.A.P. -0.20 m.

3.1 DOEL VAN DE ZETTINGBEREKENINGEN

Het doel van de zettingberekeningen is om doormiddel van een geografisch dekkend grid aan berekeningen een algemene verhouding bruto-/netto zanddikte cq. bruto-/netto dikte gebaggerd holoceen materiaal te bepalen ten behoeve van de volumeberekening. De resultaten van de zettingberekeningen dienen tevens als input voor het bepalen van de initieel benodigde aanlegniveaus om het benodigde eindprofiel te garanderen over een periode van 15 maanden, 10 jaar respectievelijk 50 jaar na oplevering. Het moment waarop het eindprofiel moet zijn gerealiseerd is afhankelijk van het beschouwde object. Voor een overzicht van de momenten waarop het eindprofiel moet zijn gegarandeerd per object wordt verwezen naar paragraaf 3.5.

Voor de definitie van de bruto en netto zanddikte cq. Gebaggerd holoceendikte wordt verwezen naar 3.4.

3.2 DOEL VAN DE GEOTECHNISCHE STABILITEITSBEREKENINGEN

Het doel van de geotechnische stabiliteitsberekeningen is om een stabiele geometrie te bepalen voor de volgende profielen:

- Harde rand (RA1);
- Havendammen (IE2.1);
- Compartimenteringsdammen (HT1);

De geotechnische stabiliteit voor de Harde rand en de Havendammen is van belang omdat deze profielen worden afgedekt met een steenbekleding. De geotechnische stabiliteit van de compartimenteringsdammen is belangrijk omdat een van de functies het bijhouden van de eilandvulling is. Instabiliteit van deze profielen heeft een negatieve impact op voortgang- en faalkosten van het project.

3.3 BRUTO-, NETTO ZANDDIKTE EN GEBAGGERD HOLOCEEN MATERIAAL

In deze paragraaf wordt voor het gemak gesproken over zanddikte, hiervoor kan ook dikte van het gebaggerd holocene materiaal worden gelezen. De zanddikte is van toepassing op de buitencontour en compartimenteringsdammen van de eilanden en de dikte van gebaggerd holocene materiaal is van toepassing op de eilandvulling. Met de dikte wordt hier de dikte na uitlevering bedoeld.

Voor het project Markerwadden moeten de objecten op een moment in tijd (zie paragraaf 3.5) voldoen aan het eindbeeld ook wel theoretisch profiel genoemd. Om dit eindbeeld te garanderen dient de zetting die optreedt vanaf start ophogen tot het specifieke moment (opleveren+15 maanden; +10 jaar; +50 jaar) te worden gecompenseerd. In deze context gelden de definities uit paragraaf 3.4.

3.4 TERMINOLOGIE

Onderstaand wordt de definitie gegeven van een aantal regelmatig gebruikte termen in relatie tot het geotechnisch ontwerp:

Netto zanddikte ($H_{\text{netto}} [m]$) = Kruinhoogte eindbeeld $[m]$ + N.A.P. – Bodemniveau $[m]$ + N.A.P.

Bruto zanddikte ($H_{\text{bruto}} [m]$) = Netto zanddikte $[m]$ + Zettingcompensatie $[m]$

Zettingcompensatie $[m]$ = Zetting die optreedt vanaf start ophogen tot einde garantieperiode

Garantieperiode = Moment waarop nog minimaal het eindprofiel aanwezig moet zijn

3.5 EINDPROFIEL/GARANTIEPERIODE

Het moment waarop het eindprofiel moet zijn gegarandeerd is afhankelijk van het beschouwde object. Zie Tabel 2 voor de gehanteerde periode waarover minimaal het eindprofiel moet zijn gegarandeerd, per object.

Objectcode	Object	Periode
HT1	Moeras	Opleveren+15 maanden
HT2	Beschutte Oeverzone	Opleveren+15 maanden
RA2	Zachte Rand	Opleveren+15 maanden
HT1	Compartimenteringsdammen (Luwtedammen)	Opleveren+15 maanden
IE3	Recreatiestrand	Opleveren+15 maanden
IE1	Zandplateau	Opleveren+15 maanden ^{*1}
HT1	Compartimenteringsdammen (beheer- en wandelpaden)	Opleveren+10 jaar
RA1	Harde Rand	Opleveren+50 jaar
IE2.1	Havendammen	Opleveren+50 jaar
IE6	Loswal	Opleveren+50 jaar
*1 Het zandplateau voldoet 50 jaar na opleveren aan het minimale niveau N.A.P. +1.30 m		
*1 De restzetting na 15 maanden is verdisconteerd in het theoretisch profiel		

Tabel 2 Moment waarop minimaal het theoretisch eindprofiel moet zijn gegarandeerd per object

3.6 BOUWTIJD

Totaal beschikbare bouwtijd is 3 jaar. Voor de zettingsberekeningen is er vanuit gegaan van de volgende planning [6].

Fasen	stap 1 - start	stap 1 - eind	stap 2 - start	stap 2 - eind	stap 3 - start	stap 3 - eind	stap 4 - start	stap 4 - eind	oplevering	oplevering + 15 maanden
datum	05/05/2016	01/07/2016	04/08/2016	15/08/2016	16/10/2016	01/12/2016	26/04/2017	03/05/2017	31/12/2020	01/04/2022
dagen	0	57	91	102	164	210	356	363	1701	2157

Tabel 3 Planning vullen van eilanden

Slag 1 van het vulmateriaal wordt over 57 dagen aangebracht, na 34 dagen wordt slag 2 aangebracht (dag 91). Na een wachttijd van 73 dagen (inclusief ophooftijd) wordt slag 3 aangebracht (dag 164). De vierde en laatste slag wordt na een wachttijd van 92 dagen (op dag 356) aangebracht. Oplevering betreft 31 december 2020 of 1701 dagen na start ophoging.

fasen	stap 1 - start	stap 1 - eind	oplevering	oplevering + 15 maanden	oplevering + 30 jaar
datum	02/09/2016	02/10/2016	31/12/2020	01/04/2022	24/12/2050
dagen	0	30	1581	2037	12531

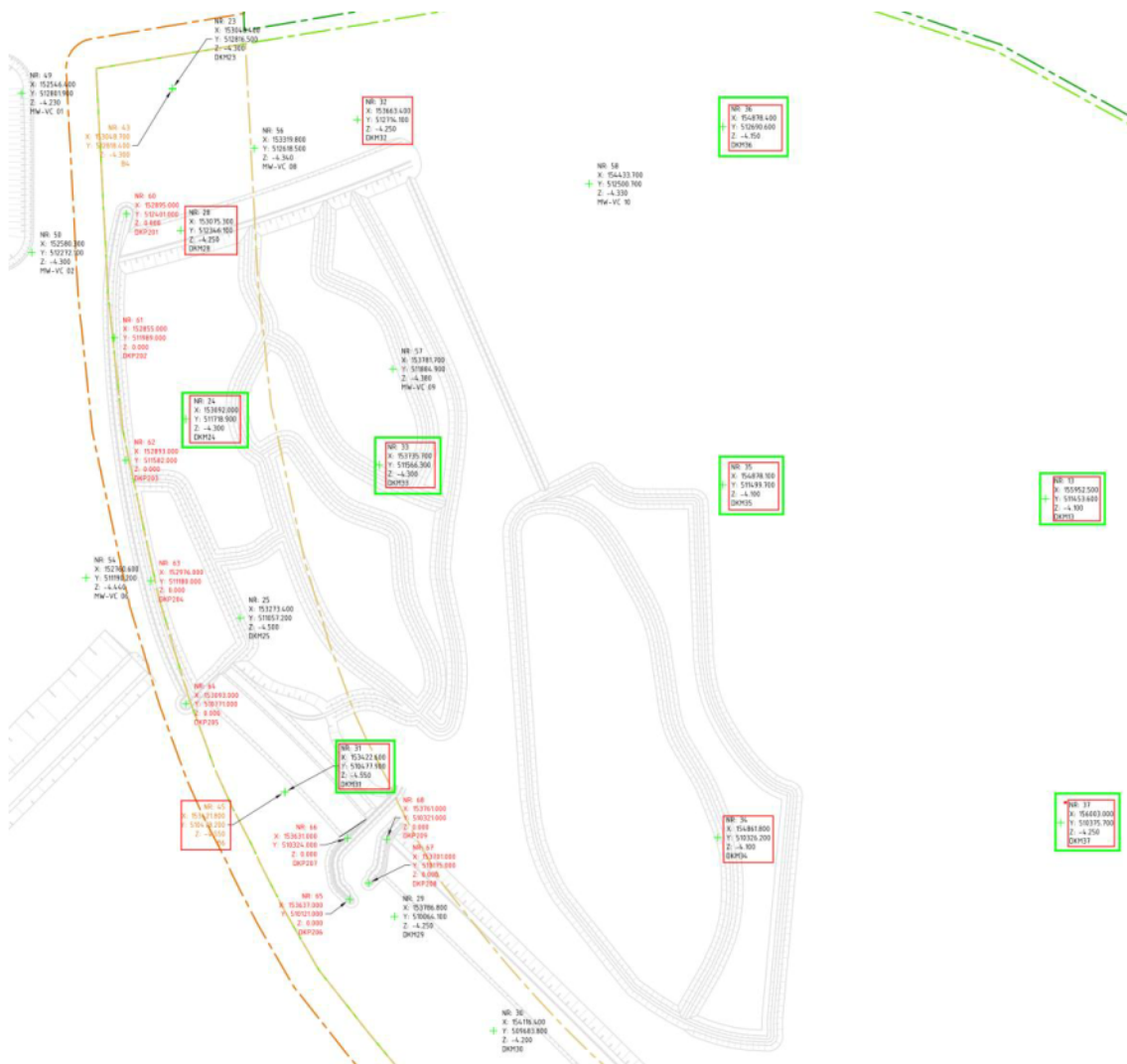
Tabel 4 Planning aanbreng randen met zandlichaam/zandranden

Ophoging van de zachte randen + harde rand eilanden wordt over 30 dagen aangebracht. Oplevering betreft 31 december 2020 of 1581 dagen na start ophoging van de randen.

Opmerking: Conform het zettingshandboek (Betrouwbaarheid van zettingsprognoses CROW 204) mag wachttijd vanaf halverwege ophoogwerkzaamheden worden berekend (vanaf slag 1: 57/2dagen of 28 dagen). Gezien de geringe invloed van 28 dagen op de zettingsprognose is er geen onderscheid gemaakt tussen startophoging en wachttijd.

3.7 GRONDOPBOUW ZETTINGSBEREKENINGEN

Voor de zettingsberekeningen zijn de sonderingen DKM13, DKM 24, DKM28, DKM32, DKM33, DKM34, DKM35, DKM36, DKM37, DKM38 en DKM31/Boring 6 beschouwd. Voor de in het voorgaande overzicht onderstreepte 7 sonderingen zijn zettingberekeningen uitgevoerd. De keuze voor de rekenprofielen is gebaseerd op representativiteit van de sonderingen met betrekking tot grondopbouw en de geografische ligging van de sonderingen t.o.v. het ontwerp van de vogeleilanden, rekening houdend met het doel van de zettingberekeningen. Zie voor de locatie van de beschouwde sonderingen en boring de rood omkaderde locaties in Figuur 1. De sonderingen waar een berekening voor is uitgevoerd zijn groen omkaderd.



Figuur 1 Locaties beschouwde sonderingen t.b.v. zettingsberekeningen (rood omkaderd)

De gehanteerde samendrukkings- en sterkte parameters voor de zetting- en stabiliteitsberekeningen worden gepresenteerd in de volgende paragraaf van deze rapportage. Voor de afleiding van grondparameters wordt verwezen naar document 2. De dikte van het Holocene grondpakket varieert van 7 meter tot lokaal 10.5 meter. Het holocene pakket bestaat over de bovenste 2 meter uit zandige klei gevolgd door een pakket met een dikte van 5 – 8.5 meter klei met af en toe een veenlaag. Opgemerkt wordt dat veen niet in alle sonderingen/boringen is vertegenwoordigd.

De geschematiseerde grondopbouw voor DKM13, DKM 24, DKM33, DKM35, DKM36, DKM37, DKM31 ten behoeve van de zettingberekeningen worden gepresenteerd in paragraaf 3.7.1 t/m paragraaf 3.7.7, Tabel 5 t/m Tabel 11.

De geschematiseerde grondopbouw ten behoeve van de stabiliteitsberekeningen worden gepresenteerd in Hoofdstuk 6 (Stabiliteit Harde rand, RA1); Hoofdstuk 7 (Stabiliteit Havendammen, IE2.1) en Hoofdstuk 8 (Stabiliteit Compartimenteringsdammen, HT1)

3.7.1 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 24

Sonderingen DKM 28 en DKM 24 zijn geanalyseerd waarbij sondering DKM 24 als representatief wordt beschouwd, zie Tabel 5 en bijlage 1.

Grondsoort (DKM 24)	BK_laag	OK_laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,5	-4,8
Klei, zwak zandig, slap	--4.8	-5.8
Klei, organisch, slap tot matig	--5.8	-8,5
Veen	-8,5	-11
Klei, organisch, slap-matig	-11	-12,8

Tabel 5 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 24

3.7.2 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 33

Sonderingen DKM 24 en DKM 33 zijn geanalyseerd. Bij sondering DKM 24 is een dikker en enigszins slapper kleilaag aangetroffen. Rekening houdend met het doel van de zettingberekeningen (paragraaf 3.1) is gekozen voor DKM 33 als representatief profiel, zie Tabel 6 en bijlage 2.

Grondsoort (DKM33)	BK_laag	OK_laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,8	-5,4
Klei, organisch, slap - matig	-5,4	-10,8
Klei, zwak zandig, slap	-10,8	-11,2

Tabel 6 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 33

3.7.3 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 36

De keuze voor sondering DKM 36 stamt nog uit het voorontwerp van het Markerwadden project. Het profiel kan wat betreft bodemopbouw wel als representatief worden gezien voor het UO ontwerp en is dus meegenomen in de bepaling van een gemiddelde verhouding van de brutozanddikte t.o.v. de netto zanddikte. Voor de geschematiseerde grondopbouw wordt verwezen naar Tabel 7 en bijlage 3.

Grondsoort (DKM 36)	BK_laag	OK_laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,45	-5,4
Klei, zwak zandig, matig	-5,4	-5,6
Klei, zwak zandig, slap	-5,6	-5,8
Klei, zwak zandig, matig	-5,8	-6,4
Klei, organisch, slap - matig	-6,4	-7,2
Veen	-7,2	-8,1
Klei, organisch, slap - matig	-8,1	-8,7
Klei, organisch, slap	-8,7	-9,8
Klei, organisch, slap - matig	-9,8	-11,8
Klei, organisch, matig	-11,8	-12,3

Tabel 7 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 36

3.7.4 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 35

Sonderingen DKM 34 en DKM 35 zijn geanalyseerd waarbij sondering DKM 35 als representatief wordt beschouwd, zie Tabel 8 en bijlage 4.

Grondsoort (DKM 35)	BK_laag	OK_laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,4	-5,1
Klei, zwak zandig, slap	-5,1	-5,8
Klei, organisch, slap	-5,8	-7,2
Klei, organisch, slap - matig	-7,2	-10,2
Veen	-10,2	-10,5
Klei, organisch, slap - matig	-10,5	-11,2
Klei, organisch, matig	-11,2	-12,5

Tabel 8 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 35

3.7.5 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 13

De keuze voor sondering DKM 13 stamt nog uit het voorontwerp van het Markerwadden project. Het profiel kan wat betreft bodemopbouw wel als representatief worden gezien voor het UO ontwerp en is dus meegenomen in de bepaling van een gemiddelde verhouding van de bruto zanddikte t.o.v. de netto zanddikte. Voor de geschematiseerde grondopbouw wordt verwezen naar Tabel 9 en bijlage 5.

Grondsoort (DKM 13)	BK_laag	OK_laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,6	-5,1
Klei, zwak zandig, slap	-5,1	-5,5
Klei, organisch, slap	-5,5	-7,3
Klei, organisch, slap - matig	-7,3	-9,3
Zand, zwak siltig kleiig	-9,3	-9,6
Klei, organisch, slap	-9,6	-10,8
Klei, organisch, slap - matig	-10,8	-11,4
Klei, organisch, matig	-11,4	-12,3
Klei, zwak zandig, slap	-12,3	-13,2

Tabel 9 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 13

3.7.6 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 37

De keuze voor sondering DKM 37 (DKM 37 en DKM38 zijn geanalyseerd) stamt nog uit het voorontwerp van het Markerwadden project. Het profiel kan wat betreft bodemopbouw wel als representatief worden gezien voor het UO ontwerp en is dus meegenomen in de bepaling van een Hbruto/Hnetto van het ophoogmateriaal. Voor de geschematiseerde grondopbouw wordt verwezen naar Tabel 10 en bijlage 6.

Grondsoort (DKM 37)	BK_laag	OK_laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,7	-5,1
Klei, zwak zandig, matig	-5,1	-5,8
Klei, zwak zandig, slap	-5,8	-6,3
Klei, organisch, slap - matig	-6,3	-7,3
Klei, organisch, slap	-7,3	-9,7
Klei, organisch, slap - matig	-9,7	-13,0
Klei, zwak zandig, slap	-13	-13,2

Tabel 10 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 37

3.7.7 GRONDOPBOUW SONDERING DKM 31

Sondering DKM31 is uitgevoerd dezelfde locatie als Boring 6. Uit een vergelijk van de sondering en de boring blijkt dat sondering DKM31 meer nuances in grondopbouw laat zien dan Boring 6. Om die reden is gekozen om de grondopbouw te schematiseren op basis van sondering DKM31. Voor de geschematiseerde grondopbouw wordt verwezen naar Tabel 11 en Bijlage 7.

Grondsoort (DKM31)	BK_Laag	OK_Laag
	[m]+N.A.P.	[m]+N.A.P.
Klei, sterk zandig, vast	-4.6	-5.6
Klei, zwak zandig, matig	-5.6	-6.0
Klei, organisch, slap	-6.0	-8.7
Klei, organisch, slap-matig	-8.7	-13.6

Tabel 11 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 31

3.8 GRONDPARAMETERS

De bepaling van de samendrukking- en sterkteparameters is vastgelegd in de Ontwerpbasis Geotechniek (Document 2) voor het project Markerwadden. De samendrukkingsparameters worden wederom gepresenteerd in Tabel 12.

Grondsoort	qc [Mpa]	γ_{sat} [kN/m ³]	CR ¹ [-]	CR/RR ² [-]	CR/Ca ¹ [-]	POP [kN/m ²]	cv [m ² /s]
Zand, matig fijn, zwak humeus	12	18	0.0051	7	40	20	1×10 ⁻⁷
Klei, sterk zandig, vast	2.5	17	0.0767	10	25	20	1×10 ⁻⁷
Klei, zwak zandig, matig	1.5	17	0.115	10	25	20	1×10 ⁻⁷
Klei, zwak zandig, slap	0.7	15.6	0.23	10	25	20	6×10 ⁻⁸
Klei, organisch, slap	0.2	12.4	0.35	10	15	20	6×10 ⁻⁸
Klei, organisch, matig	0.5	13.9	0.32	10	15	20	6×10 ⁻⁸
Klei, organisch, slap - matig	0.2 – 0.5	13.9	0.32	10	15	20	6×10 ⁻⁸
Veen	0.2	11.2	0.45	12	11	20	6×10 ⁻⁸
Klei, zwak zandig, slap	0.7	15.6	0.23	10	25	20	6×10 ⁻⁸
Zand, zwak siltig kleiig,	12	18	0.0051	7	40	20	1×10 ⁻⁴

Tabel 12 Rekenwaarden Samendrukkingsparameters

¹Niet cursief gedrukte CR waarden zijn bepaald op basis van ervaringsdata Boskalis

²CR/RR en CR/Ca zijn bepaald op basis van ervaringsdata Boskalis

Aanvullende samendrukkingsparameters:

Zand los gepakt (t.b.v. buitencontour): γ_{sat} = 17/19 kN/m³

Baggerspecie (t.b.v. eilandvulling): γ_{sat} = 12/12 kN/m³

De rekenwaarden voor de sterkteparameters worden gepresenteerd in Tabel 13.

Grondsoort	qc [Mpa]	γ_{sat} [kN/m ³]	c _{reken} [kN/m ²]	Phi _{reken} [graden]	Su [kN/m ²]
Zand, matig fijn, zwak humeus	12	18	0	23	-
Klei, sterk zandig, vast	2.5	17	0	23.5	12
Klei, zwak zandig, matig	1.5	17	3.9	19	12
Klei, zwak zandig, slap	0.7	15.6	0	19	9
Klei, organisch, slap	0.2	12.4	0.8	12.6	6
Klei, organisch, matig	0.5	13.9	0.8	12.6	9
Klei, organisch, slap - matig	0.2 – 0.5	13.9	0.8	12.6	6
Veen	0.2	11.2	0	23.5	5
Klei, zwak zandig, slap	0.7	15.6	0	19	10
Zand, zwak siltig kleiig,	12	18	0	23	-

Tabel 13 Rekenwaarden Sterkteparameters

Aanvullende sterkteparameters:

Zand los gepakt: γ_{sat} = 16 kN/m³; phi;kar= 30 graden; phi;reken= 26 graden;

Zavel voor onderwaterdammen= γ_{sat} = 15.6 kN/m³; phi;reken=19 graden;

4

Resultaten Zettingsberekeningen

4.1 INLEIDING

Onderstaand hoofdstuk betreft de resultaten van de 6 rekenprofielen op basis van sonderingen DKM13, DKM 24, DKM33, DKM35, DKM36, DKM37.

4.2 DOEL ZETTINGBEREKENINGEN

Voor het gemak wordt hier het doel van de zettingberekeningen uit paragraaf 3.1 herhaald.

Het doel van de zettingberekeningen is om doormiddel van een geografisch dekkend grid aan berekeningen een algemene verhouding bruto-/netto zanddikte cq. bruto-/netto dikte gebaggerd holoceen materiaal te bepalen ten behoeve van de benodigde volumeberekening. De resultaten van de zettingberekeningen dienen tevens als input voor het bepalen van de initieel benodigde aanlegniveau's om het benodigde eindprofiel te garanderen over een periode van 15 maanden, 10 jaar respectievelijk 50 jaar na oplevering.

4.3 PROCES ZETTINGBEREKENINGEN

De zettingberekeningen zijn uitgevoerd voor 6 sonderingen. Per sondering zijn zettingberekeningen uitgevoerd voor 4 ontwerphoogtes, waarbij onderscheid is gemaakt in aanvulmateriaal tussen zand en gebaggerd holoceen materiaal. De ontwerphoogtes voor de berekening zijn zo gekozen dat de specifieke ontwerphoogtes per object binnen de gekozen range vallen. De voor de berekening gekozen ontwerphoogtes in relatie tot de zanddammen variëren van NAP +0 m t/m NAP +3 m met een toename van 1 meter. De bruto/netto verhouding voor het gebaggerde holocene materiaal (eilandvulling) is bepaald met ontwerphoogte NAP +0 m.

De combinatie van de gekozen ontwerphoogte en het maaiveld wat volgt uit de sonderingen levert een netto ophoging. De gekozen ontwerphoogtes zijn de kruinniveaus die, afhankelijk van het object, moeten worden gegarandeerd over een periode van opleveren + 15 maanden, opleveren + 10 jaar of opleveren + 50 jaar. De zettingen zijn berekend uitgaande van de ontwerphoogtes op basis van "maintain profile" in Dsettlement. Een overzicht van de verschillende objecten met daarbij de periode waarover het minimale kruinniveau moet worden gegarandeerd wordt gegeven in Tabel 14.

Objectcode	Object	Periode
HT1	Moeras	Opleveren+15 maanden
HT2	Beschutte Oeverzone	Opleveren+15 maanden
RA2	Zachte Rand	Opleveren+15 maanden
HT1	Compartimenteringsdammen (Luwtedammen)	Opleveren+15 maanden
IE3	Recreatiestrand	Opleveren+15 maanden
IE1	Zandplateau	Opleveren+ 15 maanden ^{*1}
HT1	Compartimenteringsdammen (beheer- en wandelpaden)	Opleveren+10 jaar
RA1	Harde Rand	Opleveren+50 jaar
IE2.1	Havendammen	Opleveren+50 jaar
IE6	Loswal	Opleveren+50 jaar

*1 Het zandplateau voldoet 50 jaar na opleveren aan het minimale niveau N.A.P. +1.30 m
*1 De restzetting na 15 maanden is verdisconteerd in het theoretisch profiel

Tabel 14 Periode waarover de minimale kruinhoogte moet zijn gegarandeerd per object

4.4 RESULTATEN ZETTINGBEREKENINGEN

4.4.1 ZETTING T.P.V. SONDERING DKM24

Voor de resultaten van rekenprofiel DKM 24 wordt verwezen naar Tabel 15.

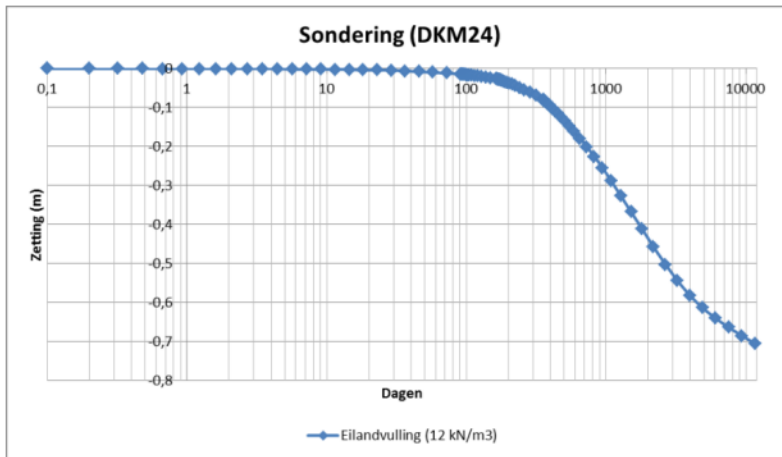
Tevens in Figuur 2 en Figuur 3 zijn een tweetal consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 2 betreft de consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 3 geeft als voorbeeld het consolidatie verloop van een ophoging van de zandranden tot NAP +2 m weer.

Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht	Hoogte	Netto Ophoging	Bruto aan te brengen	Eind ophoging	Zetting bij Opleveren	Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden	Δ Zetting bij opleveren + 30 jaar	Totale zetting (30 jaar)
[-]	[-]	[kN/m ³]	[NAP m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7,50	9,31	0,20	1,64	17	67	2,31
Buitencontour	Zand	17/19	2	6,50	8,17	0,18	1,51	16	63	2,14
Buitencontour	Zand	17/19	1	5,50	7,00	0,16	1,35	14	58	1,93
Buitencontour	Zand	17/19	0	4,50	5,79	0,13	1,16	12	52	1,68
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4,50	4,96	0,08	0,40	6	29	0,69

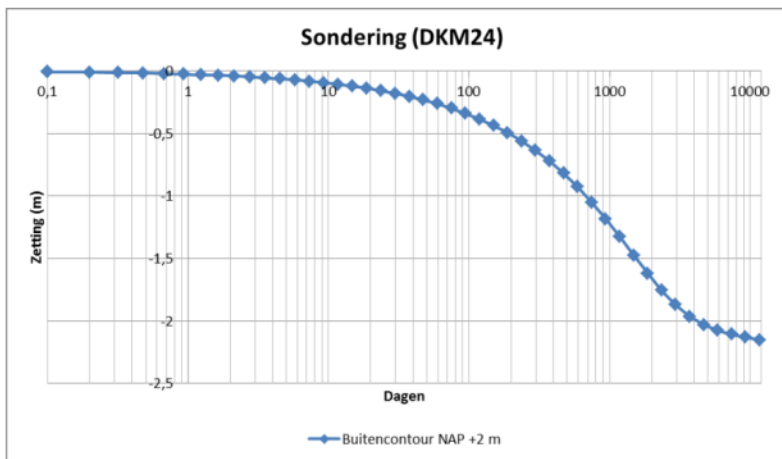
Tabel 15. Resultaten zettingsberekeningen DKM24

Toelichting tabel:

- Netto ophoging: $\text{Ontwerpniveau [m]} + \text{N.A.P.} - \text{Maaiveld [m]} + \text{N.A.P.}$
- Eind ophoging: is de zetting die optreedt gedurende het ophoogproces. Voor de zandranden is deze bepaald op $t=30$ dagen, voor de eilandvulling is deze bepaald op $t=356$ dagen [m]
- Zetting bij oplevering: Totale zetting na 1700 dagen [m]
- Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden: Verschil in zetting tussen "Zetting bij opleveren" (1700 dagen) en zetting 15 maanden na opleverdatum (2150 dagen) [cm] Opmerking: zetting "15 maanden na opleveren" is niet in de tabel weergegeven;
- Δ Zetting bij oplevering + 30 jaar: berekende zetting tussen "zetting bij opleveren" (1700 dagen) en zetting na 30 jaar (10.000 dagen) [cm]
- Totaal zetting na 30 jaar: Eindzetting (10.000 dagen) [m]



Figuur 2. Consolidatie grafiek Eilandvulling, DKM24



Figuur 3 Consolidatie grafiek zanddam ontwerpniveau N.A.P.+ 2m, DKM24

4.4.2 ZETTING T.P.V. SONDERING DKM 33

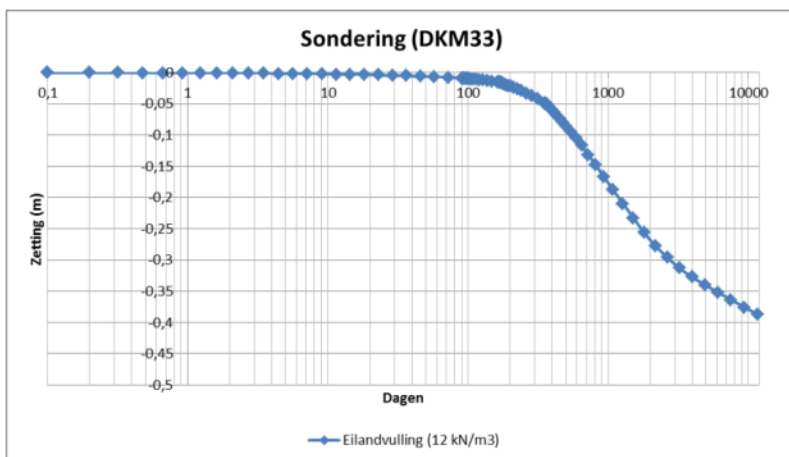
Voor de resultaten van de zettingberekeningen op basis van sondering DKM33 wordt verwezen naar Tabel 16.

In Figuur 4 en Figuur 5 zijn een tweetal consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 4 betreft de consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 5 geeft, als voorbeeld, het consolidatie verloop van een ophoging van de zandranden voor het ontwerpniveau NAP +2 m weer.

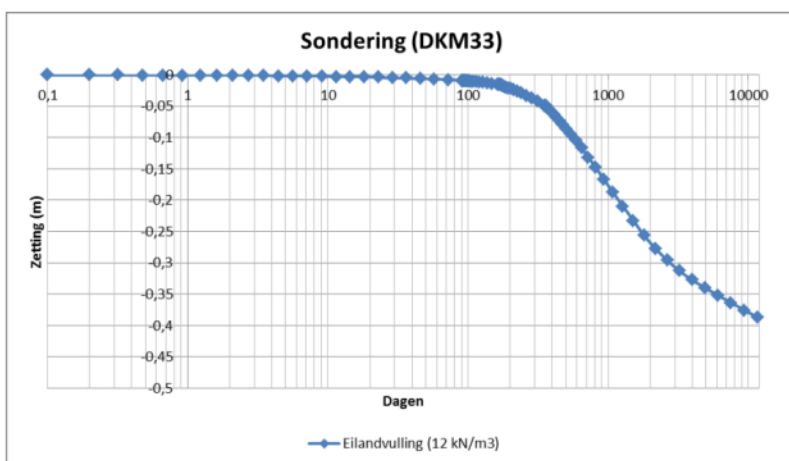
Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht	Hoogte	Netto Ophoging	Bruto aan te brengen	Eind ophoging	Zetting bij Opleveren	Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden	Δ Zetting bij opleveren + 30 jaar	Totale zetting (30 jaar)
[-]	[-]	[kN/m ³]	[NAP m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7,80	9,18	0,18	1,30	8	26	1,56
Buitencontour	Zand	17/19	2	6,80	8,06	0,16	1,19	7	24	1,43
Buitencontour	Zand	17/19	1	5,80	6,93	0,14	1,06	7	22	1,28
Buitencontour	Zand	17/19	0	4,80	5,76	0,11	0,90	6	20	1,10
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4,80	5,08	0,05	0,25	3	13	0,38

Tabel 16 Resultaten zettingsberekeningen ter plaatse van sondering DKM 33

Voor een toelichting op de tabel wordt verwezen naar paragraaf 4.4.1.



Figuur 4 Consolidatie grafiek Eilandvulling sondering DKM 33



Figuur 5 Consolidatie grafiek zanddam ontwerpniveau N.A.P. +2m, sondering DKM33

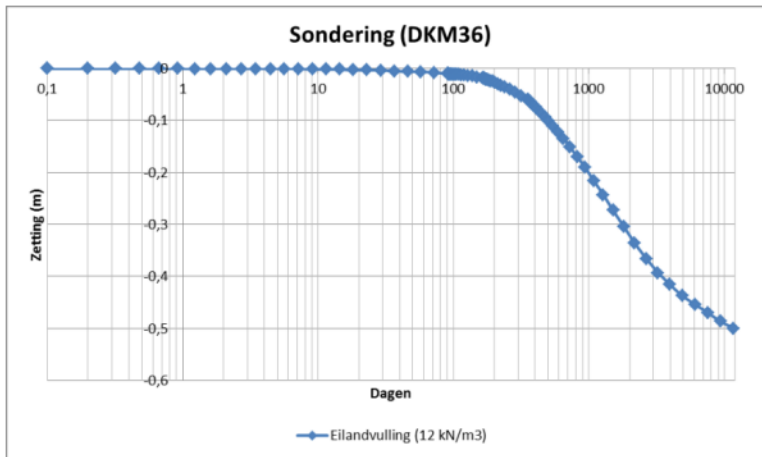
4.4.3 ZETTING T.P.V. SONDERING DKM36

Voor de resultaten van de zettingberekeningen ter plaatse van sondering DKM36 wordt verwezen naar Tabel 17.

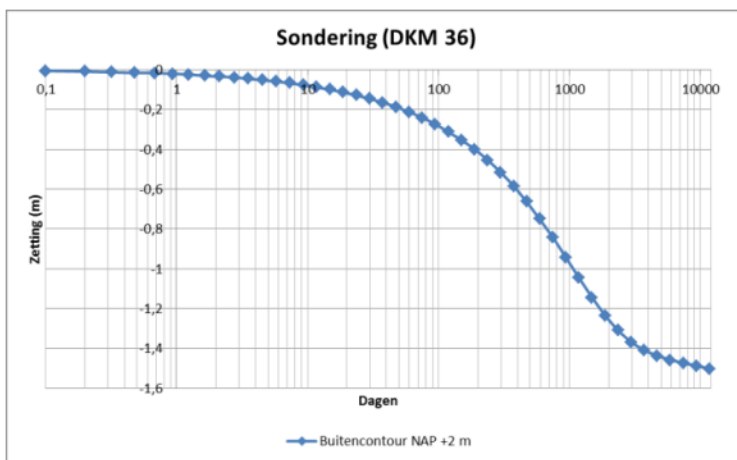
In Figuur 6 en Figuur 7 zijn een tweetal consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 6 betreft het consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 7 geeft, als voorbeeld, het consolidatie verloop van een ophoging van de zandranden (buitencontour) tot NAP +2 m weer.

Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht	Hoogte	Netto Ophoging	Bruto aan te brengen	Eind ophoging	Zetting bij Opleveren	Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden	Δ Zetting bij opleveren + 30 jaar	Totale zetting (30 jaar)
[-]	[-]	[kN/m ³]	[NAP m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7,45	8,88	0,16	1,31	12	43	1,75
Buitencontour	Zand	17/19	2	6,45	7,76	0,15	1,20	11	41	1,61
Buitencontour	Zand	17/19	1	5,45	6,61	0,13	1,07	10	37	1,44
Buitencontour	Zand	17/19	0	4,45	5,43	0,10	0,89	9	33	1,23
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4,45	4,78	0,06	0,29	4	20	0,49

Tabel 17 Resultaten zettingsberekeningen sondering DKM36



Figuur 6 Consolidatie grafiek Eilandvulling DKM36



Figuur 7 Consolidatie grafiek zanddam ontwerpniveau N.A.P. +2m, DKM36

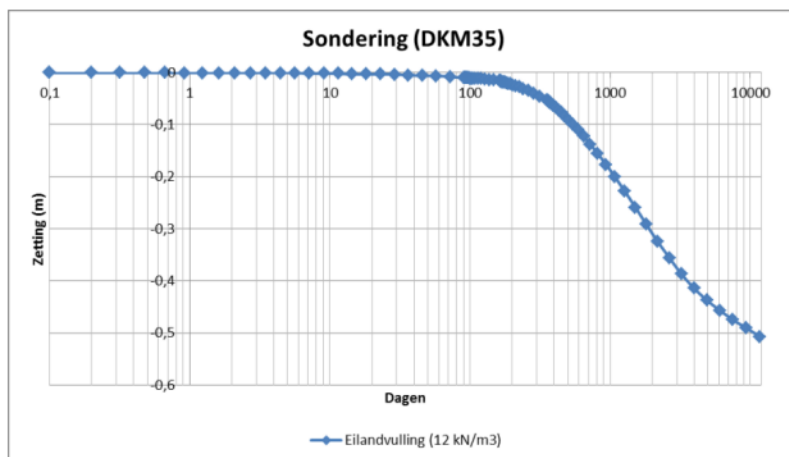
4.4.4 ZETTING TER PLAATSE VAN SONDERING DKM35

Voor de resultaten van de zettingsberekeningen op basis van sondering DKM35 wordt verwezen naar Tabel 18.

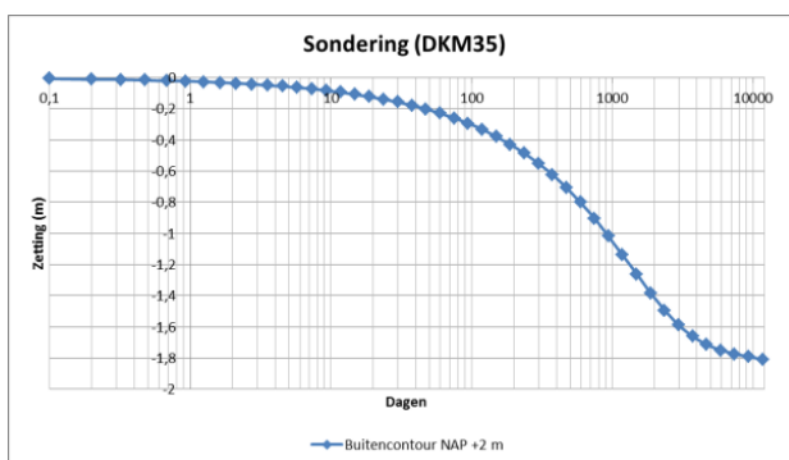
Tevens in Figuur 8 en Figuur 9 zijn een tweetal consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 8 betreft de consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 9 geeft het consolidatie verloop van een ophoging van de randen (zand) tot NAP +2 m weer.

Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht [kN/m ³]	Hoogte [NAP m]	Netto Ophoging [m]	Bruto aan te brengen [m]	Eind ophoging [m]	Zetting bij Opleveren [m]	ΔZetting bij oplevering + 15 maanden [cm]	ΔZetting bij opleveren + 30 jaar [cm]	Totale zetting (30 jaar) [m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7,40	8,95	0,17	1,41	14	54	1,95
Buitencontour	Zand	17/19	2	6,40	7,82	0,16	1,29	13	51	1,80
Buitencontour	Zand	17/19	1	5,40	6,66	0,14	1,15	12	46	1,61
Buitencontour	Zand	17/19	0	4,40	5,46	0,11	0,96	10	41	1,37
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4,40	4,72	0,05	0,27	5	23	0,50

Tabel 18 Resultaten zettingsberekeningen DKM35



Figuur 8 Consolidatie grafiek Eilandvulling DKM35



Figuur 9 Consolidatie grafiek zanddam sondering DKM35, ontwerpniveau N.A.P. +2m

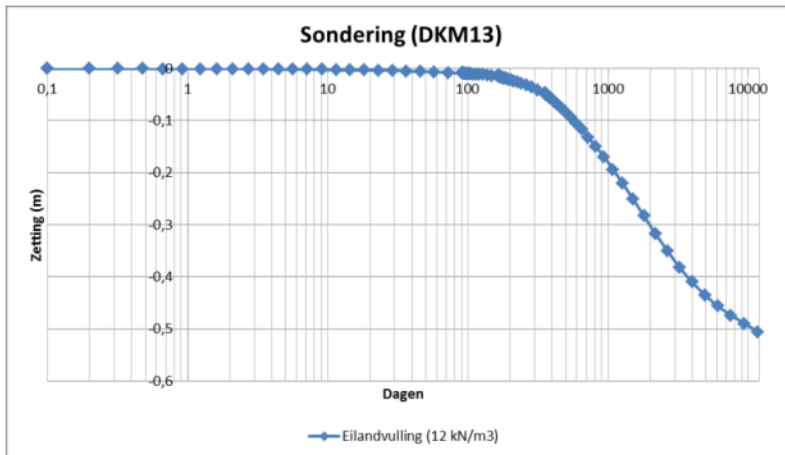
4.4.5 ZETTING TER PLAATSE VAN SONDERING DKM13

Voor de resultaten van de zettingsberekeningen op basis van sondering DKM13 wordt verwezen naar Tabel 19.

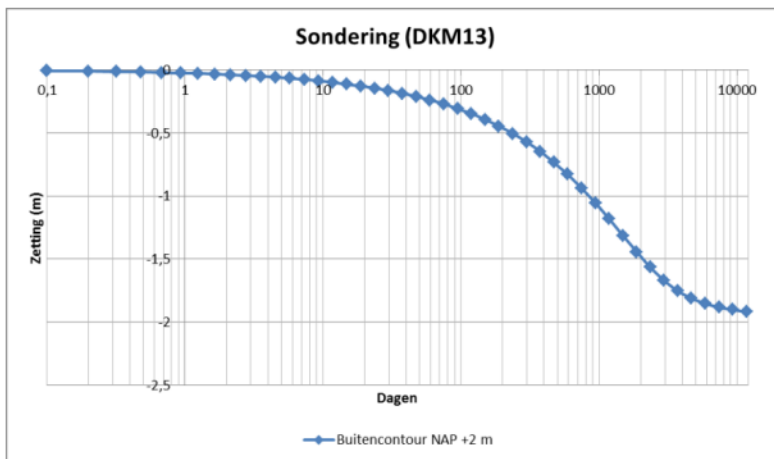
Tevens zijn in Figuur 10 en Figuur 11 een tweetal consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 10 betreft het consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 11 geeft, als voorbeeld, het consolidatie verloop van een ophoging van de zandranden tot het ontwerpniveau NAP +2 m weer.

Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht	Hoogte	Netto Ophoging	Bruto aan te brengen	Eind ophoging	Zetting bij Opleveren	Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden	Δ Zetting bij opleveren + 30 jaar	Totale zetting (30 jaar)
[-]	[-]	[kN/m ³]	[NAP m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7,60	9,22	0,18	1,47	15	60	2,07
Buitencontour	Zand	17/19	2	6,60	8,08	0,16	1,35	14	56	1,91
Buitencontour	Zand	17/19	1	5,60	6,92	0,14	1,20	12	51	1,71
Buitencontour	Zand	17/19	0	4,60	5,72	0,12	1,01	11	45	1,47
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4,60	4,91	0,05	0,27	4	22	0,50

Tabel 19 Resultaten zettingsberekeningen op basis van sondering DKM13



Figuur 10 Consolidatie grafiek Eilandvulling, DKM13



Figuur 11 Consolidatie grafiek zanddam ontwerpniveau N.A.P. +2m, DKM13

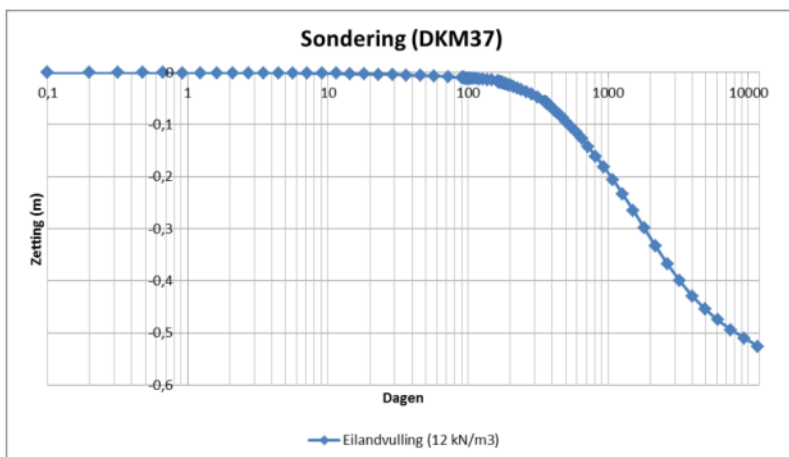
4.4.6 ZETTING TER PLAATSE VAN SONDERING DKM37

Voor de resultaten van de zettingberekeningen op basis van sondering DKM37 wordt verwezen naar Tabel 20.

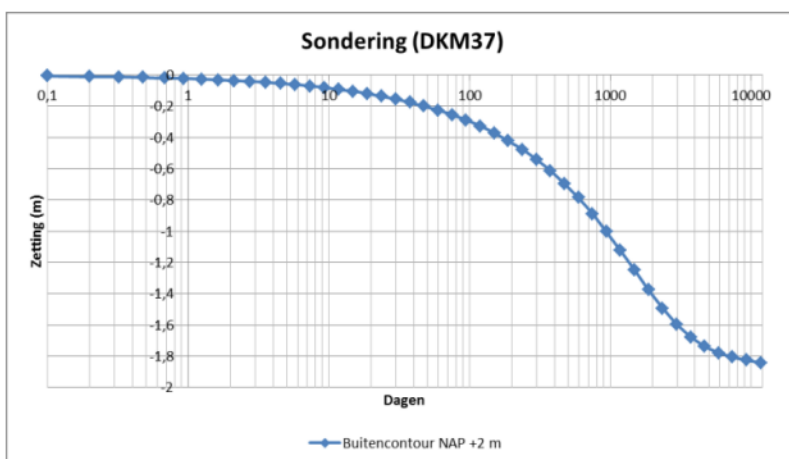
Tevens zijn in Figuur 12 en Figuur 13 twee consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 12 betreft het consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 13 geeft, als voorbeeld, het consolidatie verloop van een ophoging van de zandranden (buitencontour) voor het ontwerpniveau van NAP +2 m weer.

Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht	Hoogte	Netto Ophoging	Bruto aan te brengen	Eind ophoging	Zetting bij Opleveren	Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden	Δ Zetting bij opleveren + 30 jaar	Totale zetting (30 jaar)
[-]	[-]	[kN/m ³]	[NAP m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7,70	9,24	0,17	1,40	15	59	1,99
Buitencontour	Zand	17/19	2	6,70	8,12	0,16	1,28	13	55	1,83
Buitencontour	Zand	17/19	1	5,70	6,96	0,14	1,14	12	50	1,65
Buitencontour	Zand	17/19	0	4,70	5,77	0,11	0,97	10	45	1,41
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4,70	5,03	0,06	0,29	4	23	0,51

Tabel 20 Resultaten zettingsberekeningen op basis van sondering DKM37



Figuur 12 Consolidatie grafiek Eilandvulling, DKM37



Figuur 13 Consolidatie grafiek zanddam met ontwerpbasis N.A.P. +2m, DKM37

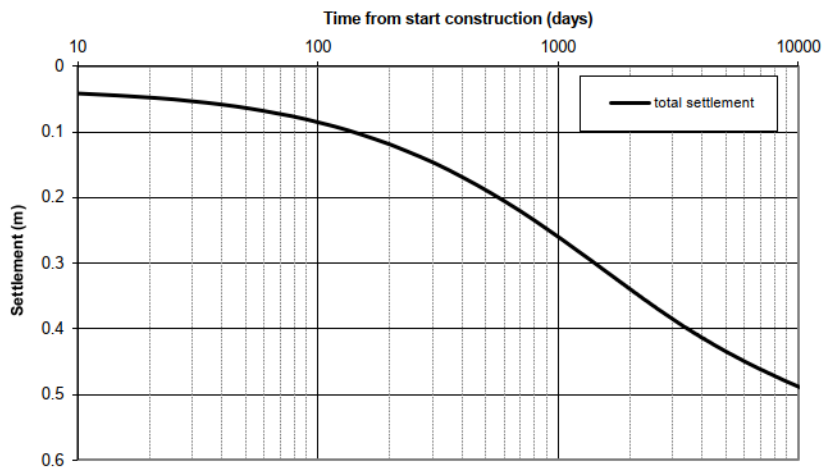
4.4.7 ZETTING TER PLAATSE VAN SONDERING DKM31

Voor de resultaten van de zettingberekeningen op basis van sondering DKM31 wordt verwezen naar Tabel 21.

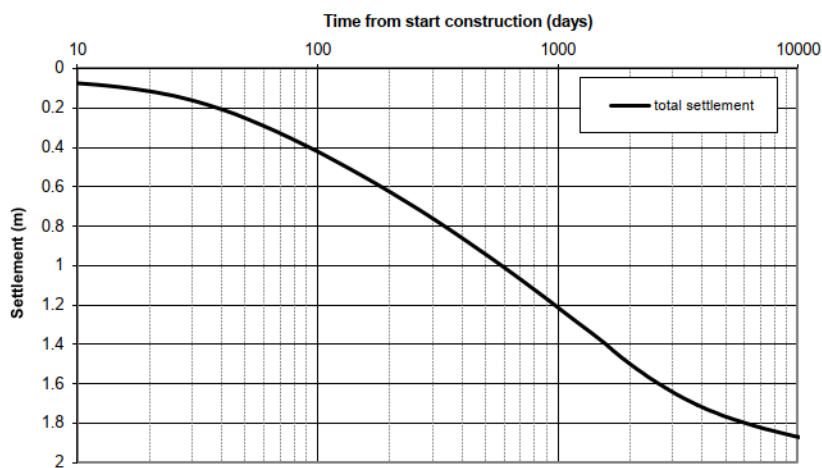
Tevens zijn in Figuur 14 en Figuur 15 twee consolidatie grafieken weergegeven. Figuur 14 betreft het consolidatie verloop van de eilandvulling. Figuur 15 geeft, als voorbeeld, het consolidatie verloop van een ophoging van de zandranden (buitencontour) voor het ontwerpniveau van NAP +2 m weer.

Toepassing	Vulmateriaal	Volumiek Gewicht	Hoogte	Netto Ophoging	Bruto aan te brengen	End ophoging	Zetting bij Opleveren	Δ Zetting bij oplevering + 15 maanden	Δ Zetting bij opleveren + 30 jaar	Totale zetting (30 jaar)
[-]	[-]	[kN/m ³]	[NAP m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[cm]	[m]
Buitencontour	Zand	17/19	3	7.55	9.22	0.20	1.55	12	52	2.07
Buitencontour	Zand	17/19	2	6.55	8.06	0.16	1.40	11	50	1.90
Buitencontour	Zand	17/19	1	5.55	6.87	0.13	1.22	10	47	1.69
Buitencontour	Zand	17/19	0	4.55	5.63	0.10	0.99	9	43	1.42
Eilandvulling	Klei	12/12	0	4.55	4.89	0.05	0.31	3	19	0.50

Tabel 21 Resultaten zettingsberekeningen op basis van sondering DKM31



Figuur 14 Consolidatie grafiek Eilandvulling, DKM31



Figuur 15 Consolidatie grafiek zanddam met ontwerpbasis N.A.P. +2m, DKM31

4.5 BRUTO-/NETTOVERHOUDING ZAND EN GEBAGGERD HOLOCEEN

In de voorliggende paragrafen zijn de resultaten van de zettingberekeningen gepresenteerd voor 6 sonderingen. Op basis van de zettingsresultaten zijn per sondering de bruto/netto verhouding bepaald voor ophogingen in zand (zandranden) en de eilandvulling bestaande uit gebaggerd holoceenmateriaal, voor de garantieperiode van 15 maanden, 50 jaar; 10 jaar na opleveren. Belangrijk m.b.t. de eilandvulling is dat in dit document de zetting van de ondergrond wordt bedoeld en niet het indikken van het vulmateriaal t.g.v. de eigengewichtconsolidatie welke apart wordt behandeld.

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de voor de volumeberekeningen te hanteren bruto/nettoverhouding, zie Tabel 22. De Hbruto/Hnetto verhoudingen in onderstaande tabel zijn de verhoudingen voor de periodes waarover het eindprofiel moet worden gegarandeerd van 15 maanden, 10 jaar en 50 jaar na opleveren. De bruto/netto verhouding voor de periode 10 jaar na opleveren is geïnterpoleerd tussen opleveren+15 maanden en opleveren+50 jaar.

Objectcode	Object	Periode	Hbruto/Hnetto
HT1	Moeras	Opleveren+15 maanden	1.07
HT2	Beschutte Oeverzone	Opleveren+15 maanden	1.07
RA2	Zachte Rand	Opleveren+15 maanden	1.21
HT1	Compartmenteringsdammen (Luwtedammen)	Opleveren+15 maanden	1.21
IE3	Recreatiestrand	Opleveren+15 maanden	1.21
IE1	Zandplateau	Opleveren+15 maanden ^{*1}	1.21
HT1	Compartmenteringsdammen (beheer- en wandelpaden)	Opleveren+10 jaar	1.24
RA1	Harde Rand	Opleveren+50 jaar	1.25
IE2.1	Havendammen	Opleveren+50 jaar	1.25
IE6	Loswal	Opleveren+50 jaar	1.25
*1 Het zandplateau voldoet 50 jaar na opleveren aan het minimale niveau N.A.P. +1.30 m			
*1 De restzetting na 15 maanden is verdisconteerd in het theoretisch profiel			

Tabel 22 Hbruto/Hnetto verhouding per object t.b.v. volumeberekening

Zoals vermeld bij Tabel 20, voldoet het zandplateau ook na 50 jaar aan het minimale ontwerpniveau van N.A.P. + 1.30 m. Omdat op tekening de restzetting vanaf 15 maanden na opleveren al is verdisconteerd kan voor de bruto aan te brengen zanddikte de verhouding geldend voor opleveren+15 maanden worden gehanteerd.

De onderbouwing voor de in Tabel 22 gepresenteerde Bruto/Netto verhoudingen wordt gegeven in onderliggende paragrafen.

4.5.1 H_{BRUTO}/H_{NETTO} VERHOUDING HT1 (MOERAS) EN HT2

De bruto/netto verhouding voor de objecten HT1 (Moeras); HT2 (Beschutte Oeverzone) voor de garantieperiode van 15 maanden na opleveren bedraagt 1.07. Er dient dus t.o.v. de netto hoeveelheid 7% extra materiaal te worden aangebracht om de zetting vanaf start ophogen tot 15 maanden na opleveren te compenseren. De bruto/netto verhouding is het gemiddelde van de berekende bruto/netto verhoudingen per sondering, zie Tabel 23. Het ophoogmateriaal is gebaggerd holoceen.

Sondering	Hnetto	Hbruto	Hbruto/Hnetto ¹	
	[m]	[m]	[-]	
DKM24	4.5	4.96	1.10	
DKM33	4.8	5.08	1.06	
DKM36	4.45	4.78	1.07	
DKM35	4.4	4.72	1.07	
DKM13	4.6	4.91	1.07	
DKM37	4.7	5.03	1.07	
DKM31	4.55	4.89	1.07	
HT1-Moeras			1.07	Gemiddeld
HT2-Beschutte Oeverzone				
¹ Hbruto/Hnetto voor t=opleveren+15 maanden				

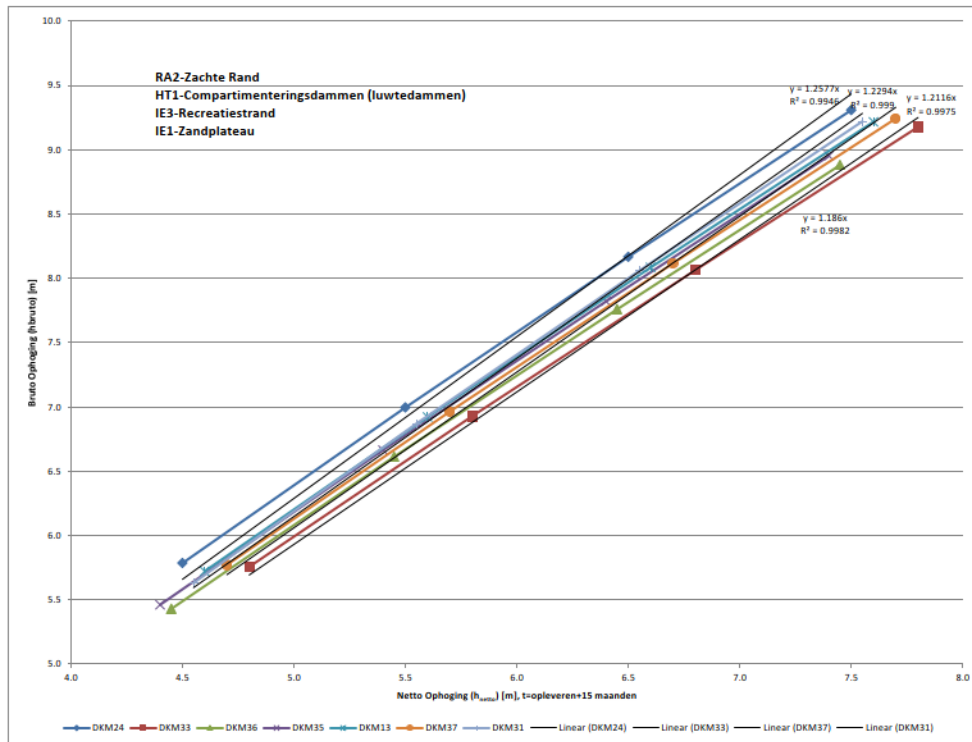
Tabel 23 Hbruto/Hnetto HT1 (Moeras) en HT2 (Beschutte Oeverzone)

4.5.2 H_{BRUTO}/H_{NETTO} VERHOUDING RA2; HT1 (LUWTEDAMMEN); IE3; IE1

Het eindprofiel voor de objecten RA2 (Zachte Rand); HT1 (Luwtedammen); IE3 (Recreatiestrand) en IE1 (zandplateau) dient gegarandeerd te worden over een periode van 15 maanden na opleveren. Het ophoogmateriaal is zand.

Voor de grafische voorstelling van de berekende bruto-/netto verhoudingen per sondering voor de perioden 15 maanden na opleveren wordt gepresenteerd in Figuur 16. De onder- en bovengrensgrens van Hbruto/Hnetto bedraagt , op basis van de berekende profielen, 1.19 respectievelijk 1.26. Voor de berekening van de hoeveelheden benodigd materiaal wordt gerekend met Hbruto/Hnetto= 1.21. Er dient

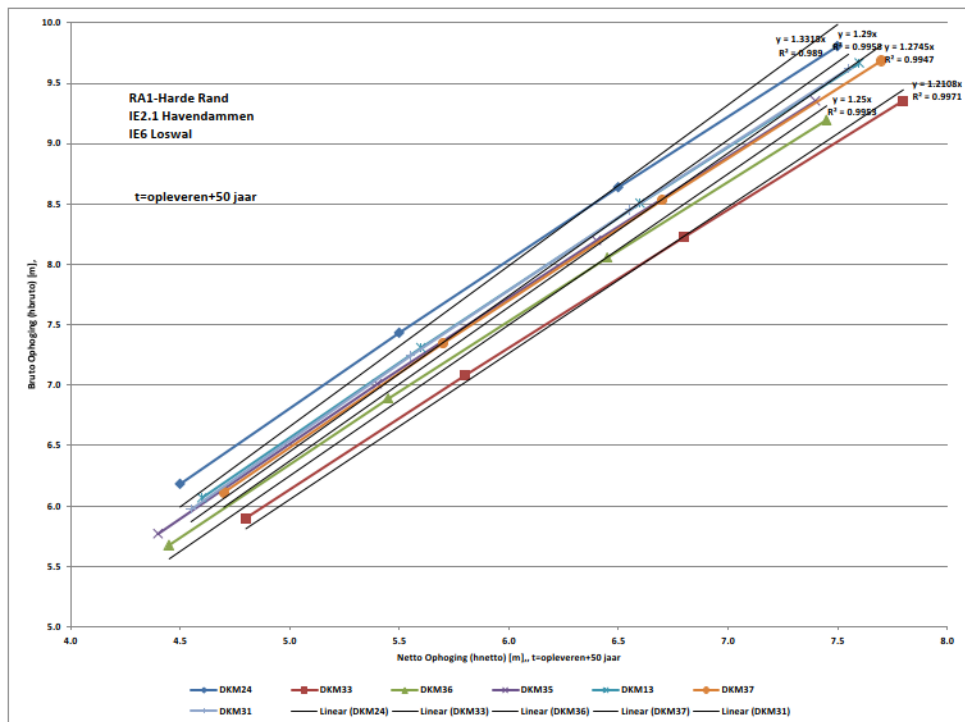
dus t.o.v. het theoretisch eindprofiel 21% meer materiaal te worden aangebracht om de zetting vanaf start ophogen tot 15 maanden na opleveren te compenseren.



Figuur 16 Hbruto/Hnetto (zand)verhouding voor de periode 15 maanden na opleveren

4.5.3 H_{BRUTO}/H_{NETTO} VERHOUDING RA1; IE2.1; IE6

Het eindprofiel van de objecten RA1 (Harde Rand); IE2.1 (Havendammen) en IE6 (loswal) dient te worden gegarandeerd over een periode van 50 jaar na opleveren. Voor een grafische voorstelling wordt verwezen naar Figuur 17. Het ophoogmateriaal is zand. De onder- en bovengrensgrens van Hbruto/Hnetto bedraagt, op basis van de berekende profielen, 1.21 respectievelijk 1.33. Voor de volumeberekening wordt gerekend met Hbruto/Hnetto=1.25. Er dient dus t.o.v. het theoretisch eindprofiel 25% extra volume ophoogmateriaal te worden aangebracht om de zetting vanaf start ophogen, gedurende een periode van 50 jaar na opleveren te compenseren.



Figuur 17 Hbruto/Hnetto (zand) verhouding RA1; IE2.1; IE6 voor de periode 50 jaar na opleveren

4.5.4 H_{BRUTO}/H_{NETTO} VERHOUDING HT1 (BEHEER- EN WANDELPADEN)

Het eindprofiel voor object HT1 (beheer- en wandelpaden) dient te worden gegarandeerd over een periode van 10 jaar na opleveren. De bruto/netto verhouding voor de periode 10 jaar na opleveren is geïnterpoleerd tussen opleveren+15 maanden en opleveren+50 jaar. De geïnterpoleerde onder- en bovengrens van Hbruto/Hnetto bedraagt, op basis van de berekende profielen, 1.2 respectievelijk 1.3. Voor de bepaling van het benodigde volume materiaal wordt gerekend met $H_{bruto}/H_{netto} = 1.24$

5

Stabiliteit Algemeen

5.1 INLEIDING

Het project Markerwadden omvat de volgende type dammen:

- Harde Rand;
- Havendammen;
- Compartimenteringsdammen

In eerste instantie is voor de dammen een stabiel eindprofiel (theoretisch profiel) bepaald. Het bepalen van het theoretisch profiel is een resultaat van de interactie tussen de disciplines geotechniek, waterbouwkunde, morfologie en uitvoering.

Uit verkennende stabiliteitberekeningen volgt dat om een stabiele ophoging te creëren, de ophoging voor de dammen gefaseerd dient te worden aangebracht. Dit betekent dat er in minimaal twee slagen dient te worden opgehoogd. Het aanpassingspercentage van de ondergrond is bepaald op basis van een 2-D zettingberekening.

Voor de sterkteparameters zijn de rekenwaarden gehanteerd uit Tabel 13 en zijn deze verwerkt in σ' - τ tabellen.

5.2 VEILIGHEIDSFILOSOFIE

Voor bovengenoemde type dammen is voor de maatgevende doorsnede de veiligheid tegen instabiliteit beschouwd. De minimaal benodigde veiligheid tegen instabiliteit bedraagt $F_s \geq 0.85$, in combinatie met het toepassen van materiaalfactoren op de sterkteparameters van de ondergrond. De kritische periode met betrekking tot de stabiliteit van een ophoging is direct na aanleg en treedt dus op tijdens de uitvoeringsfase. Algemeen geldt dat als een ophoging bij aanleg stabiel is deze altijd stabiel is bij gelijkblijvende belasting. De veiligheid van de ophoging tegen instabiliteit zal ten gevolge van consolidatie van de ondergrond in de tijd toenemen.

5.3 PROCES

Het uitvoeringsproces zal bestaan uit verschillende werkzaamheden. Het streven is om de werkzaamheden binnen een zo kort mogelijke tijd uit te voeren. Belangrijke randvoorwaarde daarbij is dat de ophoogwerkzaamheden voldoende stabiel worden uitgevoerd. Dit betekent dat de veiligheid tegen instabiliteit ≥ 0.85 . Om aan het streven van het in zo kort mogelijke tijd uitvoeren van de werkzaamheden tegemoet te komen geldt als uitgangspunt voor de stabiliteitberekeningen dat de verschillende fasen in het uitvoeringsproces zijn berekend met een minimaal aanpassingspercentage van 5%. Indien de benodigde

veiligheid voor een fase niet wordt gehaald op basis van dit minimum aanpassingspercentage, dan wordt een wachttijd geschat waarna wordt verwacht dat dit wel het geval is. Het benodigde aanpassingspercentage na de geschatte wachttijd wordt berekend in DSettlement en dient als input voor de stabiliteitsberekeningen. Dit kan een iteratief proces zijn. Indien het berekende aanpassingspercentage onvoldoende blijkt om aan het stabiliteitscriterium van minimaal 0.85 te kunnen voldoen, wordt een langere wachttijd geschat en opnieuw het bijbehorende aanpassingspercentage berekend wat vervolgens weer als input dient voor de stabiliteitsberekening, totdat voldaan wordt aan het stabiliteitscriterium van minimaal 0.85.

De gebruikte software betreft:

- DGeostability, versie 15.1, build 2.4;
- DSettlement, versie 14.1, build 1.2;

5.4 BEPERKINGEN

De stabiliteit van de te realiseren dammen is in de DO/VO fase berekend op basis van sterkteparameters uit tabel 2b. uit NEN 9997-1+C1 (nl), april 2012. De sterkteparameters uit deze tabel zijn zeer conservatief en vormen een absolute ondergrens van de werkelijk te verwachten sterkte. Ervaring op verschillende projectlocaties door Nederland leert dat reële verwachtingswaarden voor de sterkte van klei en veen hoger zijn dan de waarden uit tabel 2.b. Het in rekening brengen van onderbouwde hogere sterktewaarden kan resulteren in steiler te realiseren taluds.

6

Stabiliteit Harde Rand

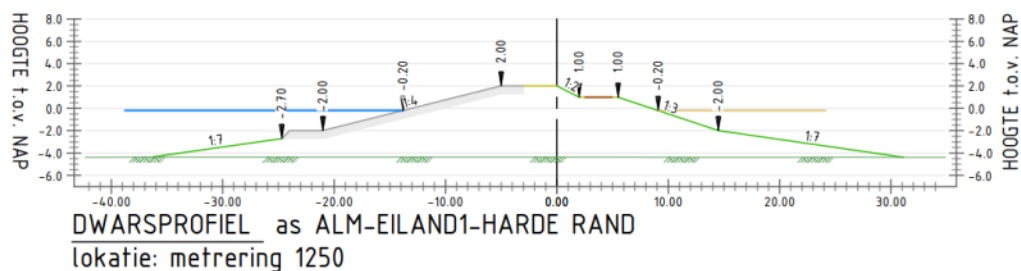
6.1 INLEIDING

Voor de harde rand dient een stabiele ophoging te worden aangebracht om materiaalverlies en vertraging in de uitvoering te voorkomen. Uit verkennende berekeningen blijkt dat de ophoging gefaseerd dient te worden aangebracht om een stabiele ophoging te creëren. In eerste instantie is een stabiele eindgeometrie bepaald. Dit is een iteratiefproces waarbij de disciplines geotechniek, waterbouwkunde, morfologie en uitvoering interactief bij betrokken zijn. Vervolgens is bepaald welke ophoging initieel aangebracht kan worden en is het moment bepaald waarop de steenbekleding en uiteindelijk de kruin kan worden gerealiseerd waarbij rekening is gehouden met een overhoogte aan materiaal voor zettingcompensatie om er voor te zorgen dat de kruinhoogte minimaal gelijk is aan de theoretische hoogte gedurende de levensduur van de harde rand. De benodigde zettingcompensatie is bepaald voor een periode van 30 jaar wat algemeen als praktisch tijdstip wordt gehanteerd voor het einde van de zettingberekeningen.

6.2 UITGANGSPUNTEN

6.2.1 GEOMETRIE HARDE RAND

Op basis van grondopbouw DKM24 en dwarsprofiel 1250 van de Harde Rand (Figuur 18), is de stabiliteit van de harde rand beschouwd. DKM24 wordt als maatgevende grondopbouw beschouwd in verband met de laag veen op een diepte van N.A.P. -8.5 – N.A.P. - 11 meter.



Hoogte	-4.37	-2.00	-2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	-2.00	-4.37			
Afstand	-42.35	-36.36	-24.00	-21.00	-5.00	-3.00	0.00	2.00	4.95	14.50	31.13	34.88

Figuur 18 Maatgevend Dwarsprofiel Harde Rand, metrerings 1250, ref. [8]

Tijdens de uitvoeringsfase wordt het zand tot aan de waterlijn aangebracht met behulp van een sproeiponton.

6.2.2 BELASTING

Het profileren van het talud en het aanbrengen van de steenbekleding wordt uitgevoerd met een Hydraulische kraan van het type Liebherr 944 of gelijkwaardig. De belasting van deze hydraulische kraan is meegenomen in de stabiliteitsberekening als 7 kN/m² over een breedte van 3.5 meter. Uitgangspunten hierbij zijn:

- Gewicht≈ 41.000 kg;
- Trackbreedte≈ 0.9 m;
- Totale breedte 3.5 meter;
- Tracklengte (contactlengte)≈ 4 m

De contactdruk bedraagt maximaal 20 kN/m² per track over en lengte van 4 meter. Hierbij is uitgegaan van een gewichtsverdeling van 1:2 over de beide tracks. Tijdens het profileren, zal de track het dichtst bij het talud het zwaarst worden belast. De kraanbelasting wordt in de stabiliteitsberekening (2-Dimensionaal) geschematiseerd als een oneindig doorgaande bovenbelasting, dit geeft een te ongunstig beeld van de stabiliteit. Om een meer realistisch beeld te krijgen van de invloed van de kraanbelasting op de over all stabiliteit van het talud is rekening gehouden met een spreiding van de belasting in langsricting van de tracks. Deze belasting spreid zich in het zandpakket onder 45 graden. Op het niveau van de oorspronkelijke bodem N.A.P. -4.5 meter bedraagt de kraanbelasting dan nog

$$q = \frac{20 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m}}{15 \text{ m}} = 5 \text{ kN/m}^2.$$

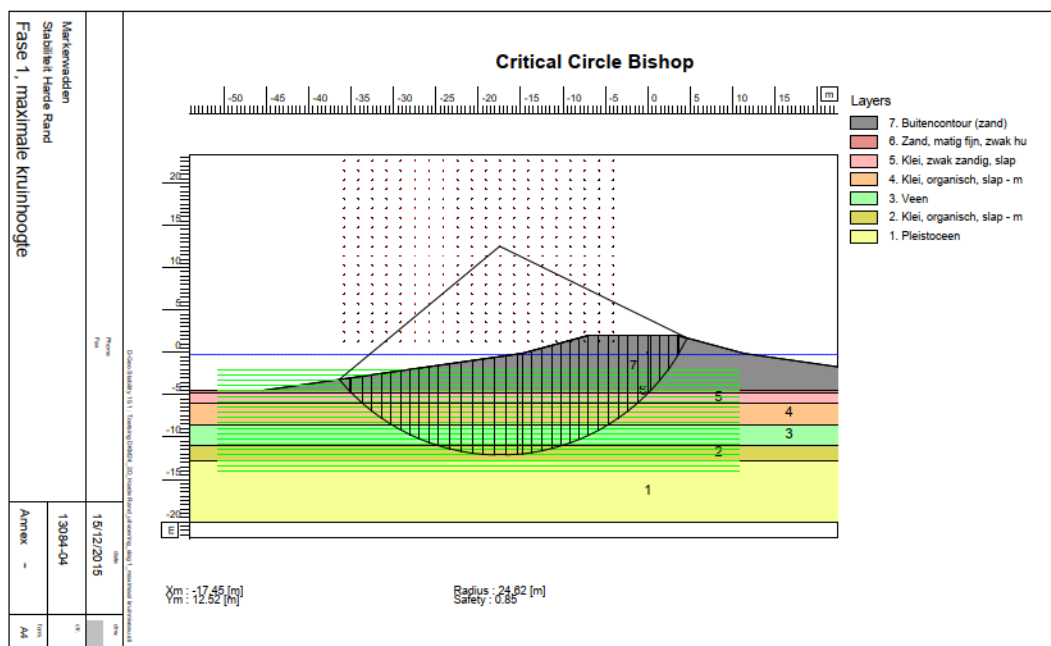
Voor de geschematiseerde belasting wordt een belastingfactor (γ_F) toegepast van 1.35 (= 0.9×1.5), conform bijlage A3 van de Eurocode 7-2012. De geschematiseerde belasting bedraagt 7 kN/m² over een breedte van 3,5 m.

6.3 RESULTATEN STABILITEIT HARDE RAND

6.3.1 FASE 1

Zoals gesteld in de inleiding dient de Harde Rand gefaseerd te worden aangebracht. Voor de eerste fase is de maximale kruinhoogte bepaald die in 1 keer kan worden gerealiseerd, waarbij ervan wordt uitgegaan dat het onderwatertalud een helling heeft van minimaal 1:7. En het bovenwatertalud wordt opgezet met een helling van 1:3.5 meter. Het zand wordt tot N.A.P. +1. m. met een sproeiponton aangebracht de kruin boven deze hoogte zal worden aangebracht met een hydraulische kraan, waarbij het zand uit de taluds wordt gewonnen.

Uit een stabiliteitsberekening volgt dat in fase 1 de kruin kan worden aangebracht tot een niveau van N.A.P. + 2.0 meter waarbij het onderwatertalud een helling heeft van minimaal 1:7 en het bovenwatertalud een helling heeft van maximaal 1:4. De berekende veiligheid bedraagt $F_s=0.85$ (≥ 0.85 , Voldoet) zie Figuur 19 Stabiliteit Harde Rand, Fase 1 (t=1 dag), U= 0%. In de berekening is uitgegaan van een aanpassingspercentage van 0%.



Figuur 19 Stabiliteit Harde Rand, Fase 1 (t=1 dag), U= 0%

6.3.2 FASE 2

Fase 2 betreft het moment waarop het profiel wordt geprofileerd en de steenbekleding wordt aangebracht. Deze fase kan stabiel worden uitgevoerd vanaf t=100 dagen. Dit wil zeggen dat 100 dagen na start ophoging de Harde rand kan worden geprofileerd en de steenbekleding kan worden aangebracht.

Buitentalud

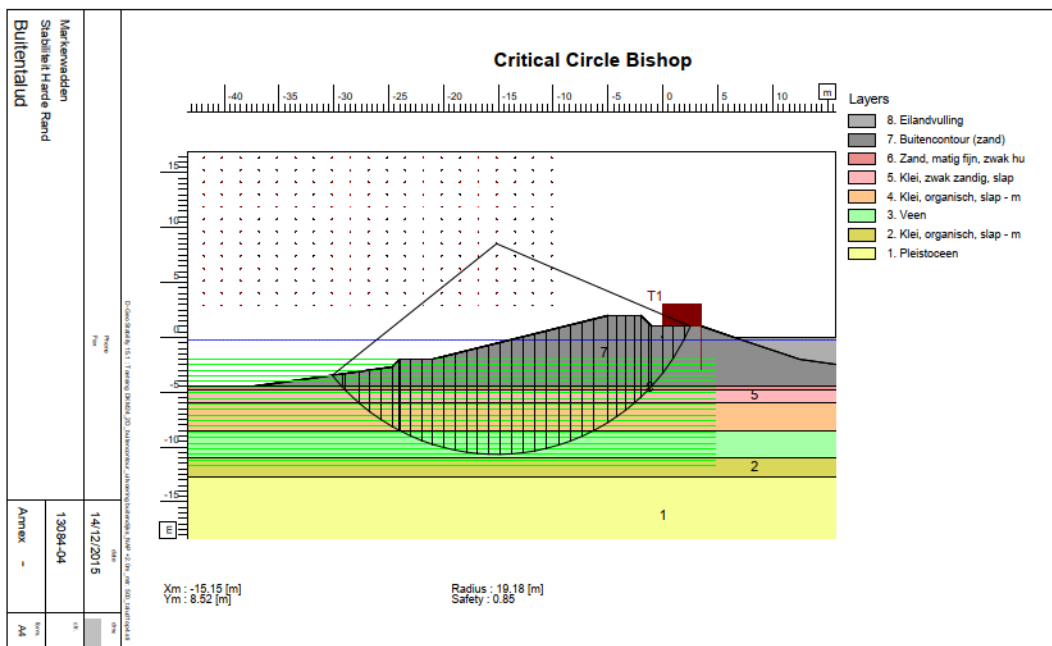
Uitgaande van een bovenkant ophoging van NAP +2,0 m, kruinbreedte 3 meter en gecombineerde helling 1:4 en 1:7, overgang op N.A.P. - 2 meter (zoals in Figuur 20 is weergegeven) wordt voor het buitentalud op t=100 dagen voldaan aan het stabiliteitscriterium van 0,85 ($0,85 \geq 0,85$; voldoet). De berekende veiligheid bedraagt $F_s = 0.85 (\geq 0.85, \text{Voldoet})$ voor het buitentalud zie Figuur 20.

Binnentalud

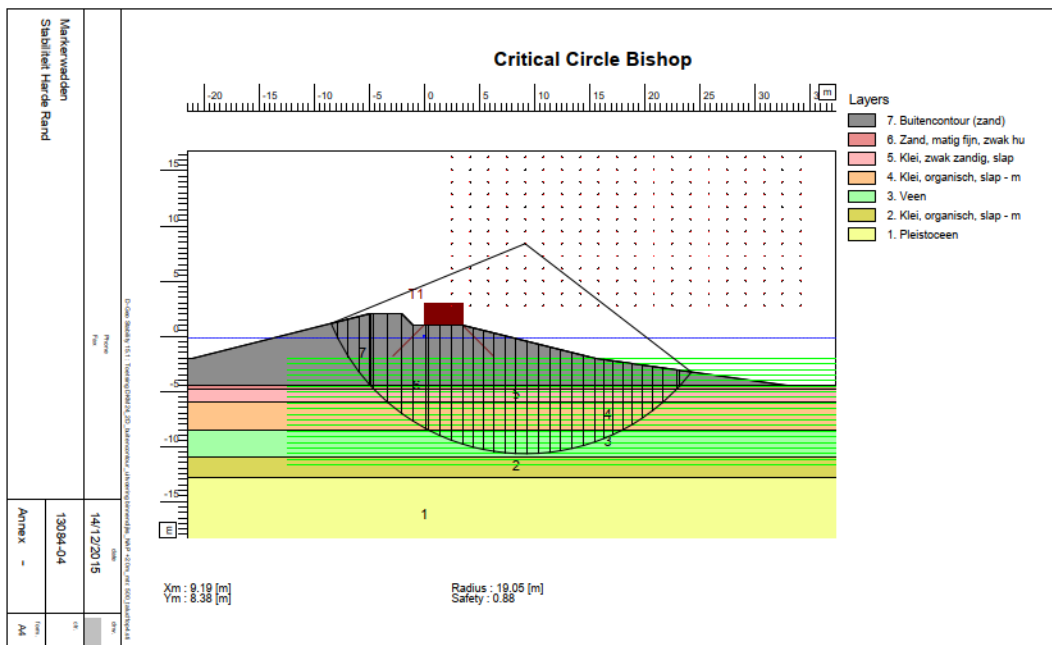
Voorafgaand aan het vulproces waarbij de eilanden worden opgevuld met baggerspecie is de binnenkant van de zandophoging ook gecontroleerd op stabiliteit. De situatie voordat een compartiment met baggerspecie wordt gevuld is maatgevend voor de stabiliteit, omdat het gewicht van de baggerspecie een gunstig effect heeft op de stabiliteit. Uitgangspunt voor de stabiliteit van het binnentalud is een kruinniveau van NAP +2.0 m, kruinbreedte 3 meter overgaand onder een tijdelijk 1:1 talud in een wandelpad aan de binnenzijde met een breedte van 5.5 meter breed (tijdelijke situatie, eindbreedte van wandelpad bedraagt 3.5 meter). Om een stabiele ophoging te creëren dient het talud aan de binnenzijde van N.A.P. +1 meter tot N.A.P. -2 meter niet steiler te zijn dan 1:4. Het onderwatertalud van N.A.P. -2 meter tot N.A.P. -4.5 meter dient niet steiler te zijn dan 1:7.

Het genoemde talud van 1:1 en wandelpad breedte van 5.5 m, betreft de tijdelijke afmetingen van de kruin aan de binnenzijde. In definitieve situatie dient het talud tussen de kruin en het wandelpad 1:3 te zijn waarbij het wandelpad dan nog effectief een breedte heeft van 3.5 meter.

Uitgaande van een tijdelijke taludhelling tussen kruin en wandelpad van 1:1, bedraagt de stabiliteit $F_s=0.88$ voor het binnentalud (≥ 0.85 , Voldoet). Zie voor de stabiliteit van het binnentalud Figuur 21.



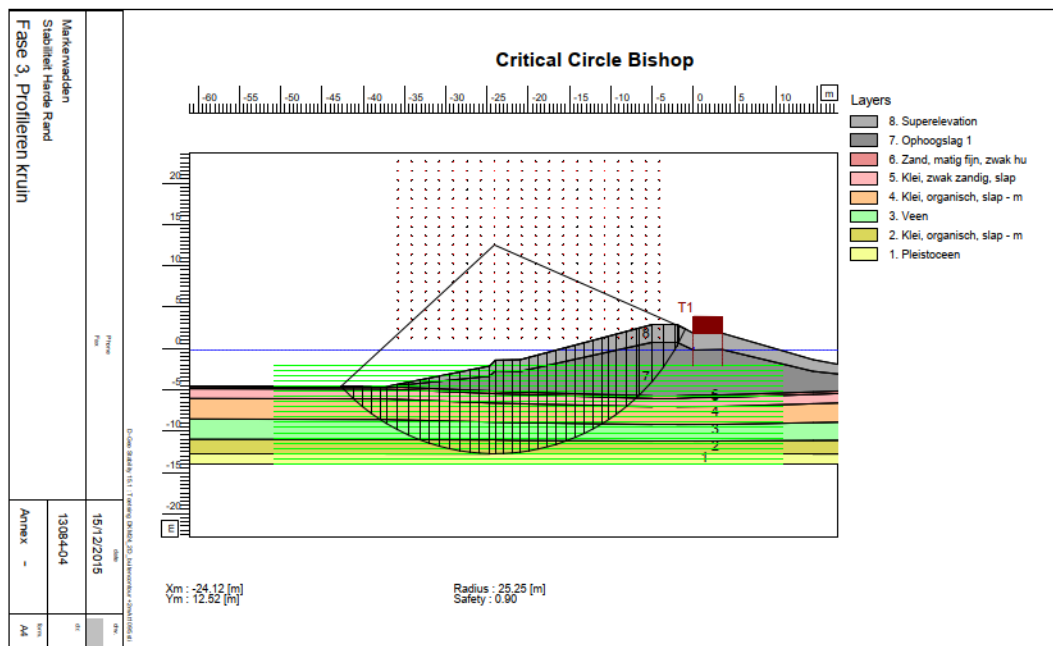
Figuur 20 Stabiliteit Harde Rand, Buitentalud, Fase 2, t= 100 dagen



Figuur 21 Stabiliteit Harde Rand, Binnentalud, Fase 2, t= 100 dagen

6.3.3 FASE 3

In Fase 3 kan de kruin worden geprofileerd waarbij een overhoogte zand wordt aangebracht als zettingcompensatie. Uit een indicatieve berekening volgt dat de kruin na ongeveer 3 jaar vanaf start ophogen ($t=1095$ dagen) kan worden aangebracht op de gewenste eindhoogte (inclusief zettingcompensatie). De berekende veiligheid $F_s=0.9$ (≥ 0.85 voldoet), zie Figuur 22. Uitgangspunt hierbij is dat de kruin op $t=1095$ dagen op N.A.P. +3 m. wordt aangelegd.



Figuur 22 Stabiliteit Harde Rand, Buitentalud, Fase 3, $t=1095$ dagen (= 3 jaar)

6.4 UITVOERINGSADVIES

6.4.1 INLEIDING

In verband met geotechnische stabiliteit dient de ophoging t.b.v. de harde rand gefaseerd in tijd te worden aangebracht. Hierbij kunnen de volgende fasen in het uitvoeringsproces worden onderscheiden:

- Fase 1: Initiële ophoging;
- Fase 2: Profileren binnen en buitentalud, aanbrengen steenbekleding ($t=100$ dagen);
- Fase 3: Eindprofilering ($t=1095$ dagen);
- Fase 4: Optrekken kruinniveau tijdens onderhoudsfase ($t=2190$ dagen);

Het moment in tijd waarop een fase kan worden uitgevoerd i.v.m. geotechnische stabiliteit, wordt per fase aangegeven in dagen ten opzichte van start ophogen. Bijvoorbeeld $t=1095$ dagen wil zeggen dat in dit geval Fase 3 kan worden uitgevoerd 1095 dagen na start ophoog werkzaamheden. Vermelde tijden zijn indicatief en kunnen tijdens het uitvoeringsproces worden bijgesteld op basis van monitoringgegevens. Aanpassing in de fasering kan plaats vinden na goedkeuring door een geotechnisch adviseur.

De fasering wordt verder toegelicht in de volgende paragraaf. Om een geotechnisch stabiele ophoging te realiseren worden vanuit het ontwerp randvoorwaarden bepaald waarbinnen het uitvoeringsproces zich

mag bewegen. Een voorbeeld zijn minimale taludhellingen en een maximaal kruinniveau. Naast deze technische randvoorwaarden zoals gedefinieerd in paragraaf 6.4.2, zijn er enkele proceseisen gedefinieerd om een gecontroleerde uitvoering te borgen. Voor deze proceseisen wordt verwezen naar 6.4.3.

6.4.2 FASERING

Fase 1: Initiële ophoging

De kruin kan worden aangebracht tot een niveau van N.A.P. + 2.0 meter waarbij het onderwatertalud een helling heeft van minimaal 1:7 en het bovenwatertalud een helling heeft van maximaal 1:4;

Fase 2: Profileren binnen en buitentalud + Aanbrengen steenbekleding

- Deze Fase kan worden uitgevoerd na een wachttijd van 100 dagen;
- Voor het buitentalud geldt dat uitgaande van een bovenkant ophoging van NAP +2,0 m en een kruinbreedte van 3 meter het talud kan worden geprofileerd naar een gecombineerde helling 1:4 en 1:7 waarbij de overgang tussen beide taluds ligt op N.A.P. - 2 meter;
- Voor het binnentalud geldt dat het talud aan de binnenzijde van N.A.P. +1 meter tot N.A.P. -2 meter niet steiler dient te zijn dan 1:4. Het onderwatertalud van N.A.P. -2 meter tot N.A.P. -4.5 meter dient niet steiler te zijn dan 1:7. Hierbij is uitgegaan van het kruinniveau op NAP +2.0 m en een kruinbreedte van 3 meter overgaand onder een tijdelijk 1:1 talud in een wandelpad aan de binnenzijde met een breedte van 4.5 meter breed1. Het genoemde talud van 1:1 en wandelpad breedte van 5.5 m, betreft de tijdelijke afmetingen van de kruin aan de binnenzijde. In definitieve situatie dient het talud tussen de kruin en het wandelpad 1:3 te zijn waarbij het wandelpad dan nog effectief een breedte heeft van 3.5 meter;

Fase 3: Eindprofilering

- Deze Fase kan worden uitgevoerd na ongeveer 3 jaar ($t= 1095$ dagen) na de start van de ophoogwerkzaamheden;
- De kruin kan worden geprofileerd waarbij een overhoogte zand wordt aangebracht als zettingcompensatie. De kruin dient te worden afgewerkt op N.A.P. + 3 meter;

Fase 4: Optrekken kruinniveau tijdens onderhoudsfase

Het minimale benodigde kruinniveau voor de harde rand ter hoogte van het compartiment dun slib bedraagt N.A.P. +2.6 m. Om dit minimale niveau tijdens de levensduur te garanderen dient tijdens de onderhoudsfase de kruin te worden opgetrokken naar N.A.P. + 3 meter. Voor het verloop van het kruinniveau gedurende de levensfase van de harde rand wordt verwezen naar Tabel 24.

Omschrijving	Datum	T [dagen]	Kruinhoogte [m]+N.A.P.	Zetting [m]	Δz [m]
Start Aanleg Harde rand	31-12-2016	1		0	
Profileren Kruin	31-12-2019	1095		1.25	1.25
Opleveren	31-12-2020	1460	+3.0	1.40	0.15
Opleveren+2 jaar	31-12-2022	2190	+2.6→+3.0	1.80	0.40
Opleveren+10 jaar	31-12-2030	5110	+2.8	2.00	0.20
Opleveren+10000 dagen		11460	+2.7	2.10	0.10

Tabel 24 Kruinniveau gedurende de levensduur van de harde rand

6.4.3 UITVOERINGSEISEN

Om een gecontroleerde uitvoering te borgen dienen de volgende eisen te worden gehanteerd:

Het initieel aanlegprofiel voor de Harde Rand dient te worden aangelegd met een taludhelling van 1:4 boven water en 1:7 onderwater. De kruin mag in combinatie met genoemde taludhellingen initieel worden aangelegd op N.A.P. +2 meter. Het aanbrengen van de zanddam met steilere taluds dient vooraf ter toetsing te worden voorgelegd aan de Geotechnisch adviseur en dient te worden onderbouwd met aanvullende geotechnische informatie.

Tijdens de uitvoeringsfase dient de conceptuele fasering uit het Geotechnisch Uitvoeringsontwerp (13084-04-R02-xx-PTUR) te worden verwerkt in werktekeningen/werkplannen. De werktekeningen/werkplannen dienen ter toetsing te worden voorgelegd aan een geotechnisch adviseur.

De definitieve aanleghoogte dient tijdens de uitvoeringsfase door een geotechnisch adviseur te worden bepaald op basis van meetresultaten van de zetting tijdens de uitvoering.

7

Stabiliteit Havendammen

7.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de stabiliteit beschouwd van de Havendammendammen. Hierbij wordt een maatgevende doorsnede berekend met de uiteindelijke kruin op N.A.P. +1.5 meter. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het maatgevend grondprofiel op basis van DKP09.

7.2 UITGANGSPUNTEN

7.2.1 GRONDOPBOUW

Voor het bepalen van een maatgevend ondergrondmodel zijn de sonderingen DKP 06 t/m DKP 09 van Wiertsema&Partners beschouwd. Het ondergrondmodel is gebaseerd op DKP09. De geschematiseerde grondopbouw wordt gegeven in Tabel 25.

	BK_laag [m]+N.A.P	OK_Laag [m]+N.A.P
	.	.
Zand	-4.45	-5
Klei, zwak zandig, slap	-5	-5.8
Klei, organisch, slap	-5.8	-6
Veen	-6	-6.3
Klei, organisch, slap - matig	-6.3	-7.1
Klei, zwak zandig, slap	-7.1	-7.6
Klei, organisch, slap	-7.6	-8.1
Klei, zwak zandig, slap - matig	-8.1	-10.4
Zand, schoon, los	-10.4	-12
Klei, sterk zandig	-12	-12.5
Zand, sterk siltig, kleiig	-12.5	-13.1
Klei, zwak zandig, slap	-13.1	-14.8
Klei, zwak zandig, vast	-14.8	-15.2
Klei, zwak zandig, matig	-15.2	-16.1
Pleistoceen zand	-16.1	

Tabel 25 Geschematiseerde grondopbouw Havendammen, op basis van DKP209

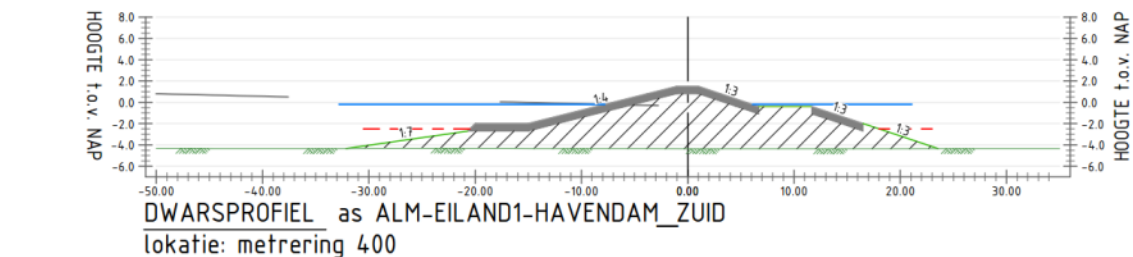
7.2.2 FASERING

Voor de stabiliteit van de havendammen wordt uitgegaan van de volgende fasering:

- Fase 1: Initieel aanlegprofiel: Zand hydraulisch aanbrengen tot aan de waterlijn, N.A.P. -0.2 meter;
- Fase 2: Taluds profileren en materiaal vanuit de taluds terugwinnen om de kruin te realiseren en het aanbrengen van de steenbekleding;

7.2.3 GEOMETRIE

Doorsnede 400 van de zuidelijke Havendam, zie Figuur 23 is representatief voor zowel de Noordelijke als de Zuidelijke Havendam en met een 1:3 talud maatgevend t.o.v. de koppen van de havendammen.



Figuur 23 Doorsnede mtr 400, ref [9]

De linkerkant van het dwarsprofiel op bovenstaande tekening wordt t.b.v. de stabiliteitsbeschouwing aangeduid als buitenkant, waar de kant van het profiel met taluds 1:3 wordt aangeduid als binnenkant van het profiel.

7.2.4 BELASTING

Tijdens het profileren zal een hydraulische kraan op de kruin rijden/staan. Er wordt vanuit gegaan dat de kraan niet op zijn eigen werk wordt geplaatst. De gespreide belasting van de kraan komt overeen met het extra gewicht wat op de kruin wordt geplaatst tijdens het profileren. Om bovenstaande redenen wordt de kraanbelasting niet apart gemodelleerd.

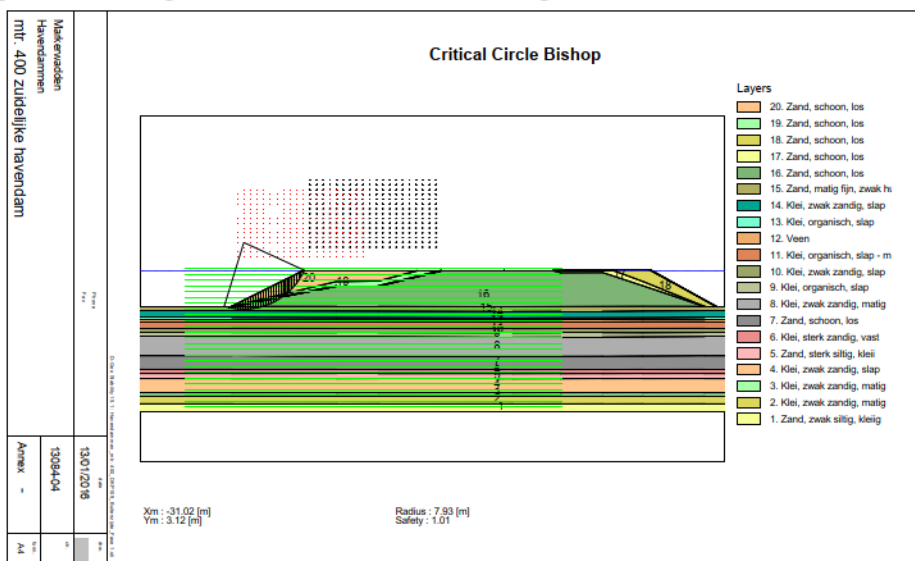
7.3 RESULTATEN STABILITEIT HAVENDAMMEN

7.3.1 FASE 1 INITIEEL AANLEGPROFIEL

Initieel zal het zand voor de havendammen hydraulisch worden aangebracht tot de waterlijn d.m.v. een sproeiopont. De verwachting is dat de initiële onderwater taluds een helling krijgen van 1:6 a 1:7 ten gevolge van het onder water hydraulisch aanbrengen van het zand. Het profiel tot aan de waterlijn met taluds 1:6 a 1:7 is geotechnisch ruim stabiel. Voor deze fase is door middel van een DGeostability berekening de maximale taludhelling bepaald waarbij de veiligheid tegen instabiliteit, $F_s \geq 0.85$.

Uit de stabiliteitsberekening volgt dat voor de grondopbouw ter plaatse van de havendammen een ophoging tot aan de waterlijn met taluds 1:2 ook nog steeds ruim voldoende stabiel is met een veiligheidsfactor van, $F_s = 1.01$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 24. De veiligheidsfactor laat zien dat het talud

ook nog steiler kan worden opgezet. Deze optie is verder niet uitgewerkt omdat de verwachting is dat het initiële onder water talud veel flauwer blijft staan (1:6 a 1:7) en met taluds van 1:2 kan het definitieve profiel worden gerealiseerd, dus steiler is niet nodig.



Figuur 24 Havendam Stabiliteit Fase 1, kruin op waterlijn en taludhellingen 1:2

Toelichting bij Figuur 24:

In de figuur worden verschillende materialen aangegeven doormiddel van nummers. Het ophoogmateriaal is geschematiseerd als los zand. Het ophoogmateriaal heeft de nummers 16 t/m 20. De contouren van materiaal 16 geeft het theoretisch profiel onder water aan. Materiaalnummers 17 en 19 geven de benodigde zettingcompensatie aan. Materiaalnummers 18 en 20 zijn het extra aangebrachte materiaal om het profiel van de havendammen boven water te kunnen realiseren.

7.3.2 FASE 2: TALUDS PROFILEREN EN KRUIJN CONSTRUEREN

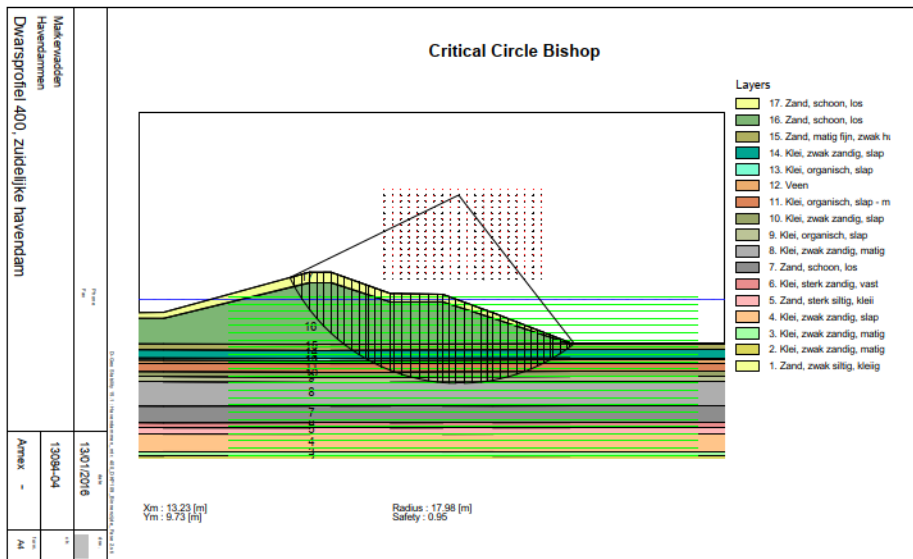
De werkzaamheden in Fase 2 omvatten het profileren van de taluds, het realiseren van de kruin en het aanbrengen van de steenbekleding.

In Fase 2 zal het definitieve profiel worden vormgegeven. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat er nog zetting op zal treden. Om die reden dienen de taluds wat steiler te worden opgezet waarna deze in de tijd naar het definitieve profiel zakt. Om uiteindelijk taluds van 1:4 te realiseren, dient het talud te worden geprofileerd onder ongeveer 1:3,5. Voor definitieve taludhellingen van 1:3, dient het talud onder 1:2,5 te worden geprofileerd.

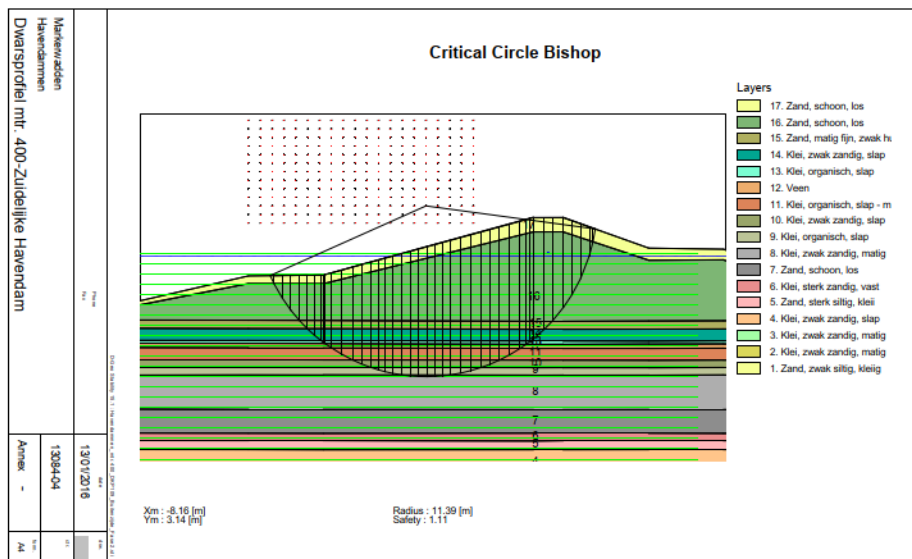
Tijdens deze fase worden de taluds geprofileerd en het overschot aan materiaal gebruikt om de kruin te realiseren. De kruin dient te worden afgewerkt op een niveau van N.A.P. +2.4 meter waarin is rekening gehouden met zettingscompensatie voor een periode van 50 jaar waardoor de havendammen over deze periode zakken naar een kruinniveau van N.A.P. + 1.5 meter.

Het profileren van het profiel kan direct aansluitend aan het aanbrengen van het initiële profiel worden uitgevoerd. De veiligheid tegen instabiliteit aan de binnenzijde bedraagt, $F_s = 0.95$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 25. Taluds kunnen worden geprofileerd met een taludhelling van 1:2,5.

De veiligheid tegen instabiliteit aan de buitenzijde bedraagt, $F_s = 1.11$ (≥ 0.85 , voldoet). Taluds aan de buitenzijde kan worden geprofileerd na 1:3,5.



Figuur 25 Havendam Fase 2 (binnenzijde): Profileren taluds inclusief aanbrengen kruin



Figuur 26 Havendam Fase 2 (buitenzijde): Profileren taluds inclusief aanbrengen kruin

7.4 UITVOERINGSADVIES

7.4.1 INLEIDING

Voor het realiseren van de havendammen kunnen de volgende fasen in het uitvoeringsproces worden onderscheiden:

- Fase 1: Aanbrengen initiële ophoging tot op de waterlijn met taluds minimaal 1:2 (Geotechnisch);
- Fase 2: Profileren van taluds, realiseren van de kruin tot N.A.P. +2.4 m en aanbrengen steenbekleding;

Fase 2 kan direct aansluitend aan fase 1 worden uitgevoerd. Er is geen fasering in tijd benodigd voor geotechnische stabiliteit.

7.4.2 FASERING

Fase 1: Aanbrengen initieel profiel tot op de waterlijn (N.A.P. -0.2 meter) met minimale taludhelling van 1:2.

- In Fase 1 zal het totaal benodigde hoeveelheid materiaal dat nodig is om het theoretisch profiel te realiseren, worden aangebracht. Vanuit geotechnische stabiliteit geredeneerd kan de initiële ophoging worden aangebracht met taludhellingen van 1:2. Op basis van de geotechnische stabiliteit wordt zelfs verwacht dat taluds steiler dan 1:2 mogelijk zijn.

Fase 2: Profileren taluds, realiseren kruin en aanbrengen steenbekleding

- Fase 2 kan, geredeneerd vanuit geotechnische stabiliteit direct aansluitend aan Fase 1 worden uitgevoerd;
- De taluds worden geprofileerd. Bij het profileren dient er rekening mee te worden gehouden dat het profiel nog zakt. Dus het geprofileerde profiel ligt boven de theoretische profiel wat na 50 jaar nog aanwezig dient te zijn;
- Om ervoor te zorgen dat het minimale kruinniveau van N.A.P. + 1.5 meter over 50 jaar wordt gegarandeerd, dient de kruin initieel te worden aangebracht op een niveau van N.A.P. + 2.4 meter;

7.4.3 UITVOERINGSEISEN

Om een gecontroleerde uitvoering te borgen dienen de volgende eisen te worden gehanteerd:

Het initieel aanlegprofiel voor de Havendammen dient te worden aangelegd met een taludhelling van minimaal 1:2.5 boven water en minimaal 1:2 onder water. De kruin mag in combinatie met genoemde taludhellingen initieel worden aangelegd op N.A.P. +2 meter. Het aanbrengen van de zanddam met steilere taluds dient vooraf ter toetsing te worden voorgelegd aan de Geotechnisch adviseur en dient te worden onderbouwd met aanvullende geotechnische informatie.

Tijdens de uitvoeringsfase dient de conceptuele fasering uit het Geotechnisch Uitvoeringsontwerp (13084-04-R02-xx-PTUR) te worden verwerkt in werktekeningen/werkplannen. De werktekeningen/werkplannen dienen ter toetsing te worden voorgelegd aan een geotechnisch adviseur.

De definitieve aanleghoogte dient tijdens de uitvoeringsfase door een geotechnisch adviseur te worden bepaald op basis van meetresultaten van de zetting tijdens de uitvoering.

8

Stabiliteit Compartimenteringsdammen

8.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de stabiliteit beschouwd van de compartimenteringsdammen. Hierbij wordt een maatgevende doorsnede berekend met de uiteindelijke kruin op N.A.P. +2 meter. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het maatgevend grondprofiel op basis van DKM24.

8.2 UITGANGSPUNTEN

8.2.1 GRONDOPBOUW

Maatgevend grondprofiel op basis van DKM 24, zie Tabel 26

Grondsoort (DKM 24)	BK_laag [m]+N.A.P.	OK_laag [m]+N.A.P.
Zand, matig fijn, zwak humeus	-4,5	-4,8
Klei, zwak zandig, slap	--4.8	-5.8
Klei, organisch, slap tot matig	--5.8	-8,5
Veen	-8,5	-11
Klei, organisch, slap-matig	-11	-12,8

Tabel 26 Geschematiseerde grondopbouw op basis van DKM 24

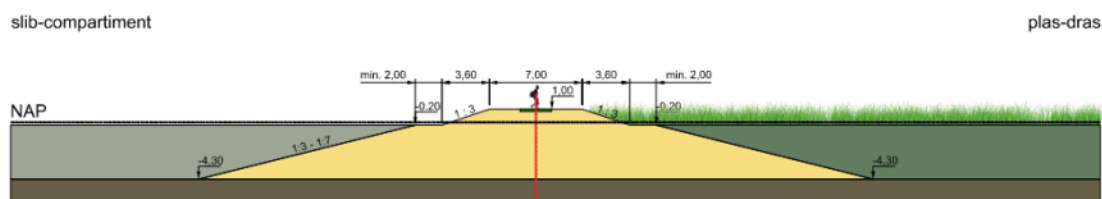
8.2.2 FASERING

Voor de stabiliteitsbeschouwing van de compartimenteringsdammen wordt uitgegaan van de volgende fasering:

- Fase 1: Aanbrengen zaveldammen tot N.A.P. -2 meter;
- Fase 2: Vullen compartiment tot N.A.P. -2 meter;
- Fase 3: Aanbrengen zandlichaam tot N.A.P. + 2 meter;
- Fase 4: Vullen compartiment tot N.A.P. + 2 meter;
- Fase 5: Profileren kruin tot N.A.P. + 2.5 meter;

8.2.3 GEOMETRIE

Voor de maatgevende doorsnede is de onderstaande geometrie aangehouden. Het principe is dat het uiteindelijke kruinniveau N.A.P. + 1.0 bedraagt met een breedte van 7 meter en dat met een taludhelling van 1:3 een overgang wordt gecreëerd naar een plasberm welke uiteindelijk rond de waterlijn komt te liggen. Het kruinniveau van minimaal N.A.P.+ 1 meter dient tot het einde van de onderhoudsfase (31-12-2030) te worden gegarandeerd. Om het minimale niveau van N.A.P + 1 meter te garanderen dient tijdens de bouwfase de kruin hoger te worden aangelegd.



Profiel 11: Secundaire luwtedam, symmetrisch 7m breed +1,00 nap

Figuur 27 Dwarsprofiel secundaire luwtedam, ref [10]

8.2.4 BELASTING

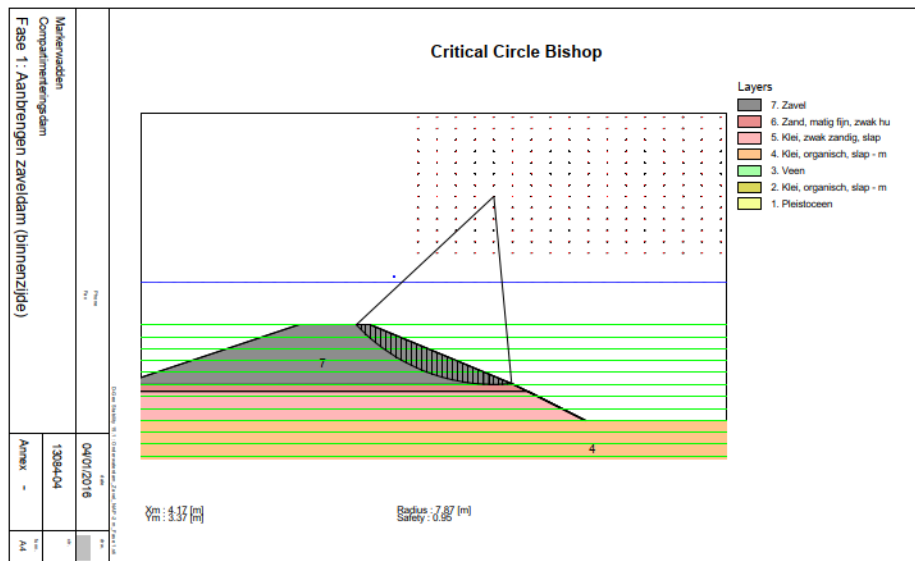
Tijdens het profileren zal een hydraulische kraan op de kruin rijden/staan. Er wordt vanuit gegaan dat de kraan niet op zijn eigen werk wordt geplaatst. De gespreide belasting van de kraan komt overeen met het extra gewicht wat op de kruin wordt geplaatst tijdens het profileren. Om bovenstaande redenen wordt de kraanbelasting niet apart gemodelleerd.

8.3 RESULTATEN STABILITEIT COMPARTIMENTERINGS DAMMEN

8.3.1 FASE 1, OPZETTEN ONDERWATER ZAVEL DAMMEN

Allereerst worden onderwaterdammen opgezet met de kruin op N.A.P. – 2 meter (netto ophoging 2.5 meter). De onderwaterdammen worden opgezet met het zavel wat direct naast de onderwaterdamlocatie wordt gewonnen. Het cunet wat op deze manier van winnen ontstaat zal een diepte hebben van 1 a 1.5 meter en zich uitstrekken over een breedte van 15 tot 30 meter. Er vanuitgaande dat het zavel over de totale dikte van deze laag wordt gewonnen betekent dit dat voor DKM24 wordt gerekend met een cunetbodem op N.A.P. – 6 meter.

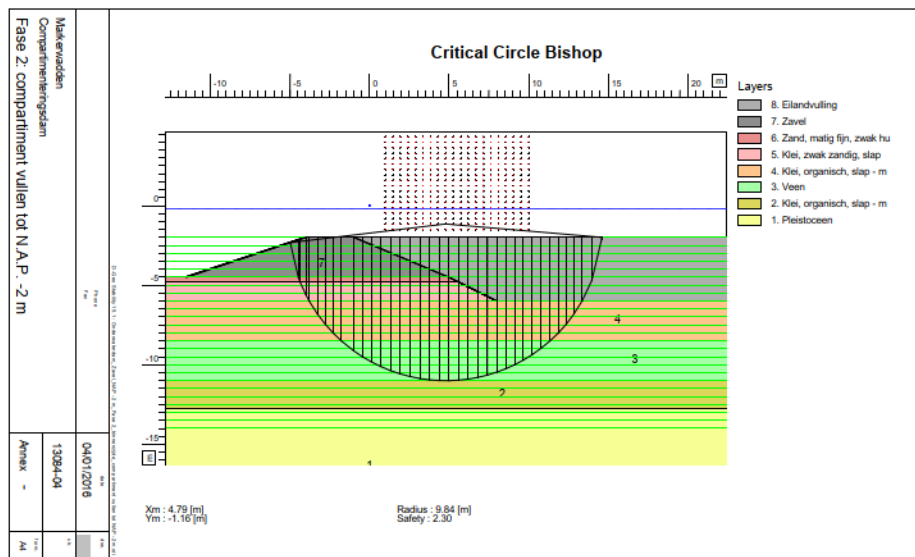
Ten behoeve van de geotechnische stabiliteit dienen de onderwaterdammen te worden opgezet met een talud van minimaal 1:3. De veiligheid tegen instabiliteit bedraagt dan $F_s=0.95$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 28. Het gaat hier om een geotechnische toets. Morfologisch stabiele taluds zullen veel flauwer zijn.



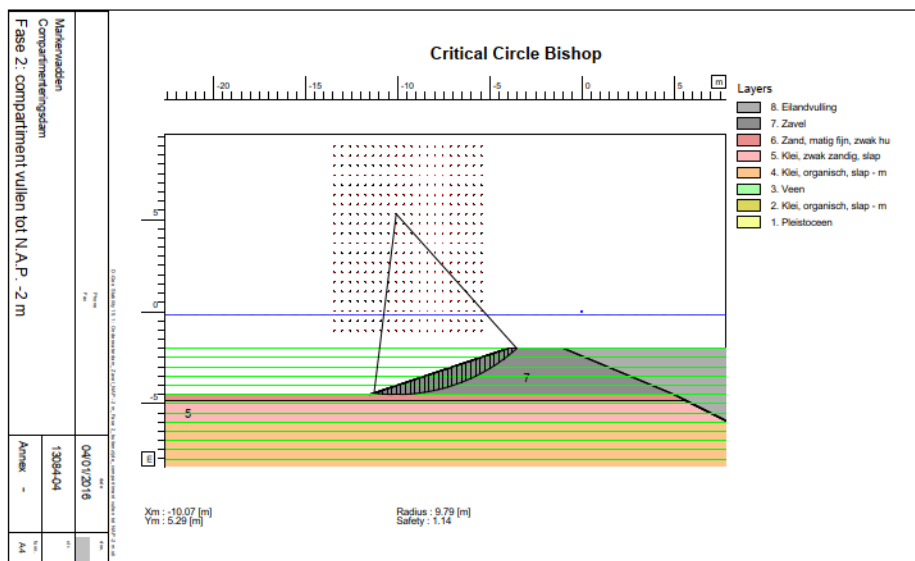
Figuur 28 Fase 1: Stabiliteit Zaveldam, $F_s=0.95$ (≥ 0.85 , voldoet), talud 1:3

8.3.2 FASE 2, VULLEN COMPARTIMENT TOT N.A.P. -2 METER

Na het opzetten van de onderwaterdammen zal het holoceen ter plaatse van de toekomstige zandwinput worden gebaggerd en zal het initiële compartiment worden gevuld tot ongeveer N.A.P. - 2 meter. Voor de stabiliteit van de onderwaterdam is zowel de binnenwaartse (kant van de aanvulling) als de buitenwaartse stabiliteit beschouwd. De binnenwaartse veiligheid tegen instabiliteit bedraagt $F_s=2.3$ en voldoet dus aan de minimumeis van 0.85, zie Figuur 29. De buitenwaartse stabiliteitsfactor bedraagt $F_s=1.14$ en voldoet dus ook, zie Figuur 30.



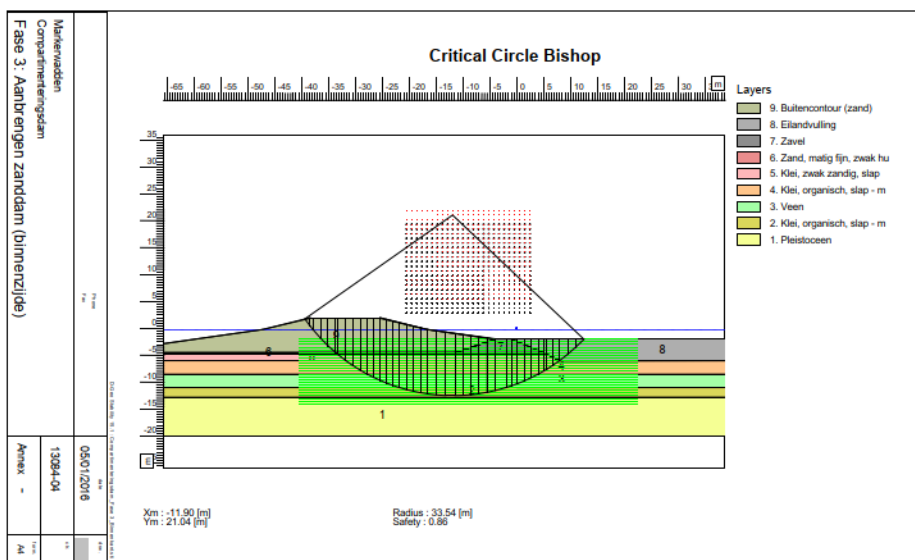
Figuur 29 Fase 2 (binnenzijde): vullen compartiment tot N.A.P. -2 m; $F_s=2.3$ (≥ 0.85 , voldoet)



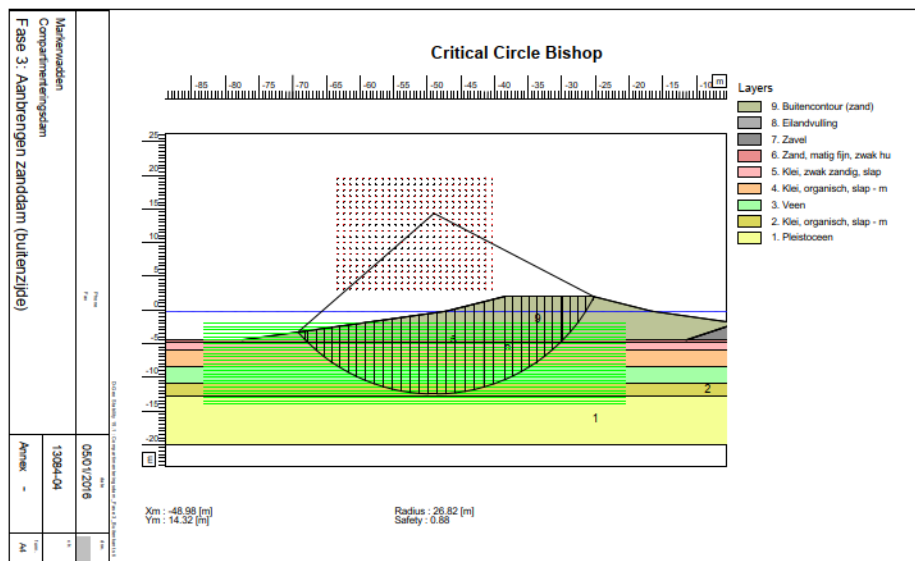
Figuur 30 Fase 2 (buitenzijde): vullen compartiment tot N.A.P. -2 m, $F_s=1.14$ (≥ 0.85 , voldoet)

8.3.3 FASE 3, AANBRENGEN COMPARTIMENTERINGSDAM

Na het vullen van het compartiment kan zand uit de zandwinput worden gewonnen om daarmee de compartimenteringsdammen verder tot boven water op te zetten. Het uitgangspunt is dat zavel dam onderdeel uitmaakt van de compartimenteringsdam. Verder wordt uitgegaan van een onderwatertalud van de zanddam van 1:7, en een boven water talud van 1:4. Uit ervaring van verkennende stabiliteitsberekeningen weten we dat de kruin, i.v.m. de geotechnische stabiliteit, initieel tot ongeveer N.A.P. +2.0 meter kan worden opgezet. Uitgangspunt voor de berekening vormt een kruinbreedte van 13 meter. Ook voor de compartimenteringsdam is zowel de binnenwaartse als de buitenwaartse stabiliteit bepaald. De binnenwaartse stabiliteitsfactor bedraagt $F_s=0.86$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 31. De buitenwaartse stabiliteitsfactor bedraagt $F_s=0.88$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 32.



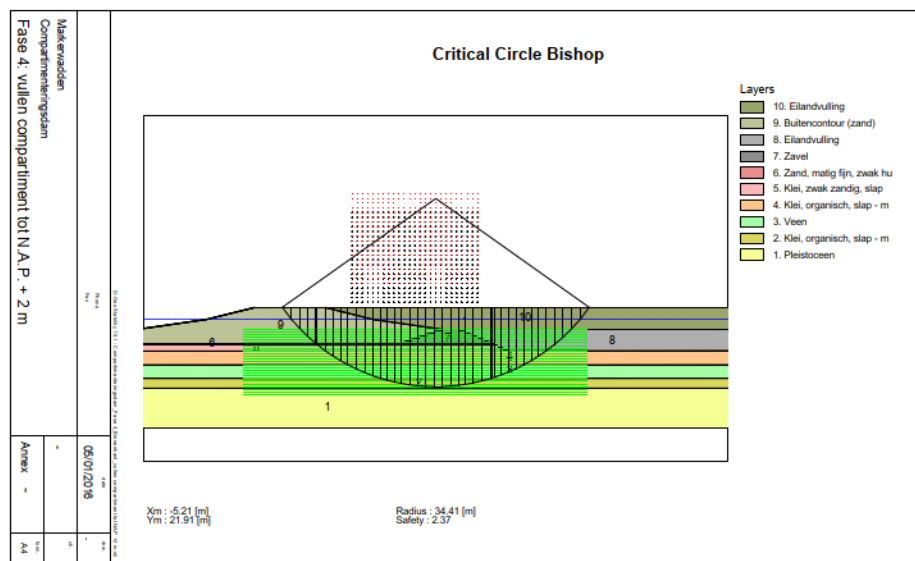
Figuur 31 Fase 3 (binnenzijde): Aanbrengen Compartimenteringsdam; $F_s=0.86$ (≥ 0.85 , voldoet)



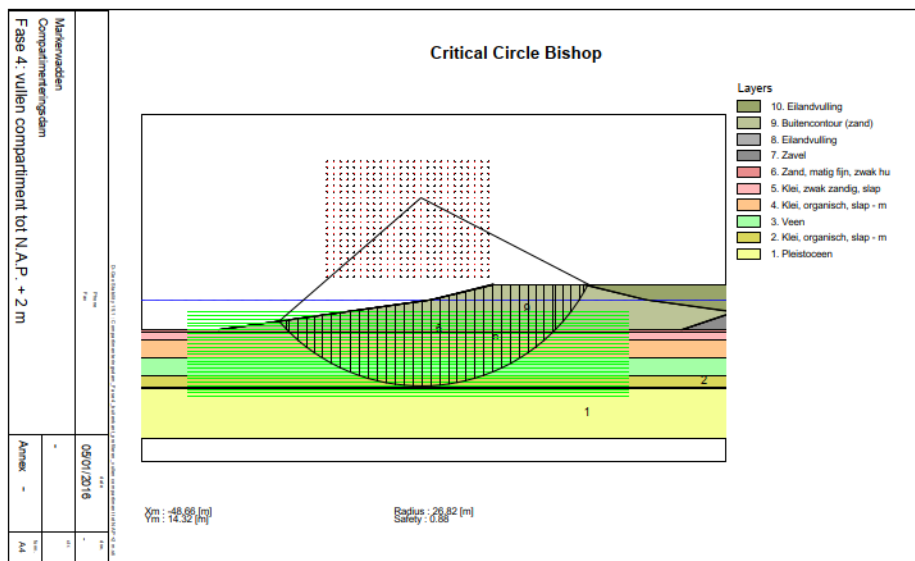
Figuur 32 Fase 3 (buitenzijde): Aanbrengen Compartimenteringsdam; $F_s=0.88$ (≥ 0.85 , voldoet)

8.3.4 FASE 4: VULLEN COMPARTIMENT TOT N.A.P. + 2 METER

In fase 4 worden de compartimenten volledig gevuld tot een niveau van ongeveer N.A.P. + 2 meter. De binnenwaartse veiligheidsfactor bedraagt $F_s=2.37$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 33. En de buitenwaardse veiligheidsfactor bedraagt 0,88 (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 34.



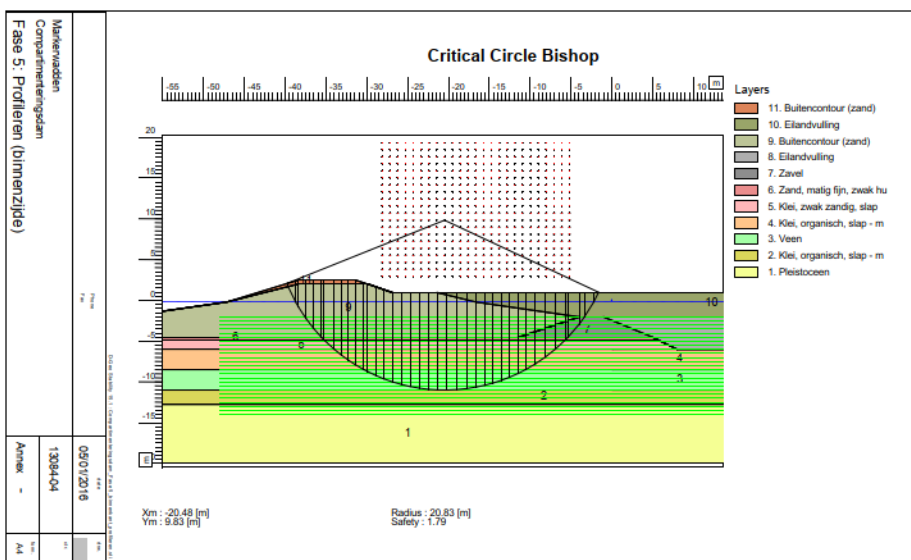
Figuur 33 Fase 4 (binnenzijde): Vullen compartiment tot N.A.P. + 2 meter, $F_s= 2.37$ (≥ 0.85 , voldoet)



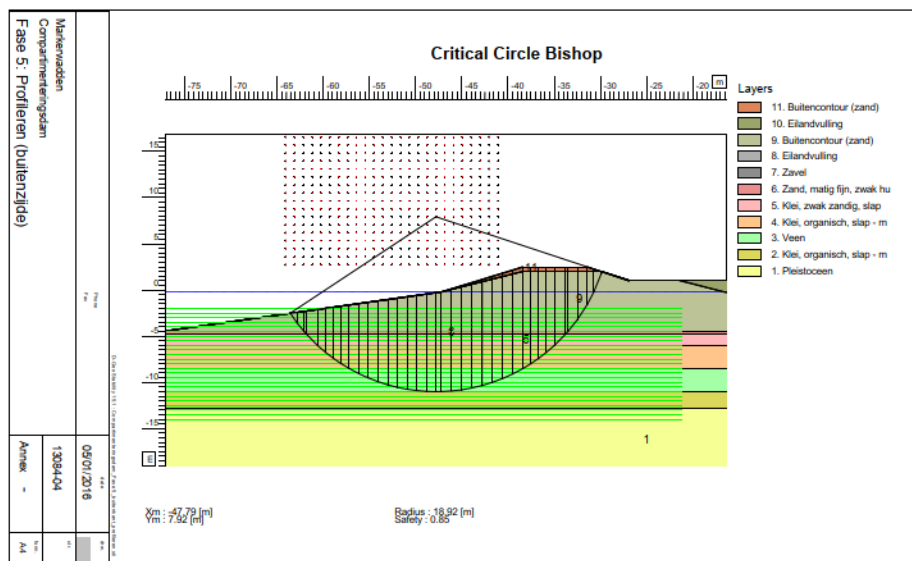
Figuur 34 Fase 4 (buitenzijde): Vullen compartiment tot N.A.P. + 2 meter, $F_s = 0.88$ (≥ 0.85 , voldoet)

8.3.5 FASE 5: PROFILEREN COMPARTIMENTERINGSDAM

Tijdens het profileren is de buitenwaartse stabiliteit maatgevend. Tijdens het profileren zal een plas-dras zone worden gegraven en zal de kruin worden afgewerkt op ongeveer N.A.P. + 2.5 meter. De veiligheid tegen instabiliteit is voor de buitenwaartse stabiliteit onvoldoende indien wordt uitgegaan van het minimale aanpassingspercentage van 5%. Dit betekent dat er een wachttijd dient te worden geïntroduceerd om voldoende veiligheid tegen instabiliteit te creëren in Fase 5 van het project. Bij een wachttijd van 1 jaar (365 dagen) vanaf de start van het aanbrengen van de zanddam (Fase 3) kan de compartimenteringsdam voldoende veilig worden geprofileerd. De binnenwaartse veiligheidsfactor bedraagt dan $F_s = 1.79$ (≥ 0.85 , voldoet), zie Figuur 35. De buitenwaartse veiligheid bedraagt dan $F_s = 0.85$ (≥ 0.85).



Figuur 35 Fase 5 (binnenzijde): Profileren Compartimenteringsdam, $F_s = 1.79$ (≥ 0.85 , voldoet)



Figuur 36 Fase 5 (buitenzijde): Profileren Compartimenteringsdam, $F_s = 0.85$ (≥ 0.85 , voldoet)

8.4 UITVOERINGSADVIES

8.4.1 INLEIDING

In verband met geotechnische stabiliteit dient de ophoging t.b.v. de compartimenteringsdammen gefaseerd in tijd te worden aangebracht. Hierbij kunnen de volgende fasen in het uitvoeringsproces worden onderscheiden:

- Fase 1: Opzetten onderwaterdammen tot N.A.P. -2 meter;
- Fase 2: Vullen compartiment tot N.A.P. - 2 meter;
- Fase 3: Aanbrengen compartimenteringsdammen;
- Fase 4: Vullen compartiment tot N.A.P. + 2 meter;
- Fase 5: Profileren compartimenteringsdam ($t=365$ dagen);

Het moment in tijd waarop een fase kan worden uitgevoerd i.v.m. geotechnische stabiliteit, wordt (indien deze niet direct kan worden uitgeoerd) per fase aangegeven in dagen ten opzichte van start ophogen. Bijvoorbeeld $t= 365$ dagen wil zeggen dat in dit geval Fase 5 kan worden uitgevoerd 365 dagen na start ophoog werkzaamheden. Vermeldde tijden zijn indicatief en kunnen tijdens het uitvoeringsproces worden bijgestuurd op basis van monitoringgegevens. Aanpassing in de fasering kan plaats vinden na goedkeuring door een geotechnisch adviseur.

Opgemerkt wordt dat de fasen waar geen tijd bij vermeld staat fasen zijn die theoretisch op $t= 1$ dag kunnen worden uitgevoerd, er is geen aanpassing van de ondergrond nodig om geotechnisch stabiel te zijn.

De fasering wordt verder toegelicht in de volgende paragraaf. Om een geotechnisch stabiele ophoging te realiseren worden vanuit het ontwerp randvoorwaarden bepaald waarbinnen het uitvoeringsproces zich mag bewegen. Een voorbeeld zijn minimale taludhellingen en een maximaal kruinniveau. Naast deze technische randvoorwaarden zoals gedefinieerd in paragraaf 8.4.2, zijn er enkele proceseisen gedefinieerd om een gecontroleerde uitvoering te borgen. Voor deze proceseisen wordt verwezen naar 8.4.3.

8.4.2 FASERING

Fase 1: Opzetten onderwaterdammen tot N.A.P. -2 meter

Om het eerste gebaggerde holocene materiaal te kunnen opvangen zullen onderwaterdammen worden opgezet met gebiedseigen materiaal. Deze onderwaterdammen kunnen geotechnisch stabiel worden aangebracht met taludhellingen van 1:3 met de kruin op N.A.P. -2 meter. Let op het betreft hier een geotechnische controle. De taluds zullen wellicht flauwer moeten zijn/worden om ook morfologisch stabiel te zijn.

Fase 2: Vullen compartiment tot N.A.P. - 2 meter

Binnen de compartimenteringsdammen kan het gebaggerde holocene materiaal worden aangebracht tot N.A.P. - 2 meter.

Fase 3: Aanbrengen Compartimenteringsdammen

Na het vullen van het compartiment tot N.A.P. -2 meter, kan zand uit de zandwinput worden gewonnen om daarmee de compartimenteringsdammen verder tot boven water op te zetten. Het uitgangspunt is dat zaveldam onderdeel uitmaakt van de compartimenteringsdam. De compartimenteringsdammen kunnen initieel geotechnisch stabiel worden opgezet met een onderwatertalud van 1:7, en een boven water talud van 1:4. De kruin kan initieel tot N.A.P. +2.0 meter worden opgezet.

Fase 4: Vullen Compartiment tot N.A.P. + 2 meter.

In deze fase worden de compartimenten volledig gevuld tot een niveau van ongeveer N.A.P. + 2 meter.

Fase 5: Profileren Compartimenteringsdam ($t=365$ dagen)

Tijdens het profileren is de buitenwaartse stabiliteit maatgevend. Tijdens het profileren zal een plas-dras zone worden gegraven en zal de kruin worden afgewerkt op ongeveer N.A.P. + 2.5 meter. Om geotechnisch stabiel te zijn dient voor het uitvoeren van fase 5 een wachttijd te worden geïntroduceerd van 1 jaar (365 dagen) vanaf de start van het aanbrengen van de zanddam (Fase 3).

8.4.3 UITVOERINGSEISEN

Om een gecontroleerde uitvoering te borgen dienen de volgende technische- en proceseisen te worden gehanteerd:

Het initieel aanlegprofiel voor de compartimenteringsdammen/zachte rand dient te worden aangelegd met een taludhelling van 1:4 boven water en 1:7 onder water. De kruin mag in combinatie met genoemde taludhellingen initieel worden aangelegd op N.A.P. +2 meter. Het aanbrengen van de zanddam met steilere taluds dient vooraf ter toetsing te worden voorgelegd aan de Geotechnisch adviseur en dient te worden onderbouwd met aanvullende geotechnische informatie.

Tijdens de uitvoeringsfase dient de conceptuele fasering uit het Geotechnisch Uitvoeringsontwerp (13084-04-R02-xx-PTUR) te worden verwerkt in werktekeningen/werkplannen. De werktekeningen/werkplannen dienen ter toetsing te worden voorgelegd aan een geotechnisch adviseur.

De aanleghoogtes dienen tijdens de uitvoeringsfase door een geotechnisch adviseur te worden bepaald op basis van meetresultaten van de zetting tijdens de uitvoering.

9

Nauwkeurigheid Berekeningen

9.1 ZETTINGBEREKENINGEN

De gepresenteerde resultaten van de zettingberekeningen zijn gebaseerd op enkele representatieve sonderingen. De dikte van het holocene pakket van orde grootte 8 meter wordt als representatief beschouwd. Er zijn locaties waar de kleidikte groter is.

De berekende zettingen zijn verwachtingswaarden op basis van karakteristieke waarden van de samendrukkingparameters uit tabel 2.b. Naast de ruimtelijke spreiding van zettingen t.g.v. de heterogeniteit van de bodem welke tot uitdrukking komt in de gepresenteerde resultaten van de zettingberekeningen, zie onder- en bovengrens Hbruto/Hnetto in paragraaf 4.5, is de spreiding rond samendrukkingparameters vrij groot. De variatiecoëfficiënt ($V = \text{Standaardafwijking} / \text{gemiddelde}$) bedraagt orde grootte 25%. De zettingen worden in dit rapport als precieze waarden gepresenteerd. Het is goed om te realiseren dat met de huidige zettingmodellen en de spreiding in samendrukkingparameters de Variatiecoëfficiënt van de berekende zetting orde grootte 30% bedraagt.

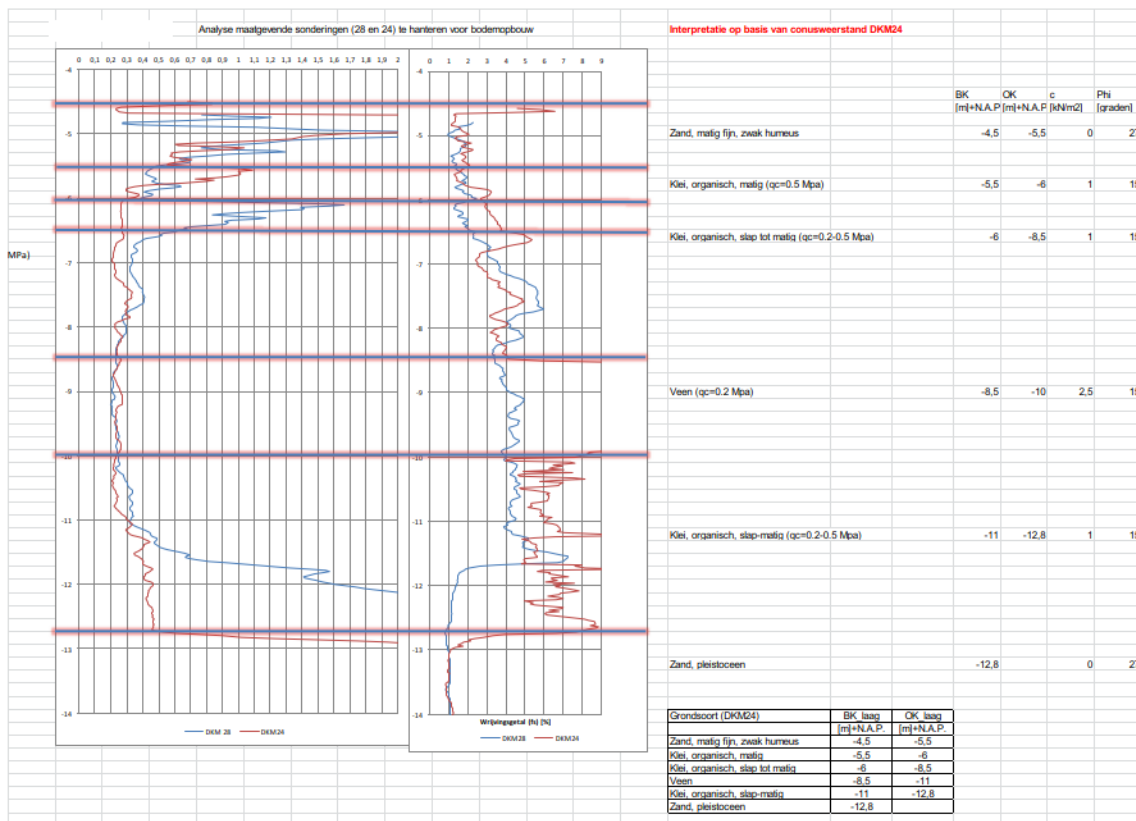
Tijdens de uitvoeringsfase en onderhoudsperiode van de Markerwadden zal de zetting worden gemonitord. Op basis van de meetresultaten zal de verwachtingswaarde van de zetting worden bijgesteld en zullen de definitieve aanleghoogten worden bepaald. De berekende zettinglijn zal worden "gefit" op de meetresultaten waardoor een betere voorspelling van de te verwachten zetting kan worden gemaakt. De wijze van monitoring zal verder worden beschreven in het Monitoringplan.

9.2 STABILITEITBEREKENINGEN

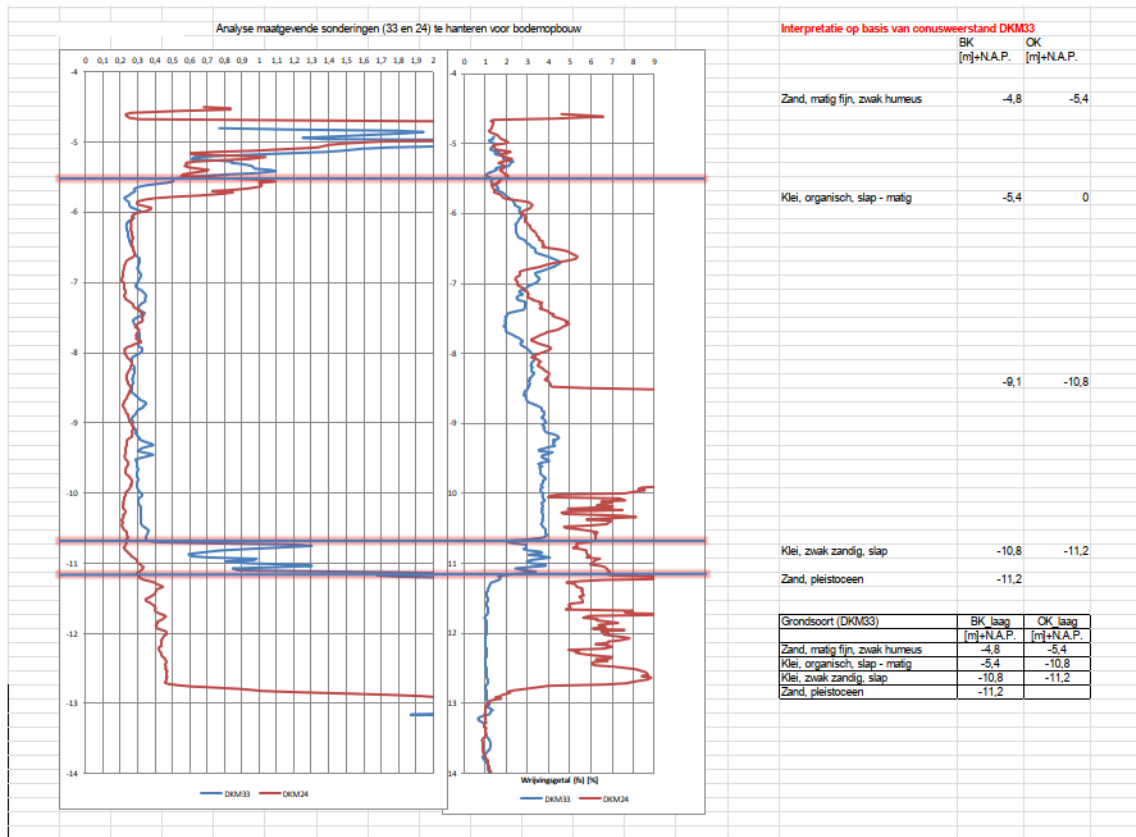
Ook voor de stabiliteitberekeningen geldt dat er een spreiding rond de berekende resultaten valt te verwachten. Deze spreiding wordt veroorzaakt door spreiding in sterkteparameters. Bovendien wordt voor de fasering gerekend met gezette profielen en aanpassingspercentages welke het resultaat zijn van een zettingberekening. Op basis van stabiliteitberekeningen worden taludhellingen en wachttijden tussen de verschillende slagen bepaald. Als veilige aanpak, rekening houdend met alle spreiding op parameters, is er voor de sterkteparameters gerekend met conservatieve waarden. Dit maakt dat de berekende taludhellingen en wachttijden als representatief kunnen worden beschouwd.

Initieel kan een zanddam met een kruinhoogte van N.A.P. + 2 meter stabiel worden aangelegd met minimale (niet steiler) taludhellingen van 1:7 onder water respectievelijk 1:4 boven water. Elke vervolgfase dient te worden vrijgegeven door een geotechnisch adviseur.

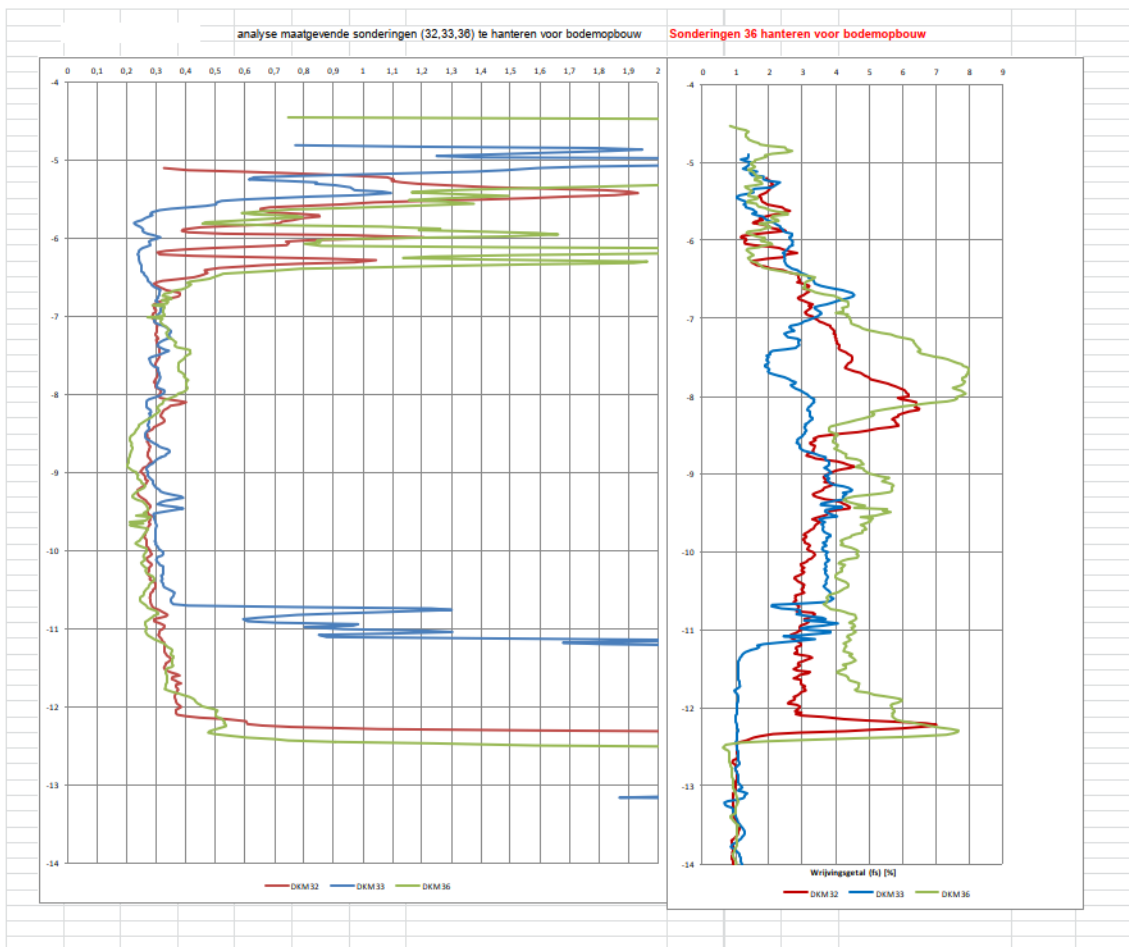
Bijlage 1 DKM 24

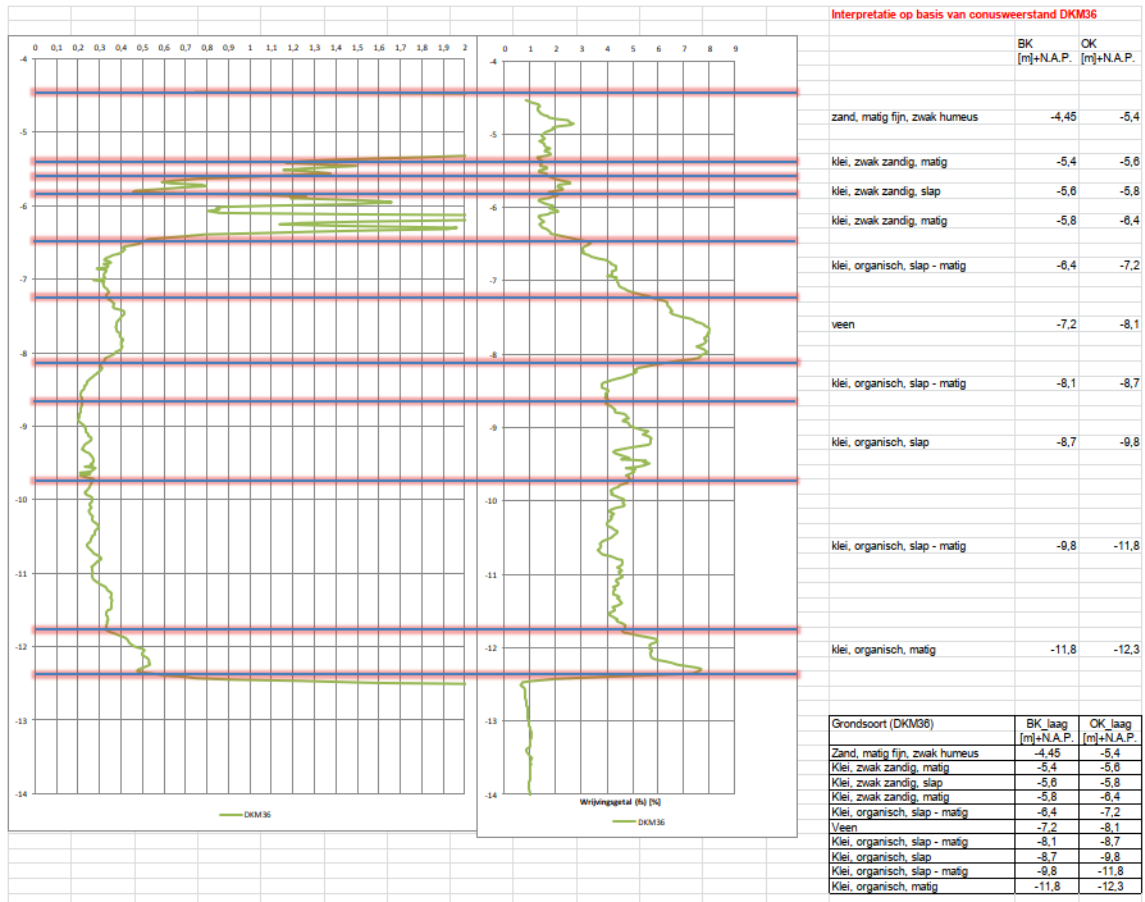


Bijlage 2 DKM33

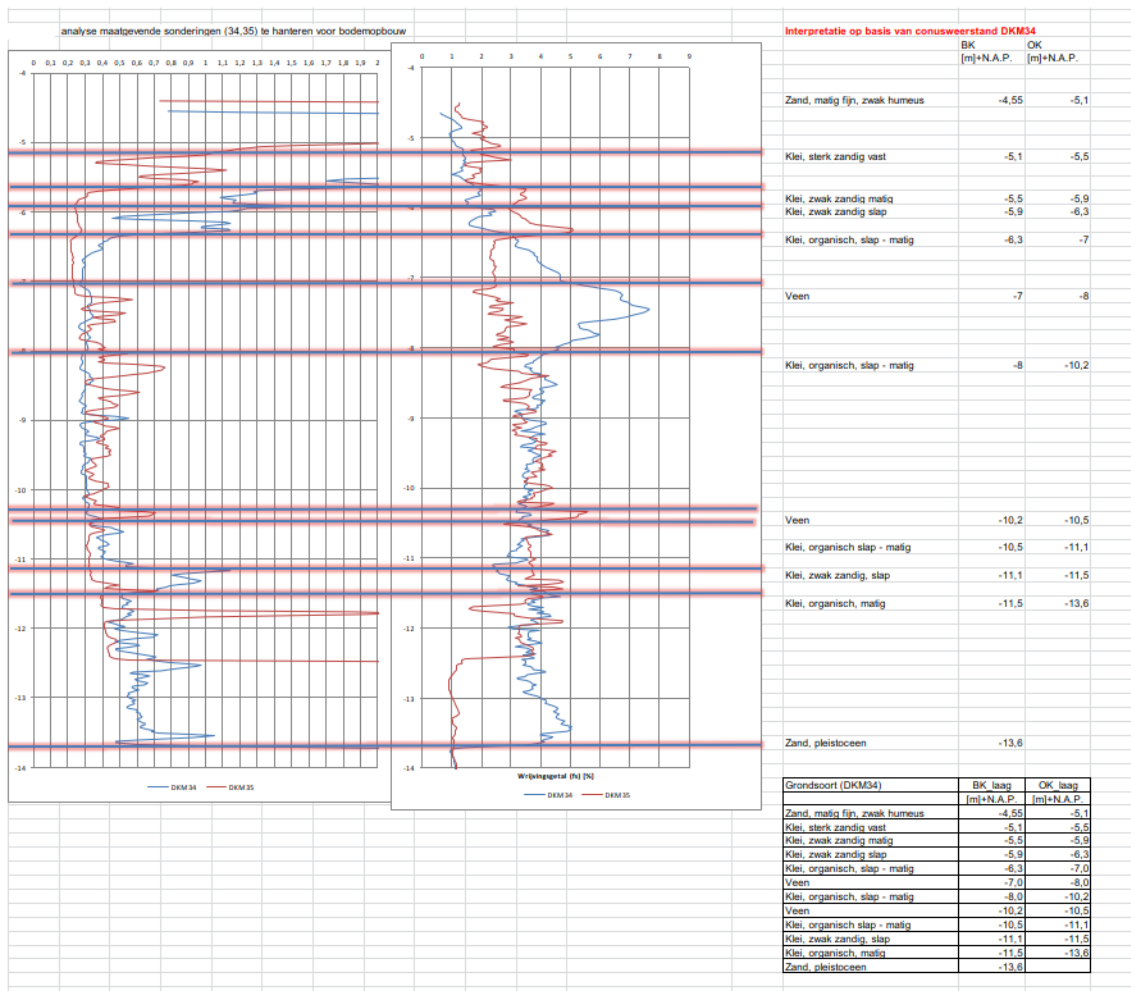


Bijlage 3 DKM 36

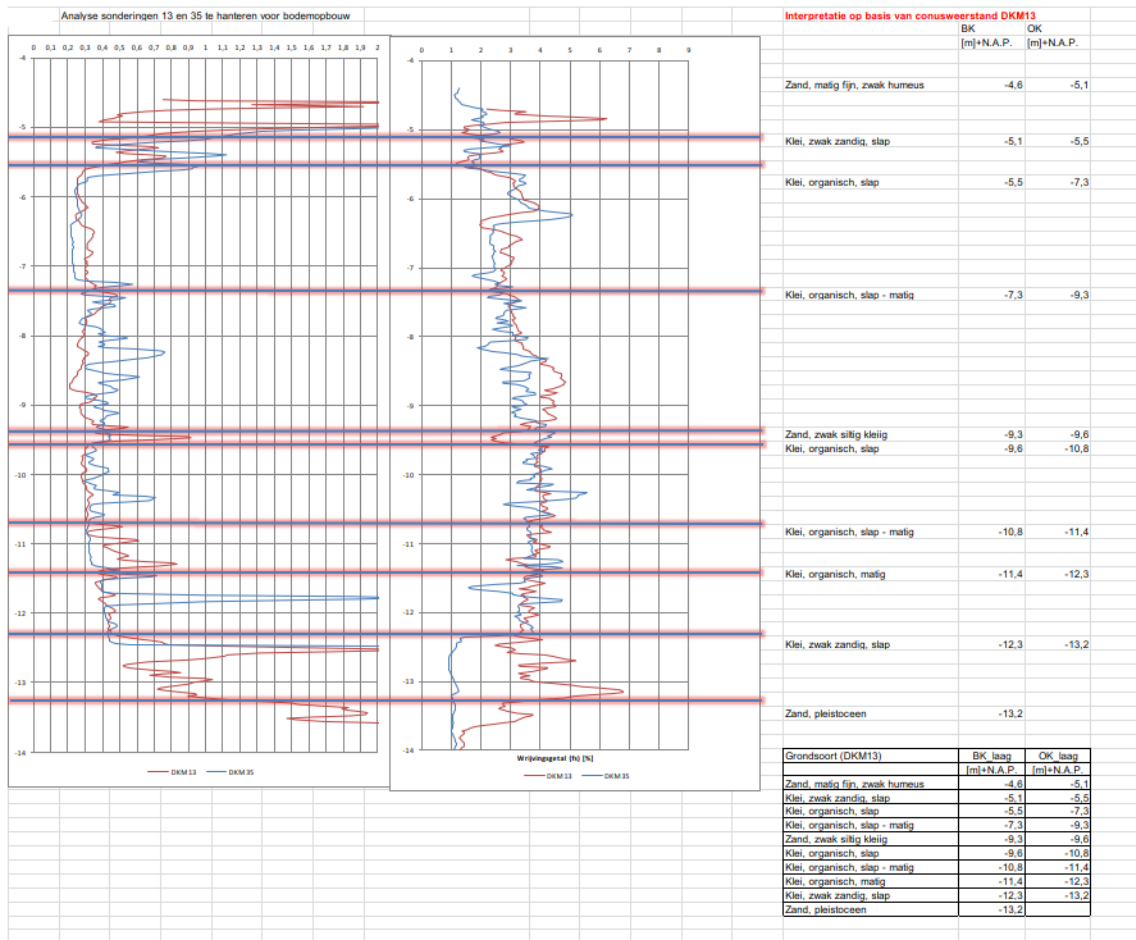




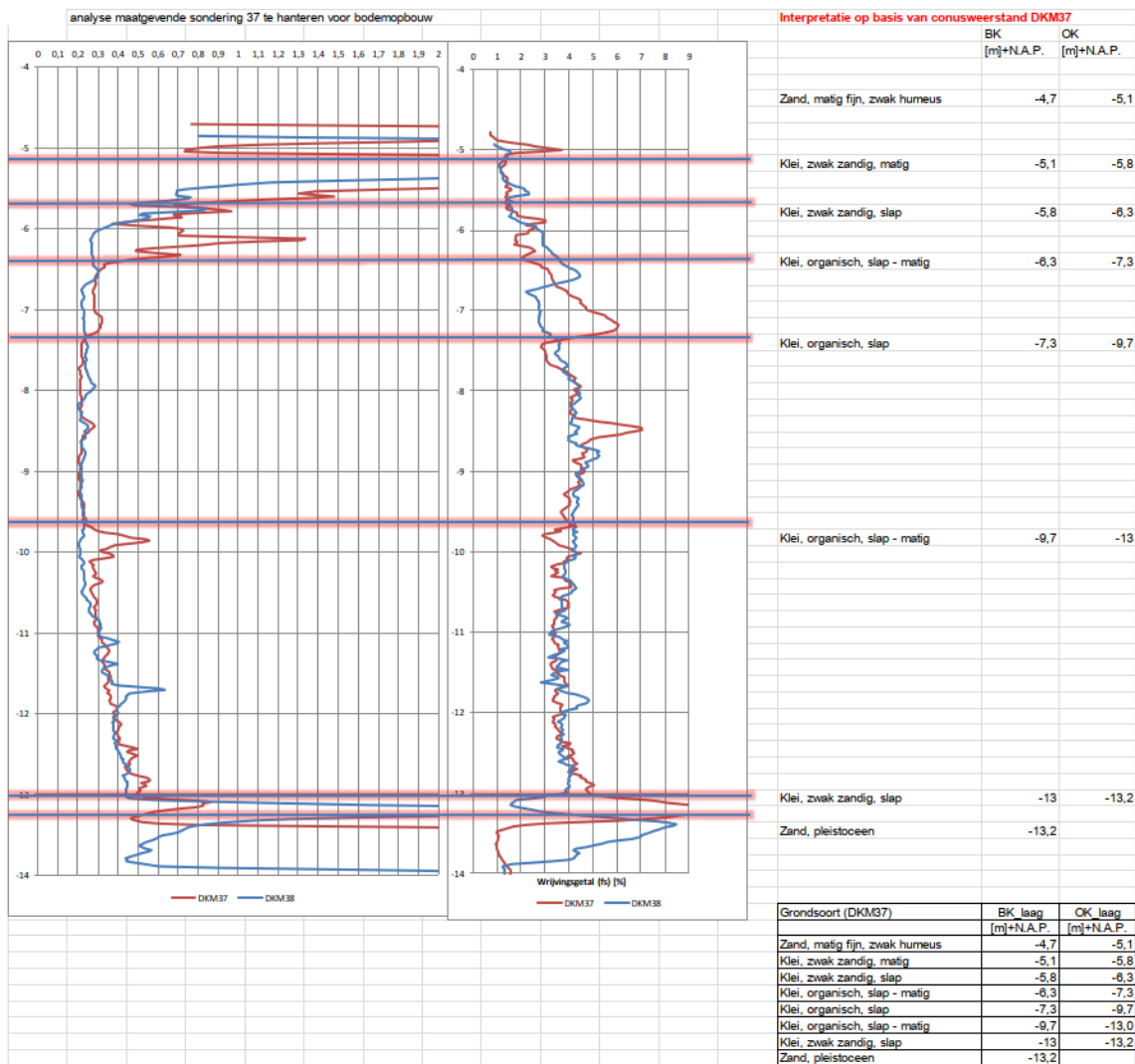
Bijlage 4 DKM34



Bijlage 5 DKM13



Bijlage 6 DKM37



Bijlage 7

DKM31

