



Planuitwerking Dijkversterking Den Oever - Den Helder

Geohydrologische analyse

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

18 maart 2024

Project
Opdrachtgever

Planuitwerking Dijkversterking Den Oever - Den Helder
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Document
Status
Datum
Referentie
Corsanummer

Geohydrologische analyse
Definitief 02
18 maart 2024
128893/24-003.879
23.1132044

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

128893
C. van Mastrigt MSc.
Mw. A.M. Springer-Rouwette MSc.

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

Ing. B. Seesing, ir. L. Westrik
Ir. R. de Boer, ir. J. Sluis
C. van Mastrigt MSc.

Paraaf

Casper van Mastrigt

Digitally signed by Casper van Mastrigt
DN: cn=Casper van Mastrigt, c=NL,
o=Witteveen+Bos,
email=Casper.vanmastrigt@Witteveenbos.com
Reason: I am the author of this document
Location: Deventer
Date: 2024.03.18 09:14:42 +0100

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	6
1.1	Algemeen	6
1.2	Aanleiding	6
1.3	Plan van aanpak	7
1.4	Doel	7
1.5	Leeswijzer	7
1.6	Gebruikte afkortingen	8
2	UITGANGSPUNTEN	9
2.1	Peilbuisraaien	9
2.2	Geometrie	11
2.3	Zetsteen en schematisatie buitentalud	11
2.4	Hydraulische uitgangspunten	12
2.5	Grondonderzoek	14
2.6	Gebruikte software	14
3	REVIEW VERKENNINGSFASE	15
3.1	Raai 1	15
3.2	Raai 2, 3, 4 en 5	15
3.2.1	Inleiding	15
3.2.2	Raai 2 en 3	16
3.2.3	Raai 4 en 5	20
3.3	Raai 6	23
3.4	Raai 7	24
3.5	Raai 8, 9 en 10	25
3.6	Raai 11	26
3.7	Veiligheidsfilosofie	26
3.8	Conclusie	26
4	AANGEPASTE KALIBRATIES	27

4.1	Raai 1	27
4.2	Raai 4	28
4.3	Raai 6	30
4.4	Raai 9	33
5	WBN VOOR ZICHTJAAR 2073	35
5.1	Algemeen	35
5.2	Raai 1	35
5.3	Raai 4	37
5.4	Raai 6	38
	5.4.1 Waterstand bij norm voor zichtjaar 2073	38
	5.4.2 Gevoeligheidsberekeningen / scenario's raai 6	40
5.5	Raai 9	41
5.6	Freatische lijn waterstand per raai	42
	5.6.1 Raai 1, 2 en 3	42
	5.6.2 Raai 4, 5 en 6	43
	5.6.3 Raai 7	43
	5.6.4 Raai 8, 9 en 10	44
	5.6.5 Raai 11	44
5.7	Omgang met onzekerheden	45
5.8	Samenvatting	47
6	VAKINDELING FREATISCHE LIJN	48
7	IMPACT OP DE SCOPE	51
7.1	Methodiek impact op asfaltbekleding	51
	7.1.1 Advies ADO over onzekerheden binnen ASP	53
7.2	Uitgangspunten beoordeling	54
7.3	Resultaten impact op asfaltbekleding	55
	7.3.1 Resultaat eenvoudige toets	55
	7.3.2 Resultaten toets op maat	56
	7.3.3 Vergelijking originele scope met aangepaste scope	58
7.4	Impact op overige faalmechanismen	60
	7.4.1 Macrostabieliteit binnen- en buitenwaarts (STBI en STBU)	61
	7.4.2 Piping (STPH)	64
	7.4.3 Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	64
	7.4.4 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABU)	64
	7.4.5 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	65
	7.4.6 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)	65
	7.4.7 Microstabieliteit (STMI)	65
	7.4.8 Stabiliteit steenzetting (ZST)	66

7.4.9	NietWaterkerende Objecten (NWO)	66
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	67
9	REFERENTIES	69
	Laatste pagina	70
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Informatie zetsteen	33
II	Kalibraties verkenningfase	3
III	Grondonderzoek raai 2, 3, 4 en 5	16
IV	TOM voor golfklappen en asfaltbekleding	3
V	Geotechnisch lengteprofiel tracé	21
VI	Verslag overleg geohydrologische analyse DODH	33
VII	Advies ADO: Bepalen freatische lijn voor beoordeling en ontwerp buitenbekleding op dijktraject DODH	2
VIII	Advies ADO: Ontwerpverificatie asfaltbekleding DODH	3

INLEIDING

1.1 Algemeen

In de verkenningsfase is in het project Den Oever - Den Helder (DODH) een voorkeursalternatief (VKA) vastgelegd [ref. 1]. Naar aanleiding van de inzichten die Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) opgedaan heeft bij het onderzoek naar de hoge freatische lijn op normtraject 13-4 (project Helderse Zeewering te Den Helder), is de hoge freatische lijn in het project DODH - in de afrondende fase van OL3 - nogmaals kritisch onderzocht.

1.2 Aanleiding

De freatische lijn is input voor het definitief ontwerp (DO) in de planuitwerkingsfase. Het model en de afgeleide freatische lijn uit de verkenningsfase is beschreven in 'Rapportage nader onderzoek DODH' uit 2019 [ref. 3]. Vervolgens is er door verscheidene specialisten opnieuw naar gekeken, onderzoek gedaan en dit heeft geleid tot nieuwe inzichten. Op basis hiervan heeft HHNK in 2023 een extra analyse uitgevoerd op het bestaande geohydrologische PlaxFlow-model (uit de verkenningsfase, opgesteld door RHDHV/HKV) waarmee de freatische lijn is afgeleid. De conclusies van het onderzoek van HHNK is gevat in de notitie 'Freatische Lijn DODH bevindingen' [ref. 2]. Uit de analyse blijkt dat HHNK onvoldoende vertrouwen heeft in de berekende freatische lijn, vooral met betrekking tot het ontwerp van de onderrand asfalt op het buitentalud van het waterbouwasfalt (WAB) in sectie 2. Het gaat met name om:

- de resultaten van de PlaxFlow modellen, met name de kalibratie van peilbuisraai 6. De fit van de eerste piek is goed, echter na de piek stroomt het water in het model sneller weg dan uit de peilbuismeting blijkt, zie ook afbeelding 3.12;
- onvoldoende onderbouwing voor de projectie van de resultaten van raai 1 en 6 op raai 2 en 3 respectievelijk raai 4 en 5;
- onvoldoende onderbouwing van de onzekerheidstoets, er is 10 cm toegepast;
- onduidelijk op welke manier de verdeling in vakken gemaakt per peilbuis is gemaakt (met andere woorden: waarom ligt de grens van raai-vak 5 naar raai-vak 6 ter plaatse van DP 11.7 en de overgang van raai-vak 6 naar raai-vak 7 ter plaatse van DP 12.6? Bij deze laatste overgang is het verschil in freatische lijn 0,85 m in het zichtjaar 2073).

In overleg met HHNK is besloten dat er een extra geohydrologische modelstudie uitgevoerd moet worden om vertrouwen te krijgen in de te hanteren freatische lijn. Omdat dit een belangrijk uitgangspunt is voor het DO (en de uitkomsten mogelijk veel impact kunnen hebben op het DO of zelfs de scope van de dijkversterking) is besloten om de geohydrologie op het gehele traject nader te onderzoeken. Dat wil zeggen dat alle modellen over het gehele projectgebied bekeken worden. De focus ligt op de betrouwbaarheid van de schematisatie van de freatische lijn.

1.3 Plan van aanpak

In de verkenningsfase [ref. 3] zijn voor peilbuisraaien 1 en 6 t/m 10 kalibratieberekeningen gemaakt met PlaxFlow, waarbij het model is gefit aan de peilbuismetingen tijdens een storm in januari 2019. Vervolgens is het gekalibreerde model gebruikt om de freatische lijn te bepalen bij de waterstand bij norm (WBN) voor zichtjaar 2073.

Voor deze geohydrologische analyse is de volgende initiële aanpak gehanteerd (deze aanpak is uitgebreid in de volgende paragraaf):

- Raai 6 is de aanleiding geweest voor de geohydrologische analyse. Op basis van de bevindingen uit [ref. 2] is destijds besloten dat de kalibratie van raai 6 verbeterd moet worden. In de eerste versie van de geohydrologische analyse is alleen gekeken naar raai 6. De resultaten van de herkalibratie van raai 6 zijn besproken tijdens een expertoverleg (notulen expertoverleg opgenomen in bijlage VI) en geeft aanleiding voor herkalibratie van aanvullende raaien (raai 1, 4 en 9);
- met het gekalibreerde model wordt de freatische lijn bij WBN voor zichtjaar 2073 bepaald. Op basis van de vergelijking met [ref. 3] kan geconcludeerd worden in hoeverre het model van [ref. 3] betrouwbaar is;
- er wordt een nadere analyse gedaan naar raai 2, 3, 4 en 5 om te bepalen in hoeverre het terecht is dat de freatische lijnen van deze raaien gebaseerd zijn op raai 1 en 6 en of we achter de bepaling van de freatische lijnen staan van raai 2 t/m 5;
- er worden gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op raai 6;
- er is een review uitgevoerd op de raaien waar geen nieuwe kalibratie is uitgevoerd;
- review vakken per peilbuis.

Naar aanleiding van het expertoverleg van 16 augustus 2023 is besloten om ook een kalibratie voor raai 1, 4 en 9 te maken, zie Bijlage VI voor de notulen. Belangrijkste aanleiding voor de herkalibratie van raai 1 is de twijfel over de gehanteerde doorlatendheid van het buitentalud in het Plaxflow-model. Voor raai 2, 3, 4 en 5 zijn in de verkenningsfase geen modellen opgesteld, maar is de freatische lijn afgeleid uit de modellen van raai 1 en 6. De onderbouwing voor het baseren van de rekenwaarde van de raaien op basis van de modellen van raai 1 en 6 is ontoereikend en dient nader onderbouwd te worden. Tijdens het expertoverleg is gekozen om een aanvullend model op te stellen voor raai 4 om de onzekerheden te verkleinen en nadere onderbouwing mogelijk te maken. Tot slot zijn er tijdens het expertoverleg ook twijfels uitgesproken over de gehanteerde doorlatendheid van het buitentalud ter plaatse van raai 9. Raai 9 wordt opnieuw gekalibreerd voor een betere onderbouwing. De kalibratie van de aanvullende raaien is toegevoegd aan deze versie van de rapportage.

1.4 Doel

Het doel van deze geohydrologische analyse is om voldoende vertrouwen te krijgen in de te hanteren freatische lijn door een betere onderbouwing en worden aanbevelingen gedaan voor aanpassingen op de freatische lijn in de dijk bij WBN voor zichtjaar 2073. Er wordt een (aangepaste) freatische lijn afgeleid. Deze aangepaste freatische lijn wordt vertaald naar vakken waar deze geldig is. Vervolgens wordt daarmee de impact op de scope van de dijkversterking ingeschat.

1.5 Leeswijzer

Deze rapportage gaat in op de uitkomsten, resultaten en conclusies van de aanvullende geohydrologische analyse. In hoofdstuk 2 worden de aanvullende uitgangspunten voor de analyse benoemd. In hoofdstukken 3 t/m 7 zijn de afzonderlijke onderwerpen uit de analyse behandeld. In hoofdstuk 8 wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen. De gebruikte referenties zijn weergegeven in hoofdstuk 9.

1.6 Gebruikte afkortingen

De meest relevante gebruikte afkortingen in dit rapport zijn weergegeven in tabel 1.1.

Tabel 1.1 Gebruikte afkortingen

Afkorting	Betekenis
HHNK	Hoogheemraadschap Hollands Noorder Kwartier
DODH	Den Oever - Den Helder
BZD	Balgzanddijk
ADD	Amsteldiepdijk
WZW	Wieringer Zeewering
WBN	Waterstand bij Norm
NAP	Normaal Amsterdams Peil

2

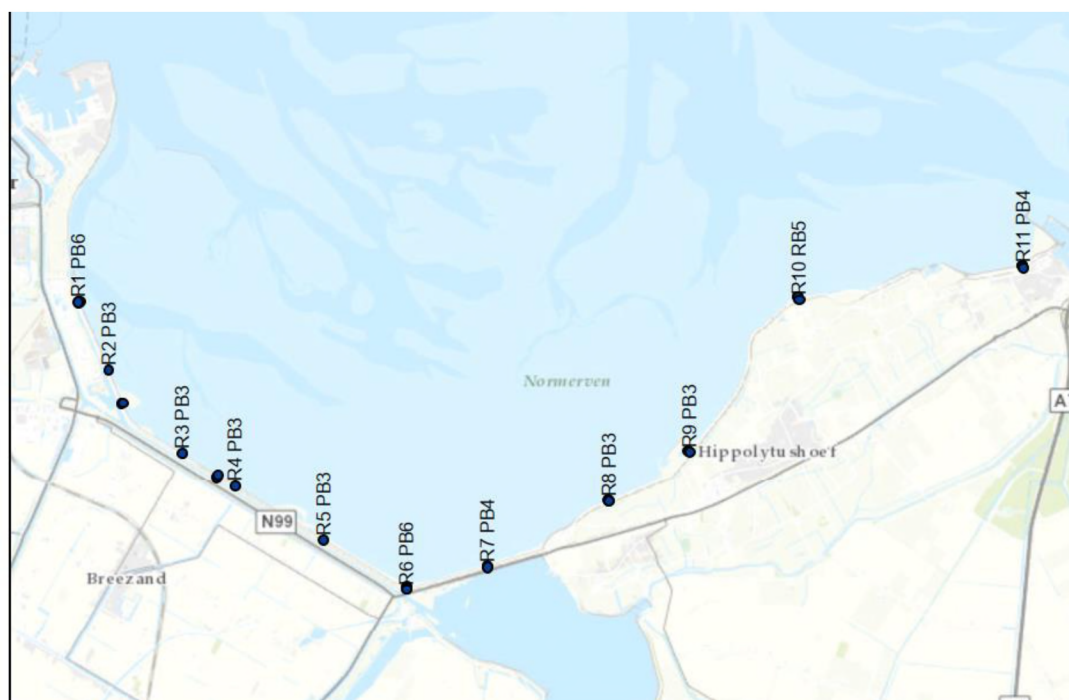
UITGANGSPUNTEN

Voor de uitgangspunten van de schematisatie van de freatische lijn wordt verwezen naar de verkenningsfase [ref. 1]. Alleen de gewijzigde, meest relevante en toegevoegde uitgangspunten voor deze geohydrologische analyse zijn in dit hoofdstuk weergegeven.

2.1 Peilbuisraaien

Voor het tracé van de dijkversterking zijn 11 peilbuisraaien beschikbaar, zie afbeelding 2.1. Het dijktraject bestaat uit drie deeltrajecten. Van west naar oost zijn dat de Balgzanddijk (BZD), Amsteldiepdijk (ADD) en de Wieringer Zeewering (WZW).

Afbeelding 2.1 Peilbuisraaien DODH (R1 t/m R11)

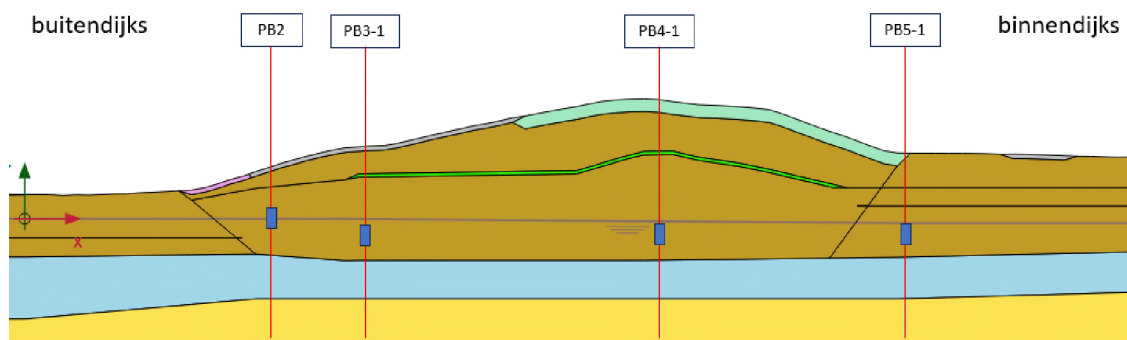


Elke raai bestaat uit 1 of meerdere peilbuizen in het profiel van de dijk, hiervoor geldt de volgende codering:

- PB1: in het voorland;
- PB2: in de buitenteen;
- PB3: in de buitenberm;
- PB5: in de kruin;
- PB6: in de binnenteen.

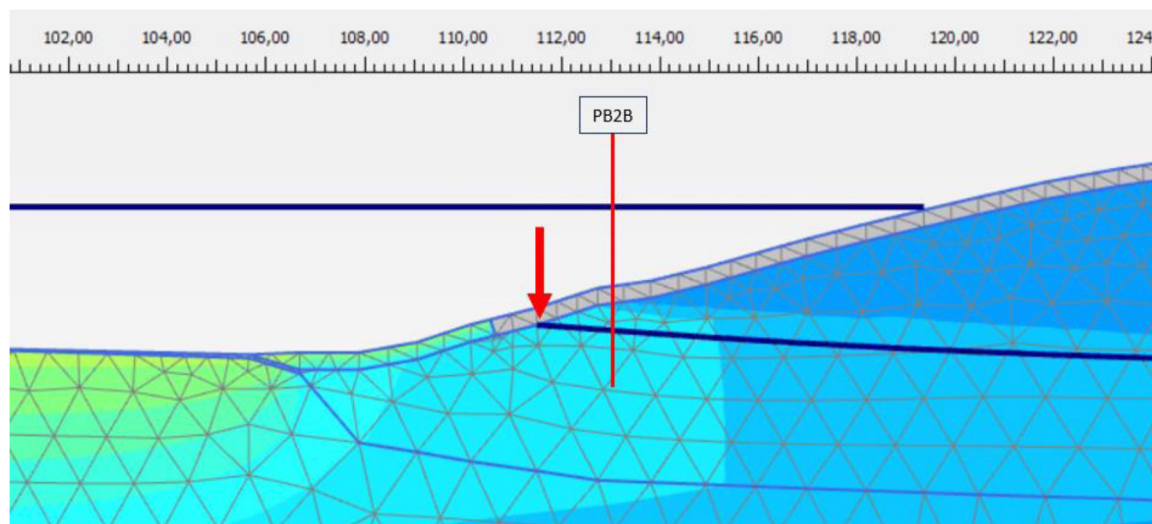
Als voorbeeld is raai 6 gepresenteerd in afbeelding 2.2. Er zijn per peilbuislocatie vaak meerdere filters aangebracht, dit is aangeduid met een volgnummer. Van PB3 is het eerste filter aangebracht in het eerste zandpakket, PB3-1, zie afbeelding 2.2.

Afbeelding 2.2 Peilbuizen in raai 6



Voor de gekalibreerde raaien in dit rapport is de freatische lijn in de dijk bepaald bij een buitenwaterstand met een terugkeertijd gelijk aan de ondergrens (WBN) voor het zichtjaar 2073. In het verdere verloop van dit rapport wordt met de term freatische lijn de freatische lijn bij WBN in 2073 bedoelt, tenzij anders vermeld. Daarnaast zijn voor de gekalibreerde raaien twee waarden berekend, de maximale freatische lijn ter plaatse van de peilbuis en op het punt waar de maximale freatische lijn tegen het asfalt staat. Hier kan verschil in zitten, omdat de freatische lijn afloopt richting de binnenzijde van de dijk. Dit principe is weergegeven in afbeelding 2.3. Het niveau van de freatische lijn onder de asfaltbekleding is in combinatie met de buitenwaterstand en de optredende golven verantwoordelijk voor de belasting op de asfaltbekleding.

Afbeelding 2.3 Verschil hoogte freatische lijn peilbuis en t.p.v. asfalt

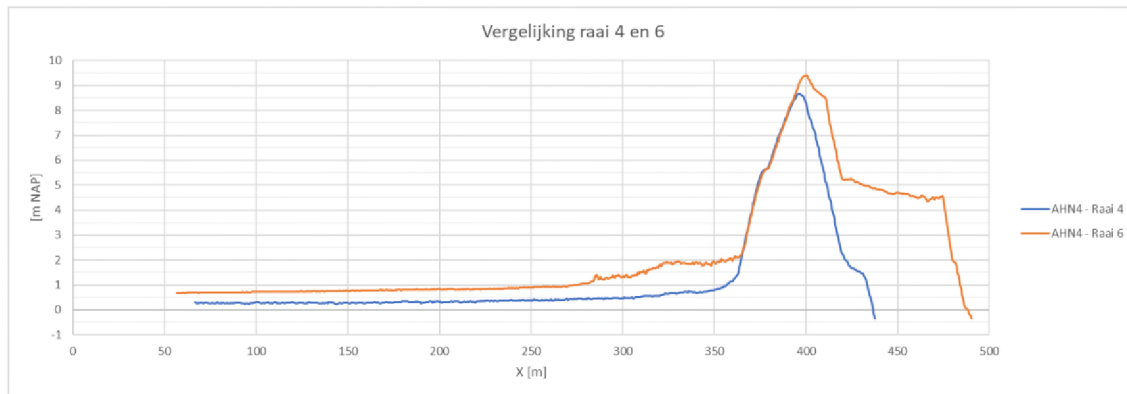


In de verkenningfase is een PlaxFlow model opgesteld voor raai 1, 6, 7, 8, 9 en 10. In de verkenningfase is raai 1 geprojecteerd op raai 2 en 3, raai 6 is geprojecteerd op raai 4 en 6. Van raai 11 zijn geen betrouwbare peilbuisgegevens beschikbaar tijdens de storm in januari 2019 en worden niet gebruikt in deze analyse (en zijn ook niet gebruikt in de verkenningfase).

2.2 Geometrie

In deze analyse zijn de raaien 1, 6 en 9 opnieuw gekalibreerd, de geometrie van de profielen is overgenomen uit de verkenningfase [ref. 3]. Alleen voor raai 6 is het voorland in het PlaxFlow model toegevoegd, de geometrie is overgenomen uit AHN4, zie afbeelding 2.4. Raai 4 is toegevoegd ten opzichte van de verkenningfase [ref. 3], de geometrie is overgenomen uit AHN4, zie afbeelding 2.4.

Afbeelding 2.4 Geometrie dijk en voorland bij raai 4 en raai 6 (AHN4)



De overige raaien zijn niet opnieuw gekalibreerd, de geometrie is overgenomen uit de verkenningfase.

2.3 Zetsteen en schematisatie buitentalud

In de oorspronkelijke PlaxFlow modellen uit 2019 van de verkenningfase is bij alle raaien het niveau van onderzijde van de asfaltbekleding gemodelleerd tot de buitenteen van de dijk. Asfalt is ondoorlatend. Op basis van de bestekstekeningen en de foto's die genomen zijn ten tijde van het plaatsen van de peilbuizen bestaat het onderste deel van het talud, van de teen tot circa NAP +3,5 m (m.u.v. raai 1, NAP +2,0 m), uit zetsteen, zie ook Bijlage I

Zetsteen heeft een hogere doorlatendheid dan asfalt. De exacte doorlatendheid kan per locatie sterk verschillen. In deze analyse is de doorlatendheid bepaald met de kalibraties, daarnaast zijn er gevoeligheidsberekeningen gedaan voor de doorlatendheid van het zetsteen, hiervoor zijn waarden gehanteerd van 0,1m/d tot 25 m/d, op basis van het project Helderse Zeewering [ref. 4]. De impact van de wijzigingen van doorlatendheden op de freatische lijn worden behandeld in hoofdstuk 4. De bestekstekeningen uit het archief en foto's tijdens plaatsen van de peilbuizen zijn bijgevoegd in Bijlage I.

Afbeelding 2.5 Peilbuis PB02 - raai 6 teen buitentalud

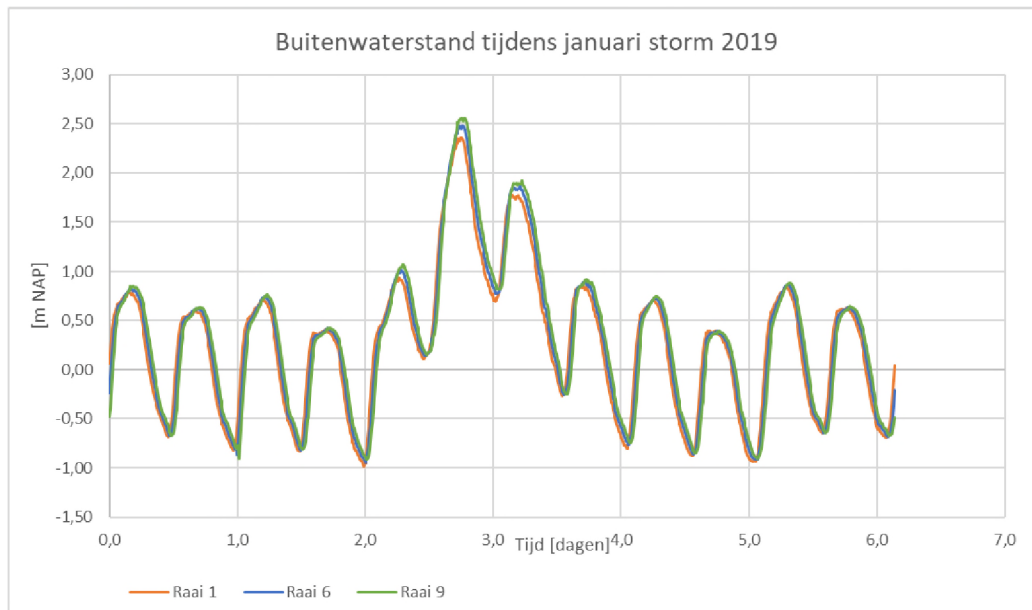


Raai 6 – Pb02

2.4 Hydraulische uitgangspunten

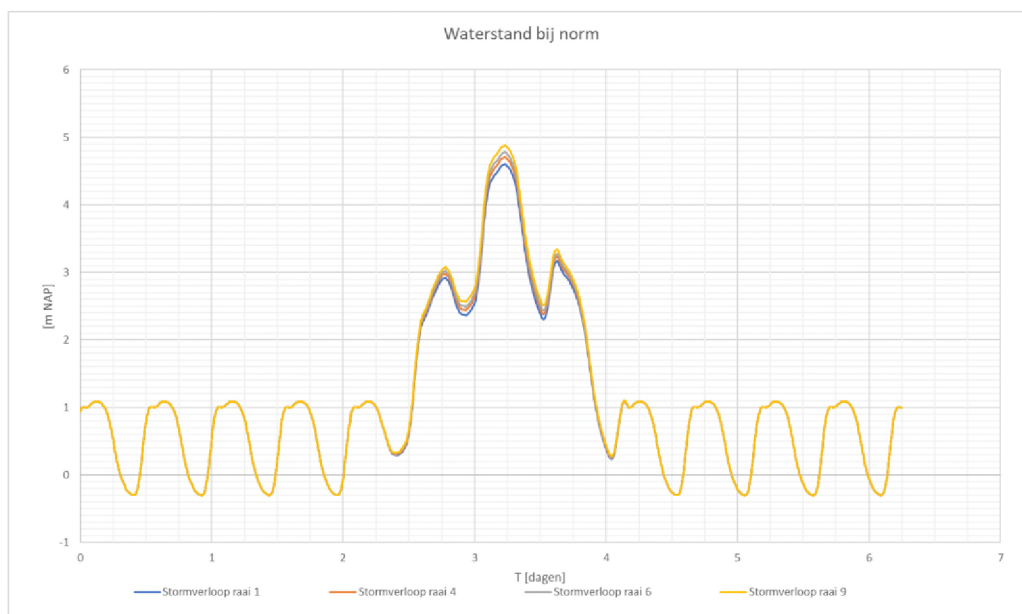
Voor de kalibratie van het PlaxFlow model is de gemeten buitenwaterstand tijdens storm 2019 in Den Oever en Den Helder gebruikt [ref. 3]. In de kalibratie van [ref. 3] zijn bij raai 6 de gemeten waterstanden aangepast door het toepassen van een minimale waarde van NAP +1,4 m om de freatische opbolling in de dijk te modelleren en de kalibratie te laten overeenkomen met de gemeten peilbuiswaarden. In deze analyse is dit niet gedaan. Door de doorlatendheden in het model aan te passen kan met de gemeten waarden van de buitenwaterstand (afbeelding 2.6) een verloop van de freatische lijn worden verkregen in het model dat goed overeenkomt met de peilbuismetingen. Het is daarom niet nodig om een kunstmatige minimale waterstand van NAP +1,40 m in het model op te nemen als randvoorwaarde voor de kalibratie. De gemeten buitenwaterstand ter hoogte van raai 4 is niet beschikbaar, gezien de geringe verschillen in de buitenwaterstand bij de storm is de buitenwaterstand bij storm van raai 6 gebruikt voor de kalibratie van raai 4.

Afbeelding 2.6 Buitenwaterstand bij storm januari 2019 [ref. 3]



Het stormverloop is bepaald aan de hand van de buitenwaterstand bij norm, WBN voor zichtjaar 2073 en het getijdeverloop. Het stormverloop is geschematiseerd conform de methodiek uit de schematiseringshandleiding asfaltbekleding [ref. 8]. De maximale waterstand is gelijk aan wat in de verkenningsfase is toegepast, echter is in de nieuwe berekening een zeespiegelstijging van 0,5 m meegenomen bij dagelijkse omstandigheden [ref. 9]. De gemiddelde getij amplitudes (GGA) zijn niet gewijzigd. Bovendien is in deze analyse de WBN voor zichtjaar 2073 buitenwaterstand bij raai 6 niet geminimaliseerd op NAP +1,4 m zoals in de verkenningsfase is gedaan. De toegepaste waterstanden bij WBN voor zichtjaar 2073 zijn weergegeven in afbeelding 2.7.

Afbeelding 2.7 Buitenwaterstand WBN met zichtjaar 2073



Er is niet expliciet rekening gehouden met infiltratie door golfoploop en -overslag op basis van expert judgement. Wel is er net als in de verkenningfase in PlaxFlow een algemene grondwateraanvulling (inschatting van neerslag min verdamping) van 1,5 mm/dag aangehouden.

2.5 Grondonderzoek

Over het tracé van DODH zijn in het verleden meerdere grondonderzoeken uitgevoerd. In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de meest relevante grondonderzoeken.

Tabel 2.1 Overzicht meest relevante grondonderzoeken

Uitgevoerd door	Referentie	Jaar	Locatie	Soort onderzoek
LGM	[ref. 12]	1983	BZD	Sonderingen
Fugro	[ref. 13] en [ref. 14]	1998- 2000	BZD	Sonderingen, boringen, lab onderzoek en geotechnisch lengteprofiel
Fugro	[ref. 16] en [ref. 16]	1998- 2000	ADD	Sonderingen, boringen, lab onderzoek en geotechnisch lengteprofiel
Fugro	[ref. 17]	1998	WZW	Sonderingen, boringen, lab onderzoek en geotechnisch lengteprofiel
MOS Grondmechanica	[ref. 12]	2017	BZD en ADD	Sonderingen, boringen, lab onderzoek en geotechnisch lengteprofiel
Fugro	[ref. 19]	2023	BZD	Sonderingen
Fugro	[ref. 20]	2023	BZD	Sonderingen
Divers (BRO)	-	divers	BZD, ADD, WZW	Sonderingen en boringen

In Bijlage V zijn geotechnische lengteprofielen bijgevoegd op basis van de beschikbare (digitale) sonderingen. Over het algemeen bestaat de BZD en ADD uit een toplaag van zand, daaronder een kleilaag en daaronder de Pleistocene zandlaag. Bij de WZW bestaat de ondergrond vanaf maaiveld uit klei en de dikte van deze laag is variabel.

2.6 Gebruikte software

De analyses zijn uitgevoerd met de PlaxFlow module van Plaxis, versie 22.01.

Het is niet bekend welke versie van Plaxis ten tijde van de verkenning is gebruikt, maar dit moet een oudere versie zijn geweest. Echter, opnieuw berekenen van de originele bestanden uit de verkenning in versie 22.01 gaven echter vergelijkbare resultaten als gepresenteerd in de verkenning.

REVIEW VERKENNINGSFASE

Dit hoofdstuk bevat de review van de kalibratie en WBN voor zichtjaar 2073 berekening uit de verkenningfase [ref. 3]. Deze review vormt de basis voor de nieuwe geohydrologische analyse. Op basis van de review zijn een aantal raaien geselecteerd die opnieuw gekalibreerd zijn of waarvan een Plaxflow-model is opgesteld. De aanvullende geohydrologische analyse worden behandeld in hoofdstuk 4, 5 en 6. De kalibratiegrafieken uit de verkenningfase zijn bijgevoegd in Bijlage II.

3.1 Raai 1

De kalibratie van raai 1 ziet er goed uit, echter is het gehele buitentalud gemodelleerd als ondoorlatend asfalt. Dit heeft een gunstig effect op de freatische lijn in de dijk (lagere waarde freatische lijn). Deze modellering is niet betrouwbaar en daarom is in het expertoverleg van 16 augustus 2023 [ref. 22] besloten om deze raai opnieuw te kalibreren. Het verslag van dit overleg is bijgevoegd in Bijlage VI.

3.2 Raai 2, 3, 4 en 5

3.2.1 Inleiding

Voor raai 2, 3, 4 en 5 zijn peilbuismetingen beschikbaar (alleen PB3-1, ter plaatse van de berm in buitentalud), maar er is tijdens de verkenningfase geen PlaxFlow model opgezet. Voor deze raaien zijn de freatische lijnen bepaald op basis van de gekalibreerde modellen van raai 1 en raai 6 en zijn deze lijnen vervolgens gecorrigeerd per raai voor de maatgevende waterstand en de resultaten van de peilbuisonderzoeken. Hierbij zijn raai 2 en raai 3 op basis van de gemeten waterstanden gekoppeld aan het model van raai 1. Raaien 4 en 5 zijn gekoppeld aan het model van raai 6. Dit is weergegeven in afbeelding 3.1.

Afbeelding 3.1 Bepaling freatische lijn (2073) [ref. 3]

Tabel 3-4 Wijze van bepaling freatische grondwaterstand bij de waterstand bij norm (2073) voorraai 1 t/m 6

Raai	Methode	Gebaseerd op	Freat. gws normaal (m +NAP)	Toegepaste verschuiving freat gws normaal t.o.v. basis raai (m)	Verhoging freat gws bij (m)
1	PlaxFlow	NVT	0.1	NVT	0.75
2	Interpolatie	Raai 1	-0.2	0	0.75
3	Interpolatie	Raai 1	0.2	raai 1 + 0.1	0.75
4	Interpolatie	Raai 6	0.7	raai 6 - 0.8	1.8
5	Interpolatie	Raai 6	1.3	raai 6 - 0.2	1.8
6	PlaxFlow	NVT	1.5	NVT	1.8

De koppeling van raai 2 en 3 aan raai 1 en de koppeling van raai 4 en 5 aan 6 is gemaakt op basis van de vergelijkbare bodemopbouw en de vergelijkbare respons op hoogwater in de peilbuismetingen [ref. 3]. In dit hoofdstuk wordt nader onderzocht of deze koppeling terecht is. Hierbij wordt gekeken naar:

- bodemopbouw;
- peilbuismetingen;
- hoogte voorland;
- zetsteenconstructie.

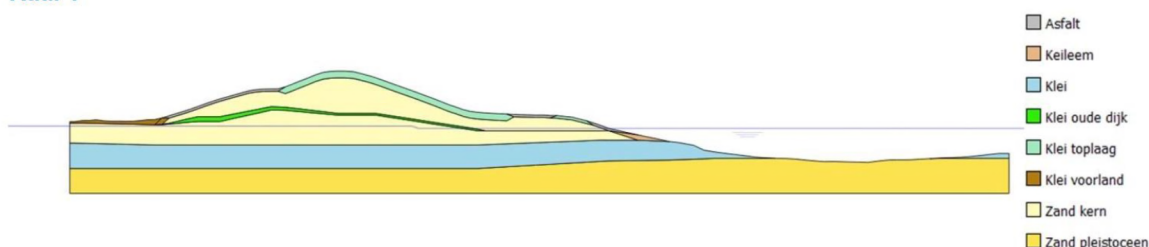
3.2.2 Raai 2 en 3

Bodemopbouw

De bodemopbouw van raai 1 bestaat uit een dunne toplaag van 0,5 m klei met daaronder een zandlaag van circa 3 m dik. Daaronder is een kleilaag aanwezig. De bodemopbouw van raai 2 en 3 is bepaald op basis van het beschikbare grondonderzoek.

Afbeelding 3.2 Grondopbouw raai 1 [ref. 3]

Raai 1



Tabel 3.1 Vergelijking bodemopbouw raai 1, 2 en 3

Raai	Beschikbaar grondonderzoek*	Bodemopbouw
1	Grondopbouw overgenomen van PlaxFlow model [ref. 3], zie afbeelding 3.2	Voorland: van mv NAP +0,8 m tot NAP +0,3 m klei, tot NAP -2,5 m zand, daaronder klei. Kruin: Kleibekleding, kern van zand met daarin oude kleibekleding, vanaf NAP -2,8 m klei. Binnenzijde: van mv NAP +1,7 m tot NAP +1,2 m klei, tot NAP -2,5 m zand, daaronder klei.
2	Buitenzijde: DKMP5.800 (Fugro) Kruin: DKMP6.350 (Fugro) Binnenzijde: S5 en B5 (MOS 2017)	Buitenzijde: Tot NAP -5 m klei, daaronder zand. Kruin: kleibekleding, tot NAP -3,5 m zand, daaronder klei. Binnenzijde: van mv NAP +1,66 m tot NAP +0,66 m klei, tot NAP -2m zand, daaronder klei.
3	Voorland: Boring B572; Kruin: Boring B816; Binnenzijde: S11 en B11 (MOS 2017)	Voorland: van mv NAP -1,2 m tot NAP -2,9 m zand, daaronder klei. Kruin: tot NAP -2,5 m zand, daaronder klei. Binnenzijde: van mv NAP +2 m tot NAP +1,1 m klei, tot NAP -2 m zand, daaronder klei.

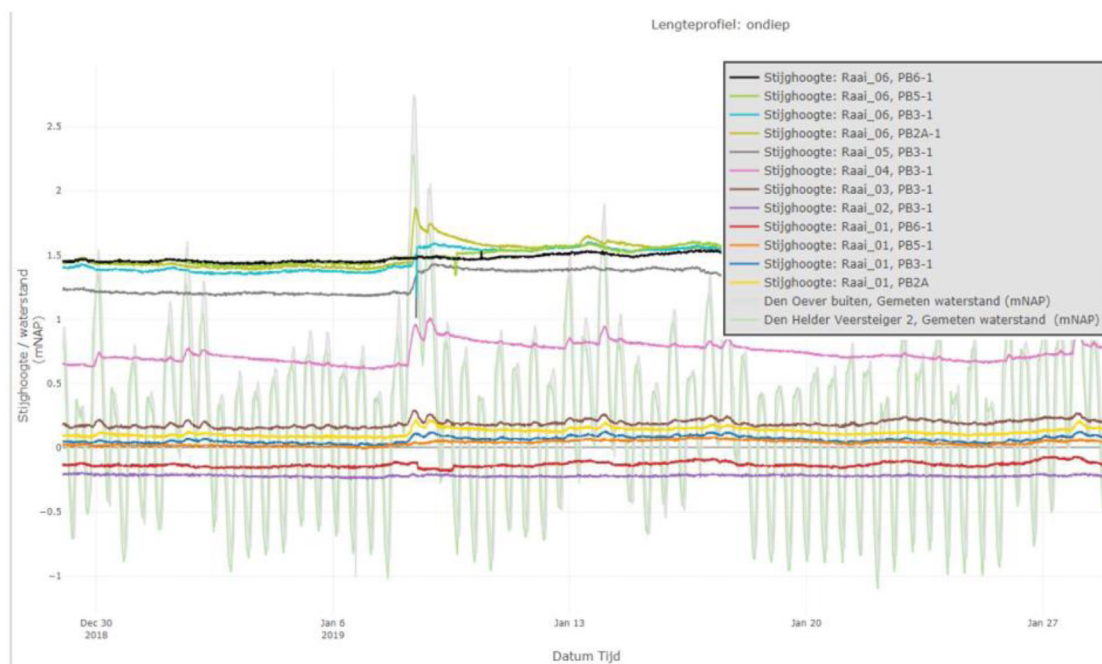
* Zie Bijlage III.

De bodemopbouw van raai 2 komt globaal goed overeen met raai 1, alleen is de kleilaag in het voorland significant dikker. De bodemopbouw van raai 3 komt redelijk goed overeen met raai 1, echter komt in het voorland de kleilaag vanaf het maaiveld niet terug in boring B572. Raai 3 is op basis van deze boring doorlatender aan de buitenzijde dan raai 1.

Peilbuismetingen

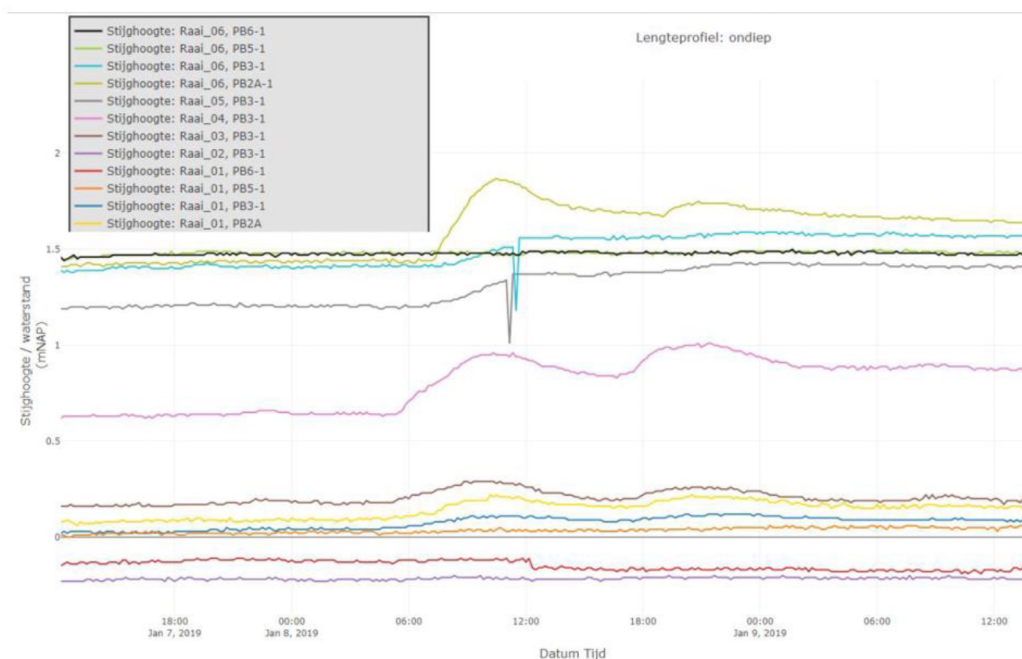
Bij raai 2 en 3 is alleen peilbuis PB3-1 geplaatst, deze peilbuis staat in het buitentalud, ter hoogte van de berm. Voor de vergelijking van de peilbuizen wordt derhalve alleen gekeken naar PB3-1 van raai 1, 2 en 3. De peilbuismetingen zijn weergegeven in afbeelding 3.3 en afbeelding 3.4, respectievelijk de hele reeks en ingezoomd op de periode van hoog water.

Afbeelding 3.3 Overzicht metingen freatische lijn peilbuis 1 t/m 6 [ref. 3]



Figuur 3-8 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6.

Afbeelding 3.4 Overzicht metingen freatische lijn peilbuis 1 t/m 6, detail bij hoogwater [ref. 3]



Figuur 3-9 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6, detail bij hoogwater 8 en 9 januari 2019.

In de peilbuis van raai 1 is een lichte respons van enkele centimeters te zien bij hoog water. PB3-1 van raai 1 ligt voor de piek op circa NAP 0,0 m, na de piek op circa NAP +0,1 m. PB3-1 van raai 2 ligt op circa NAP -0,2 m en bij deze peilbuis is geen respons op hoog water te zien. PB3-1 van raai 3 ligt op circa NAP +0,15 m, in deze peilbuis is een respons te zien bij hoog water van circa 10 cm. Dit is vergelijkbaar met de respons van raai 1.

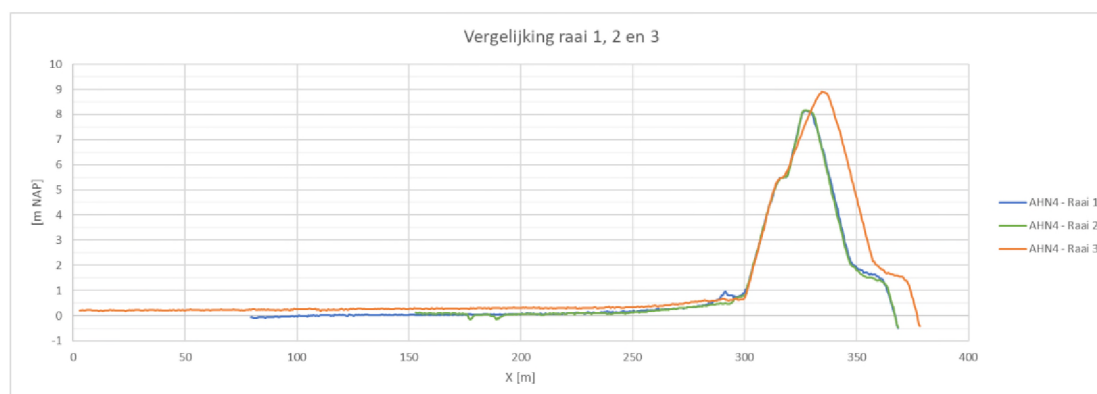
Bij raai 1 is er een verhang te zien tussen de peilbuizen, aan de buitenzijde is de waterstand bij normale omstandigheden circa NAP +0,1 m, richting de binnenzijde loopt de waterstand af tot circa NAP -0,15 m aan de binnentoe. Tijdens de storm is te zien dat de peilbuizen in de buitenteen en buitenberm, respectievelijk PB2A en PB3-1 oplopen, de peilbuis in de kruin niet reageert en de waterstand in de peilbuis in de binnenteen juist afneemt. In de peilbuizen is respons op het getij te zien.

Geconcludeerd wordt dat de peilbuismetingen van PB3-1 over het algemeen overeenkomen, de respons van raai 1 en raai 3 is vergelijkbaar en bij raai 2 is er geen respons. De verschillen zijn gering.

Hoogte voorland

Op basis van AHN4 is de geometrie van raai 1, 2 en 3 met elkaar vergeleken, zie Afbeelding 3.5. Raai 1 en raai 2 zijn vergelijkbaar. Raai 3 heeft een hogere en bredere dijk en een gering hoger voorland, 20 à 25 cm hoger.

Afbeelding 3.5 Geometrie raaien 1, 2 en 3 o.b.v. AHN4



Zetsteen

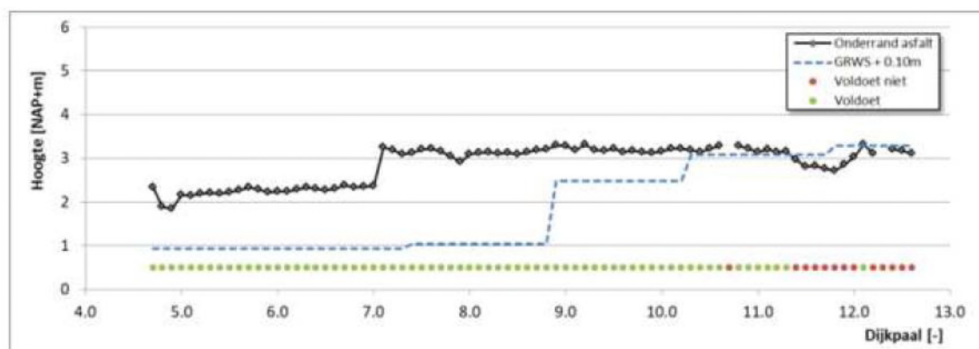
In Bijlage I zijn de bestekstekeningen van de dijkversterking uit de jaren tachtig toegevoegd. Op basis van de bestekstekeningen is de geometrie per raai bepaald, zie tabel 3.2. Hier wordt geconcludeerd dat raai 1 de minst doorlatende onderlaag heeft (vanwege zandasfalt) en de rand bovenkant zetsteen het laagst ligt. Bij raai 2 en 3 is de zetsteenconstructie doorlatender en is de oppervlakte per strekkende meter groter. Hierdoor zijn de buitentaluds van raai 2 en raai 3 doorlatender dan raai 1 op basis van de bestekstekeningen en kan meer water infiltreren tijdens hoogwater. Op basis van recente luchtfoto's is te zien dat de steenzetting over het merendeel van het traject niet verborgen ligt onder aangespoeld zand/slib. Alleen bij de Kooihoekschor tussen DP 6.5 en 7.0 ligt de steenzetting deels onder zand. Ter plaatse van DP 6.95 is op luchtfoto's een duidelijke sprong in de asfaltbekleding te zien.

Tabel 3.2 Gegevens zetsteen

Raai	Zetsteen	Onderlaag	Van [m NAP]	Tot [m NAP]
1	betonzuilen 0,3m	zandasfalt 0,3m	+0,70	+2,0
2	betonzuilen 0,3m	grauwacke 0,3m	+0,70	+2,5 tot +3,0
3	betonzuilen 0,3m	grauwacke 0,3m	+0,70	+3,0 tot +3,5

Bovenstaande gegevens zijn bepaald op basis van de bestekstekeningen van de dijkversterking uit de jaren tachtig. Echter in rapport Veiligheidsanalyse asfaltbekleding (AWO en AGK) (bijlage F van [ref. 3]) is er een sprong aanwezig van circa 1 m in het niveau onderkant asfalt bij DP7.0, tussen raai 2 en raai 3, zie afbeelding 3.6. Dit is ook te zien op de luchtfoto, zie afbeelding 3.7. De sprong ligt ongeveer bij DP7, raai 2 ligt bij DP 6.3 en raai 3 bij DP8.2, over 700 m tussen raai 2 en raai 3 ligt onderrand asfalt op ca. NAP +2,5 m en over 1.200 m op NAP +3,0 m.

Afbeelding 3.6 Niveau onderkant asfalt



Afbeelding 3.7 Luchtfoto tussen DP6.9 en DP7.0



De sprong heeft voor de berekeningen geen invloed, alleen raai 1 is gemodelleerd. De onzekerheid heeft wel invloed op de omgang met onzekerheden en gehanteerde toeslagen, zie paragraaf 5.7

Conclusie

Raai 2 en 3 zijn met raai 1 vergeleken op basis van bodemopbouw, peilbuismetingen, hoogte voorland en zetsteenconstructie. Bij raai 2 is de kleilaag in het voorland dikker dan bij raai 1 en 3. Dit verklaart waarom er bij raai 2 geen respons op hoogwater is te zien in de peilbuis. De bodemopbouw van raai 3 komt redelijk goed overeen met raai 1, echter komt in het voorland de kleilaag vanaf het maaiveld niet terug in boring B572. Raai 3 is op basis van deze boring doorlatender aan de buitenzijde dan raai 1. De respons op hoogwater is gering groter dan bij raai 1. Op basis van de zetsteenconstructie van de bestekstekeningen hebben raai 2 en raai 3 een groter waterdoorlatende oppervlak dan raai 1, wat resulteert in een hogere freatische lijn in de dijk. Op basis van de luchtfoto ligt onderrand asfalt bij raai 2 lager dan op basis van de bestekstekeningen, dit is gunstiger voor de freatische lijn in dijk.

Projectie van raai 1 op raai 2 is een logische keuze, de peilbuis van raai 2 laat een kleinere respons zien, de projectie is hiermee aan de veilige kant. Bij raai 3 is juist een hogere respons te zien, waarschijnlijk doordat het niveau van de overgang tussen de (doorlatende) steenzetting en de (ondoorlatende) asfaltbekleding hier

hoger ligt, echter gaat het om enkele centimeters. Derhalve is de projectie van raai 1 op 3 een verdedigbare keuze. Op basis van de analyse wordt geconcludeerd dat het gekalibreerde model van raai 1 toepasbaar is op raai 2 en 3. Voor raai 2 en 3 hoeft geen apart model opgesteld te worden.

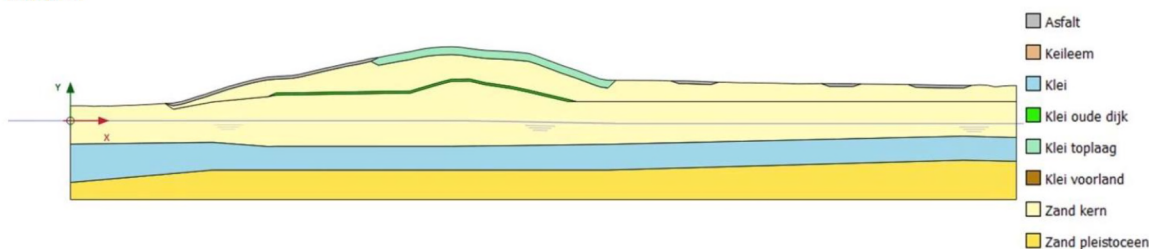
3.2.3 Raai 4 en 5

Bodemopbouw

De bodemopbouw van raai 6 bestaat uit zand vanaf maaiveld tot circa NAP -3 m. Daaronder is een kleilaag aanwezig. De bodemopbouw van raai 4 en 5 is bepaald op basis van het beschikbare grondonderzoek.

Afbeelding 3.8 Grondopbouw raai 6 [ref. 3]

Raai 6



Tabel 3.3 Vergelijking bodemopbouw raai 4, 5 en 6

Raai	Beschikbaar grondonderzoek*	Bodemopbouw
4	Voorland: B578 en B583 (BRO) Kruin: Boring DKM019 [ref. 19] Binnenzijde: DKM133 [ref. 19]	Voorland: van mv NAP -1m tot NAP -1,5 m klei, tot NAP -3,8 m zand, daaronder klei. Kruin: Kleibekleding, kern van zand met daarin oude kleibekleding, vanaf NAP -3,5 m klei. Binnenzijde: van mv NAP +2,0 m tot NAP -2 m zand siltig / kleiig, daaronder klei.
5	Voorland: B530 (BRO) Kruin: Boring DKM087 [ref. 19] Binnenzijde: DKM173 [ref. 19]	Voorland: van mv NAP -1 m tot NAP -1,5 m klei, tot NAP -4,0 m zand, daaronder klei. Kruin: Kleibekleding, kern van zand met daarin oude kleibekleding, vanaf NAP -3,0 m klei. Binnenzijde: van mv NAP +1,5 m tot NAP -1 m zand, daaronder klei.
6	Grondopbouw overgenomen van PlaxFlow model [ref. 3], zie afbeelding 3.2 Voorland: Boring B508 Binnenzijde: Sondering S20 [ref. 18]	Voorland: van mv NAP +1,8 m tot NAP -2,9 m zand, daaronder klei. Kruin: Kleibekleding, kern van zand met daarin oude kleibekleding, vanaf NAP -3,2 m klei. Binnenzijde: van mv NAP +5,2 m tot NAP -2,9 m zand, daaronder klei.

* zie Bijlage III.

Bij raai 4 en 5 is een dunne kleilaag aanwezig vanaf maaiveld in het voorland die niet in het model van raai 6 zit. Bij zowel raai 4 als 5 ligt in het voorland het maaiveld lager en ligt ook het niveau van onderkant eerste zandlaag een meter dieper. Netto is de eerste zandlaag dunner bij raai 4 en 5 in vergelijking met raai 6. Aan de binnenzijde is meer cohesief materiaal aanwezig vanaf maaiveld.

Peilbuismetingen

PB2-1 van raai 6 ligt heeft een respons van twee pieken op hoogwater, van respectievelijk circa 40 cm en 10 cm. Het duurt relatief lang voordat de grondwaterstand na hoogwater weer op het niveau van dagelijkse omstandigheden, NAP +1,4 m, zit (circa 2 weken), zie afbeelding 3.4. In peilbuis PB3-1 is een korte dip van circa 40 cm te zien net na de eerste piek. PB3-1 van raai 5 ligt circa 20 cm lager, maar is qua verloop

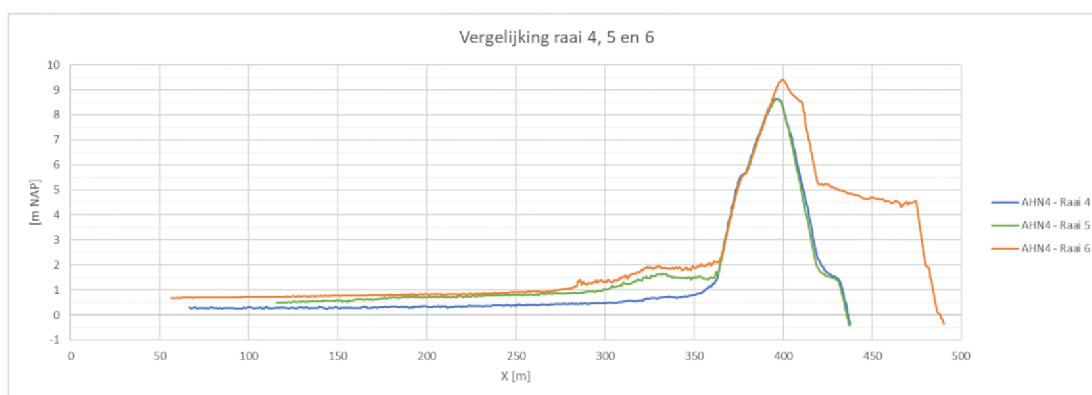
vergelijkbaar met PB3-1 van raai 6, ook hier is de korte dip van 40 cm te zien. PB3-1 van raai 4 daarentegen ligt circa 0,8 m lager en laat een andere respons op hoog water zien. De sprong begint eerder (vergelijkbaar met PB2B), is groter en er zijn twee pieken te zien tijdens hoog water (net als bij PB2B van raai 6), waarbij de tweede piek hoger is dan de eerste.

Dit is niet te verklaren op basis van de buitenwaterstand, hier is de piek na de grootste piek lager. Mogelijk dat bij raai 4 een 3D werking optreedt, waarbij water vanaf raai 5 richting raai 4 stroomt. De waterstand bij raai 4 is immers lager dan bij raai 5. De peilbuisgegevens van raai 4 zijn niet zonder meer te vergelijken met de peilbuisgegevens van raai 6.

Hoogte voorland

Op basis van AHN4 is de geometrie van raai 4, 5 en 6 met elkaar vergeleken, zie afbeelding 3.9. Raai 6 heeft een langer achterland, een hogere en bredere dijk en een hoger voorland. Het voorland ligt circa 0,25 m hoger dan bij raai 5 en 0,75 m dan bij raai 4.

Afbeelding 3.9 Geometrie raaien 4, 5 en 6



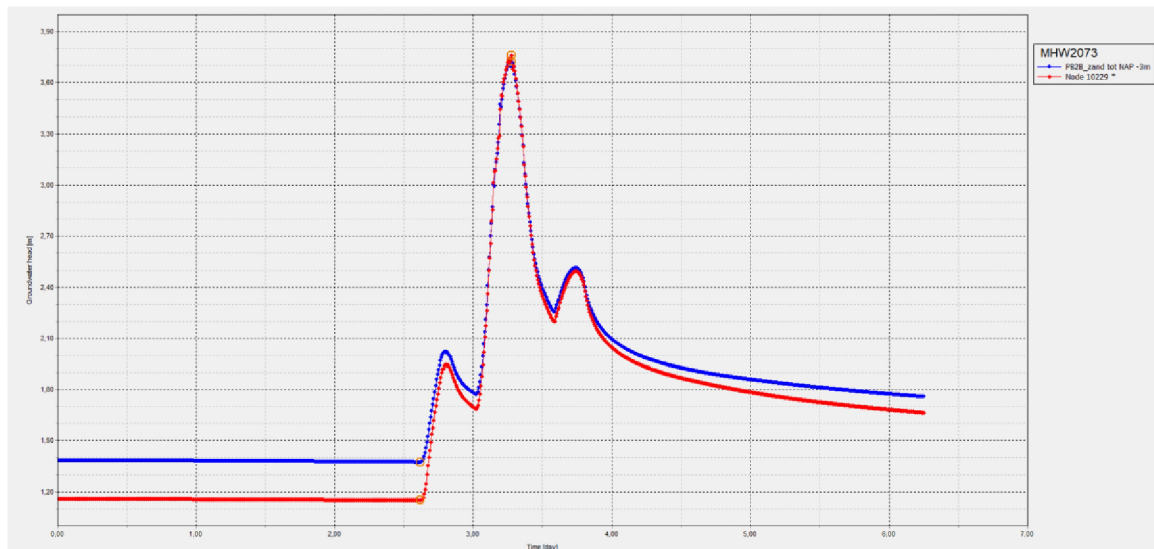
Gevoeligheidsanalyses

Voor raai 4 en 5 zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd uitgaande van het model van raai 6:

- 1 niveau onderkant eerste zandlaag op NAP -4 m in plaats van NAP -3 m;
- 2 maaiveld voorland 0,75 m lager.

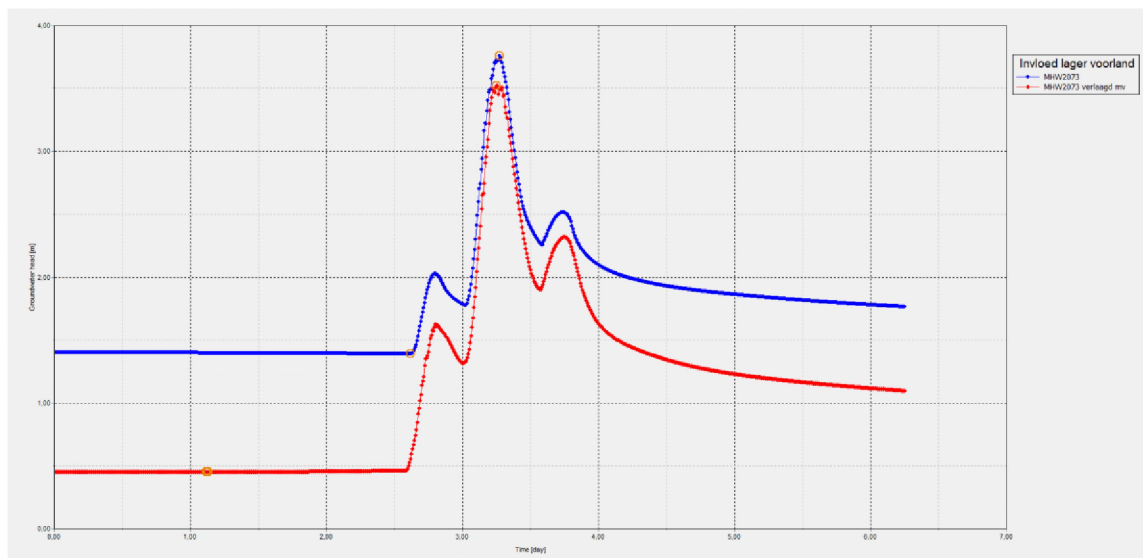
De resultaten van de eerste gevoeligheidsanalyse (niveau onderkant eerste zandlaag lager) zijn weergegeven in afbeelding 3.10. De sprong van de piek is hoger, echter de top van de piek is vergelijkbaar.

Afbeelding 3.10 Resultaten waterstand in de peilbuis tijdens storm t.b.v. gevoeligheid niveau onderkant eerste zandlaag (rode grafiek is situatie met zand tot NAP -4,0 m, blauwe grafiek is de originele situatie met zand tot NAP -3,0 m)



De resultaten van de tweede gevoeligheidsanalyse (maaienveld voorland hoger) zijn weergegeven in afbeelding 3.11. De sprong van de piek is hoger, echter de top van de piek ligt lager.

Afbeelding 3.11 Gevoeligheid maaiveldniveau voorland



Conclusie

Bij raai 4 en 5 is de zandlaag vanaf maaiveld tot de kleilaag dikker dan bij raai 6. De onderkant van de zandlaag ligt een meter dieper, het maaiveld ligt respectievelijk 0,75 en 0,25 m lager. De zandlaag is derhalve 0,25 tot 0,75 m dikker. Dit heeft een beperkte negatieve invloed op de hoogte van de piek bij hoogwater, zie afbeelding 3.10.

De peilbuismetingen van raai 5 en 6 zijn vergelijkbaar, raai 4 wijkt hiervan af. De peilbuis in de buitenberm, PB3-1, lijkt meer op de peilbuis in de buitenteen van raai 6, PB2B.

Wat bovendien opvalt is dat de tweede piek in de peilbuismeting van PB3-1 van raai 4 hoger is dan de eerste piek, terwijl dit in de buitenwaterstand juist andersom is. Mogelijk dat bij raai 4 een 3D werking optreedt, waarbij water vanaf raai 5 richting raai 4 stroomt. De waterstand bij raai 4 is immers lager dan bij raai 5.

Het maaiveldniveau van het voorland bij raai 4 en 5 ligt lager dan bij raai 6. Een lager maaiveldniveau geeft een grotere sprong van de piek, echter de top van de piek ligt lager.

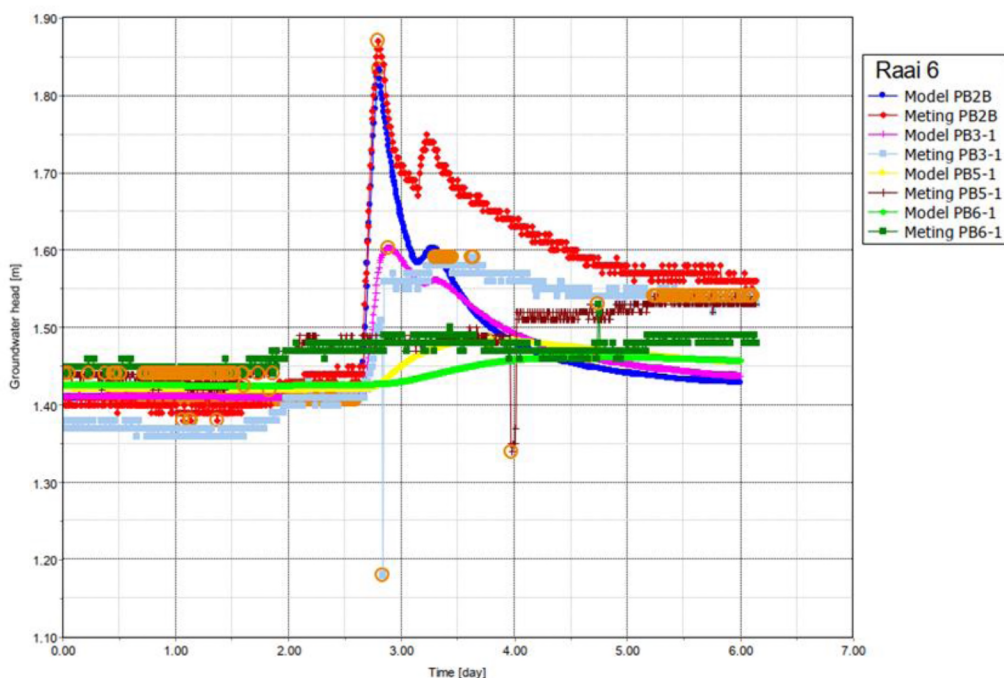
Beide gevoeligheidsanalyses tonen aan dat de toegepaste marge tussen freatische lijn gemeten tijdens de januari 2019 stormen bij WBN van 1,8m (op basis van raai 6 in de verkenningfase), te gunstig is voor raai 4 en 5.

De peilbuismeting van raai 4 wijkt dermate af van raai 5 en 6 dat de projectie van raai 6 op raai 4 niet logisch te onderbouwen is. Bovendien is in PB3-1 van raai 4 de grootste respons te zien van alle PB3-1 peilbuizen. In het expertoverleg van 16 augustus 2016, zie Bijlage VI, is besloten om voor raai 4 een nieuw PlaxFlow model op te zetten. Raai 5 komt beter overeen met raai 6, de projectie van raai 6 op raai 5 is logisch. Op basis van de analyse kan geconcludeerd worden dat raai 5 geprojecteerd kan worden op raai 6. Voor raai 4 dient een aanvullend model opgesteld en gekalibreerd te worden.

3.3 Raai 6

Bij raai 6 (zie afbeelding 3.12) is de fit van de peilbuis bij de buitenteen, PB2B, minder goed. In het model stroomt het water sneller weg dan uit de peilbuismeting blijkt. Dit is ook één van de bevindingen van HHNK in de notitie Freatische Lijn DODH bevindingen [ref. 2]. Dit is mede de aanleiding geweest voor deze aanvullende geohydrologische analyse. Voor de overige peilbuizen is de fit iets beter maar ook minder relevant gezien de locatie op het talud.

Afbeelding 3.12 Resultaten kalibratie raai 6 [ref. 3]



Bij de kalibratie raai 6 zijn de volgende zaken die opvallen:

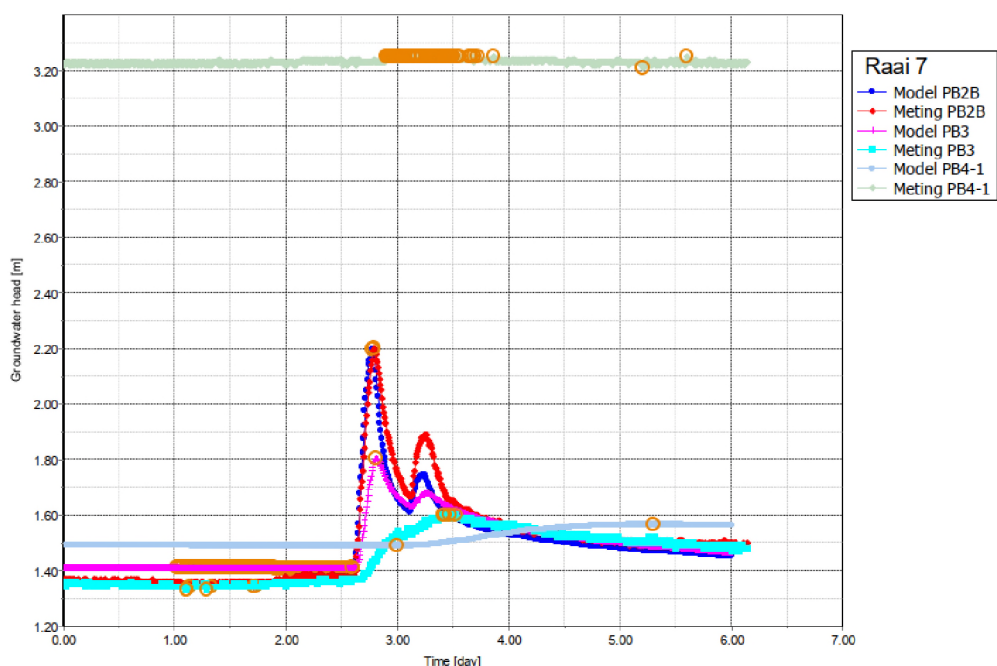
- het voorland is niet in het PlaxFlow model opgenomen. De freatische opbolling in de dijk die ontstaat door het lange voorland is gemodelleerd door de waterstand kunstmatig op NAP +1,4 m te houden. Hiervoor is de buitenwaterstand afgekapt op een minimale waarde van NAP +1,4 m;
- in het model is de asfaltbekleding gemodelleerd tot de teen van de dijk. Asfalt is ondoorlatend. Conform de archieftekening, zie Bijlage I en hoofdstuk 2.3, bestaat het buitentalud vanaf de teen tot NAP +3,5 m uit betonzuilen op 0,3 m staalslakken. Betonzuilen op staalslakken is (beperkt) waterdoorlatend.

Voor raai 6 wordt een nieuwe kalibratie gemaakt omdat de kalibratie uit de verkenningfase er niet goed uitziet.

3.4 Raai 7

In de verkenning [ref. 3] is een fitberekening gemaakt van raai 7, de resultaten zijn weergegeven in afbeelding 3.13. De resultaten zijn vergelijkbaar met die van raai 6, van de eerste piek is een goede fit, de tweede piek komt in het model lager uit. Het verschil tussen model en meting is kleiner dan bij raai 6, circa 10 cm. De daling na de tweede piek komt beter overeen dan bij raai 6.

Afbeelding 3.13 Resultaten fitberekening raai 7

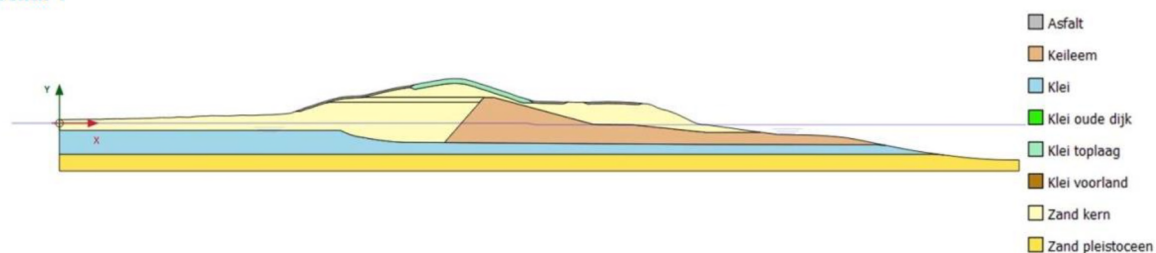


Bij raai 7 is de freatische lijn bij dagelijkse omstandigheden vergelijkbaar met raai 6, circa NAP +1,4 m. Net als bij raai 6 is bij raai 7 de buitenwaterstand kunstmatig op minimaal NAP +1,4 m gehouden door deze waarde als minimale waarde te hanteren en niet het voorland te modelleren.

Bij raai 7 is asfalt gemodelleerd vanaf net boven de teen (zie afbeelding 3.14). Het is ingeschat dat dit niveau lager is dan NAP +3,5 m (niveau van raai 6). In dat geval is dit een gunstige modellering voor WBN voor zichtjaar 2073 omdat de werkelijke doorlatendheid groter is dan gemodelleerd. Het buitentalud is net als bij raai 6 doorlatender dan in de verkenningfase gemodelleerd. De berekende freatische lijn in de dijk is net als bij raai 6 te gunstig (te laag). Dit kan gecorrigeerd worden op basis van de nieuwe WBN berekening voor raai 6.

Afbeelding 3.14 PlaxFlow model raai 7 [ref. 3]

Raai 7



Conform de archieftekeningen is de opbouw van de zetsteenconstructie gelijk aan raai 6, betonzuilen op staalslakken. Alleen ligt bij raai 7 onderkant betonzuilen op NAP +0,2 en i.p.v. op NAP +0,7 m bij raai 6.

Het verschil met raai 6 is de keileem in de kern aan de binnenzijde van de dijk. Dit effect is bij raai 6 onderzocht, zie paragraaf 4.3. Het effect op de freatische lijn is zeer gering.

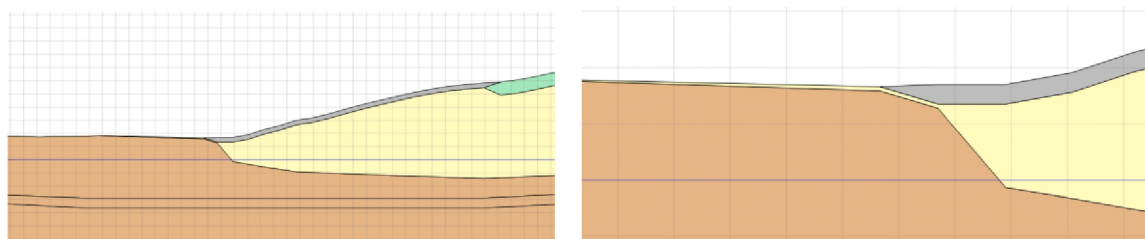
Geconcludeerd wordt dat de wijze van modelleren gelijk is aan raai 6. Aangezien voor raai 7 geen nieuwe berekening is gemaakt wordt dezelfde verhoging gehanteerd als voor raai 6 (niveau freatische lijn raai 7 uit verkenningsfase + verhoging raai 6 t.o.v. verkenningsfase).

3.5 Raai 8, 9 en 10

Bij raaien 8, 9 en 10 is in de verkenning [ref. 3] het asfalt gemodelleerd tot de teen van het buitentalud. Hierdoor is de gehele buitenzijde ondoorlatend. Echter is bekend dat het onderste deel van het talud bestaat uit zetsteen, wat een zekere doorlatendheid heeft (die is afhankelijk van de onderlaag en het zetsteen zelf). Hierdoor kan de freatische lijn hoger komen te liggen dan is berekend in de verkenningsfase.

Bij raai 8 en 9 bestaat de ondergrond vanaf maaiveld uit keileem, tussen onderzijde van de asfaltbekleding en de keileem is echter een spleet zand gemodelleerd van 10 cm breedte, zie afbeelding 3.15. Waarschijnlijk is dit gedaan om het model beter te fitten aan de peilbuismeting.

Afbeelding 3.15 PlaxFlow model raai 9 [ref. 3]



De schematisatie van het buitentalud is niet te vertrouwen door de modellering, volledig asfalt op het buitentalud en de spleet tussen asfalt en keileem. Daarom is in het expertoverleg van 16 augustus 2023 besloten om raai 9 opnieuw te kalibreren om het effect te bepalen op de freatische lijn. De kalibratie van raai 9 wordt gebruikt voor raai 8 en 10.

3.6 Raai 11

Van raai 11 [ref. 3] is in de verkenningfase geen kalibratie gemaakt omdat de peilbuisgegevens niet betrouwbaar zijn. Raai 11 is in de verkenningfase raai 11 gelijk gehouden aan raai 10, hiervoor is geen degelijke onderbouwing gegeven.

3.7 Veiligheidsfilosofie

De rekenwaarde is bepaald door de berekende freatische lijnen te verhogen met 0,1 m op basis van twee scenario's waarbij de freatische lijn 1 m hoger ligt, met een kans van optreden van $< 10\%$, $10\% \cdot 1\text{ m}$ is 0,1 m. Deze redenering is niet logisch en te kort door de bocht.

In deze geohydrologische analyse wordt de veiligheidsfilosofie opnieuw bepaald op basis van de onzekerheden per raai, zie paragraaf 5.7

3.8 Conclusie

Omdat bij alle raaien de onderzijde van het buitentalud waterdicht is gemodelleerd met asfalt en niet goed is in te schatten wat het effect hiervan is op de freatische lijn is in overleg met HHNK en Deltares [ref. 22] besloten om:

- raai 1 opnieuw te kalibreren omdat de schematisatie van het buitentalud niet te vertrouwen is en naar verwachting te gunstig is voor de berekende freatische lijn in de dijk;
- voor raai 4 een nieuw model op te zetten, de projectie van raai 6 op raai 4 is niet goed te onderbouwen, zie ook hoofdstuk paragraaf 3.2.3;
- raai 9 opnieuw kalibreren, omdat de schematisatie van het buitentalud niet te vertrouwen is door de modellering, het volledig asfalt op het buitentalud en de spleet tussen asfalt en keileem lijkt een trucje om een betere fit te krijgen.

De veiligheidsfilosofie van de verkenningfase is te kort door de bocht. In deze geohydrologische analyse wordt de veiligheidsfilosofie opnieuw bepaald op basis van de onzekerheden per raai, zie paragraaf 5.7.

4

AANGEPASTE KALIBRATIES

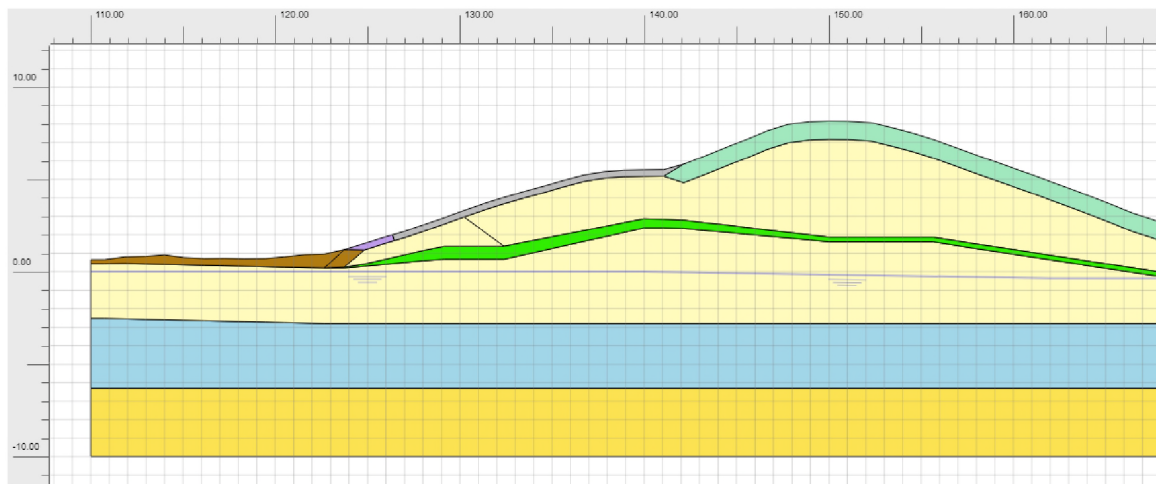
In dit hoofdstuk zijn de uitgevoerde, aangepaste kalibraties beschreven.

Initieel is alleen raai 6 opnieuw gekalibreerd. Omdat de kalibratie van raai 6 de aanleiding was voor deze hele analyse op basis van de notitie Freatische Lijn DODH bevindingen [ref. 2], is de kalibratie van deze raai uitgebreid beschreven (alle peilbuizen in het profiel van raai 6). Later zijn daar raai 1, raai 4 en raai 9 aan toegevoegd. Ook deze raaien zijn gekalibreerd en de kalibraties zijn in dit hoofdstuk beschreven.

4.1 Raai 1

In de verkenningfase is het PlaxFlow model gekalibreerd met een waterdicht buitentalud van asphalt. In de aangepaste kalibratie is het onderste deel van het talud gemodelleerd als zetsteen. Het aangepaste PlaxFlow model is weergegeven in afbeelding 4.1. In het voorland is een toplaag van klei aanwezig, zie bruine grondcluster in afbeelding 4.1. Hieronder ligt een zandlaag van circa drie meter dikte met hieronder een kleilaag, in afbeelding 4.1 weergegeven in het blauw. Met groen is de oude kleibekleding in de dijk weergegeven. De oude bekleding loopt door tot de buitenteen van dijk.

Afbeelding 4.1 PlaxFlow model raai 1

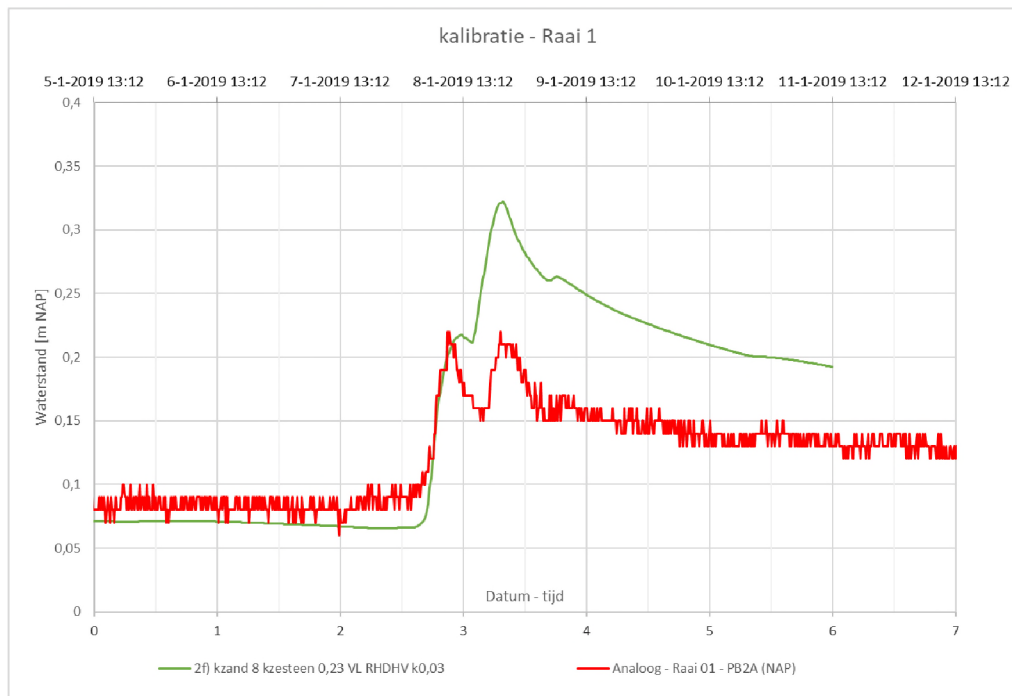


Voor de kalibratie zijn de gevoeligheden onderzocht van de doorlatendheid van het zand in de kern, de toplaag klei in het voorland en de doorlatendheid van het zetsteen. De beste fit is gevonden met de volgende waarden voor de doorlatendheid (k-waarde):

- doorlatendheid zand kern 8 m/dag (was 6 m/dag). De aangenomen doorlatend van zand is een logische waarde en valt binnen bandbreedte van de doorlatendheid van zand;
- doorlatendheid klei voorland 0,03 m/dag (gelijk aan verkenningfase). De aangenomen doorlatendheid voor klei is een logische waarde en valt binnen de bandbreedte van de doorlatendheid van klei;
- doorlatendheid zetsteen 0,23 m/dag (gelijk gehouden aan raai 9, zie opmerking onder afbeelding 4.2).

Het resultaat van de kalibratie is gepresenteerd in afbeelding 4.2. De eerste piek komt goed overeen, de tweede piek is in het model hoger, circa 12 cm. In de verkenningsfase was dit ook het geval, een eenduidige verklaring is hiervoor niet gevonden. Aangezien de verhoging gering is en het aan de veilige kant zit is dit acceptabel.

Afbeelding 4.2 Kalibratie raai 1 op basis van PB2A, peilbuis in de buitenteen



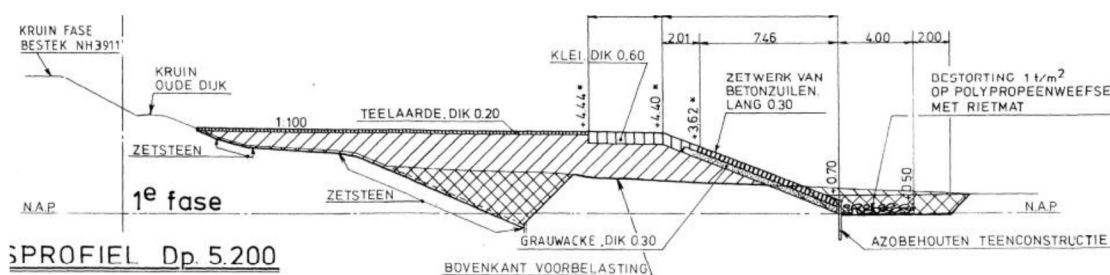
Opgemerkt wordt dat doorlatendheid van het zetsteen een geringe invloed heeft op de kalibratie, doordat het instroompunt bij het zetsteen afgesloten is van de zandlaag waar de peilbuis instaat. Daarom is voor de doorlatendheid van het zetsteen dezelfde waarde aangehouden als bij raai 9 (0,23 m/dag). Bij beide raaien bestaat de onderlaag van het zetsteen uit zandasfalt met dikte 0,3 m, zie Bijlage I.

4.2 Raai 4

Van raai 4 is geen PlaxFlow model beschikbaar uit de verkenningsfase. In deze paragraaf wordt eerst beschreven hoe het nieuwe model is opgebouwd en vervolgens is de kalibratie gepresenteerd.

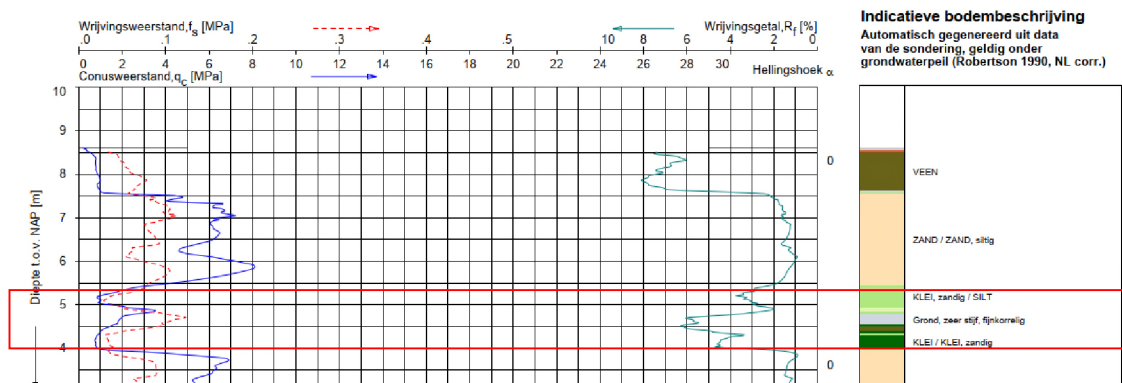
Bij de dijkversterking in de jaren tachtig is het zetsteen aan het buitentalud verwijderd. In afbeelding 4.3 is de eerste fase aangegeven van DP5.200 [ref. 21], zie Bijlage I voor de bestekstekening.

Afbeelding 4.3 Architekttekening DP5.200 [ref. 21], zie Bijlage I



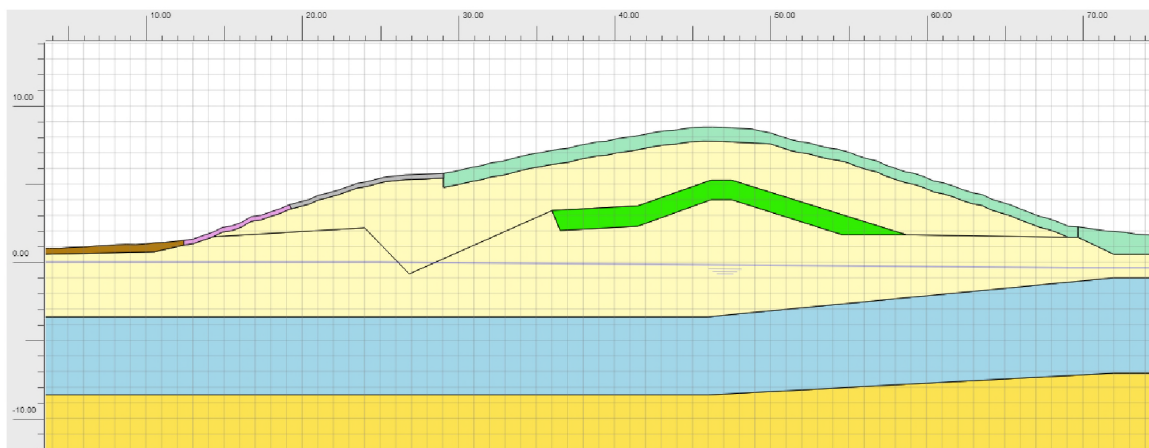
De geometrie van de oude dijk is overgenomen van de bestekstekening, zie Bijlage I. Voor de modellering is aangenomen dat de oude kleibekleding aanwezig is vanaf de oude berm tot aan het binnentalud. De dikte van de oude kleibekleding is bepaald op basis van sondering DKM019 van [ref. 19], dit is de sondering in de kruin bij raai 4. In de zandkern is duidelijk een kleilaag te zien tussen NAP +5,3 m en NAP +4,0 m. De bovenkant van deze kleilaag komt goed overeen met het niveau van de oude kruin, ook NAP +5,3 m, zie bestekstekening [ref. 21] in Bijlage I. Tot aan de binnenteen is dikte van de kleilaag daarom aangenomen op 1,3 m. Voor de bodemopbouw van de binnenzijde is zijn boring B578 en B583 uit BRO gebruikt en voor het voorland sondering 133 van [ref. 19], zie ook tabel 3.3.

Afbeelding 4.4 Sondering DKM019 [ref. 19]



De schematisatie van de bodemopbouw PlaxFlow model is weergegeven in afbeelding 4.5. Belangrijk uitgangspunt is dat er geen afsluitende kleilaag aanwezig is tussen het zetsteen en de zandlaag waar de peilbuis instaat. Dit is gebaseerd op het feit dat de dijk aan de buitenzijde versterkt is, zie afbeelding 4.3.

Afbeelding 4.5 PlaxFlow model raai 4



De onderlaag van het zetsteen bestaat uit Grauwacke, zie bestekstekening Bijlage I en afbeelding 4.3. De doorlatendheid van Grauwacke is vergelijkbaar met die van staalslakken (wat aanwezig is bij raai 6). Voor de doorlatendheid van de zetsteenconstructie wordt in eerste instantie uitgegaan van 3 m/dag op basis van raai 6.

De waterstand onder dagelijkse omstandigheden is NAP +0,65 m. Voor het modelleren van de freatische opbolling is net als bij raai 6 een lang voorland gemodelleerd. De beste fit wordt gevonden bij een voorland van 200 m.

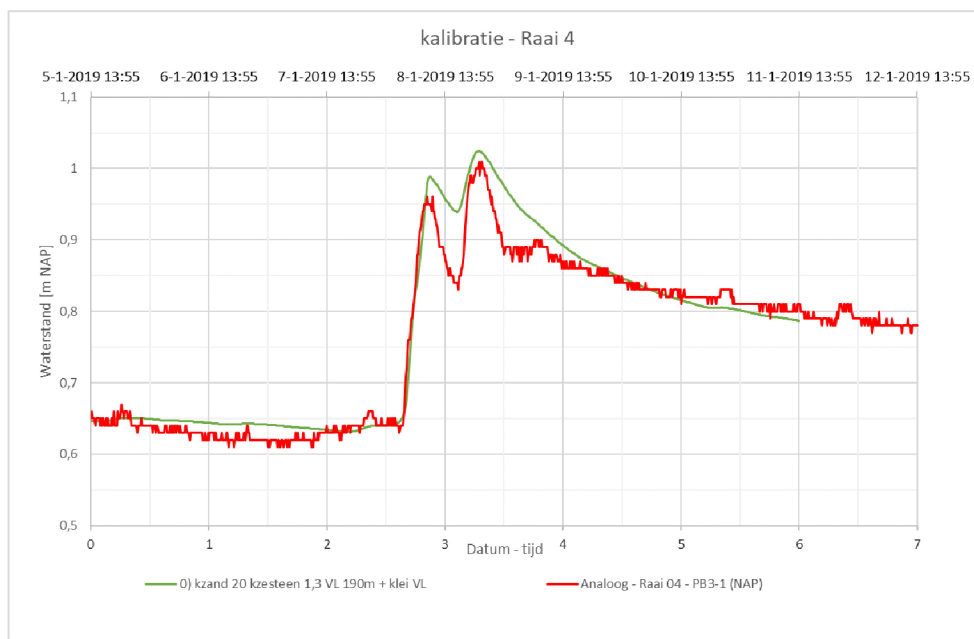
De doorlatendheid van het zand waarin het filter van de peilbuis is geplaatst is gemiddeld 20 m/dag, deze waarde is als startpunt aangehouden.

De beste fit is gevonden met de volgende waarden voor de doorlatendheid (k-waarde):

- doorlatendheid zand kern 20 m/dag;
- doorlatendheid klei voorland 0,03 m/dag (gelijk aan raai 1);
- doorlatendheid zetsteen 1,5 m/dag.

Het resultaat van de kalibratie is gepresenteerd in afbeelding 4.6. Beide pieken komen goed overeen met de meting, in het model is net als in de meting terug te zien dat de tweede piek hoger ligt dan de eerste piek.

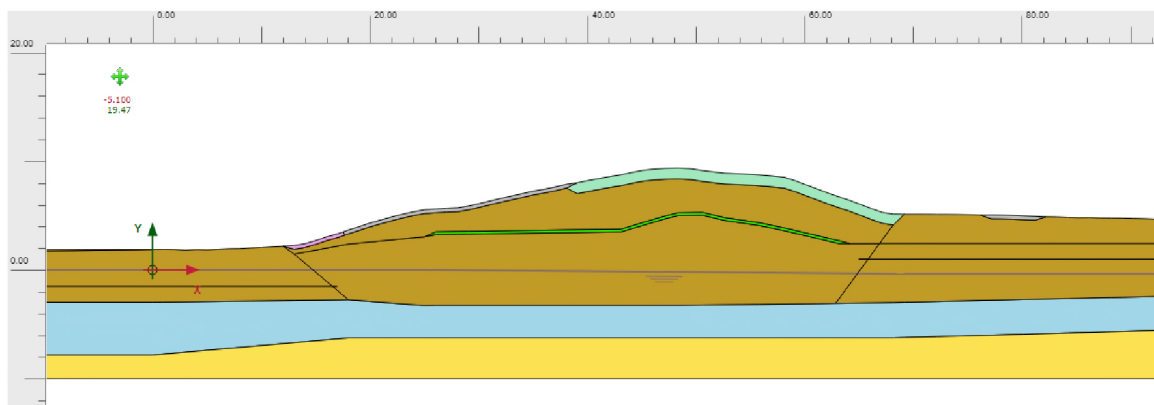
Afbeelding 4.6 Kalibratie raai 4, PB3-1 (berm buitentalud)



4.3 Raai 6

De grondopbouw bij raai 6 bestaat bijna volledig uit zand. Onder maaiveld op circa 4 m-mv is er een kleilaag aanwezig, in het blauw aangegeven in afbeelding 4.7. In de dijk is de oude kleibekleding nog aanwezig, deze loopt niet door tot aan de teen, omdat bij de vorige dijkversterking de dijk aan de buitenzijde versterkt is.

Afbeelding 4.7 PlaxFlow model raai 6



Voor de nieuwe kalibratie is ervoor gekozen om het voorland wel te modelleren en de buitenwaterstand gemeten tijdens de januari storm van 2019 niet af te kappen op een minimale waarde van NAP +1,4 m. Door de neerslag die in het model zit, 1,5 mm/dag, wordt met de steady state berekening de freatische opbolling in de dijk berekend. De gemeten freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden is NAP +1,4 m bij PB2B, de peilbuis in de buitenteen.

Voor de kalibratie zijn de volgende gevoeligheden onderzocht:

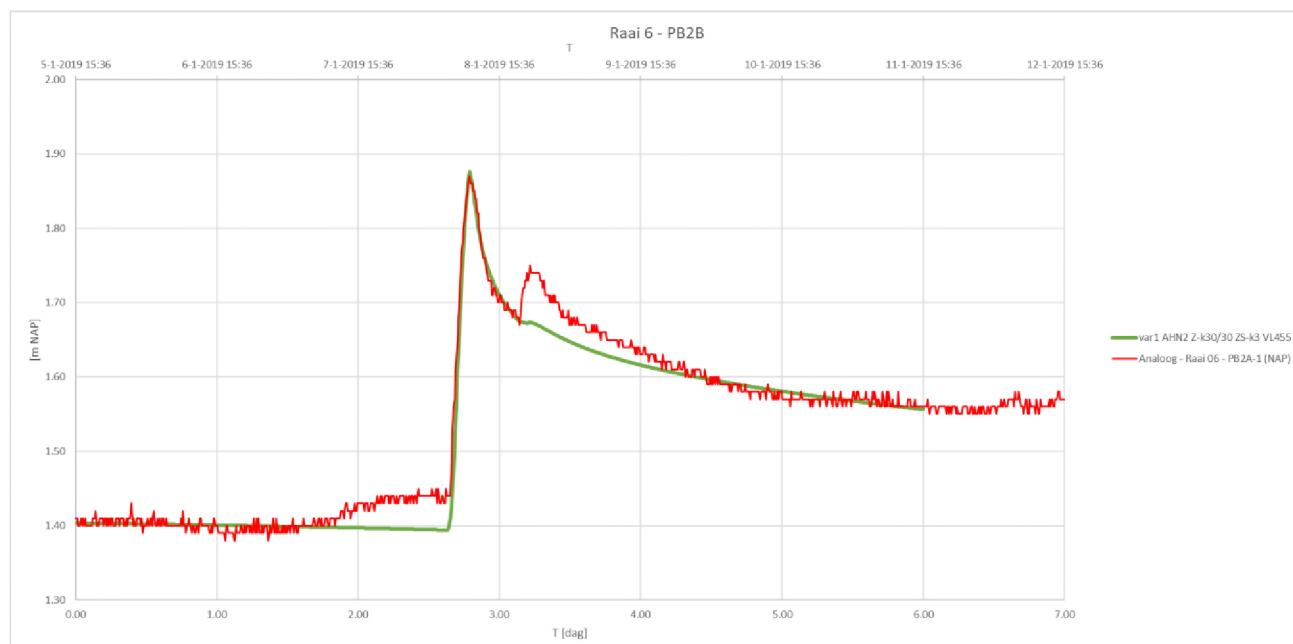
- lengte voorland;
- doorlatendheid zand in de kern van de dijk en in het voorland;
- doorlatendheid van het zetsteen;
- bovenkant klei op NAP -1 m aan de binnenzijde.

Op basis van bovenstaande gevoeligheden is het PlaxFlow model gekalibreerd, de volgende aanpassingen zijn gedaan ten opzichte van de verkenningfase:

- geen afkapping van de gemeten buitenwaterstand tijdens de januari storm 2019;
- voorland gemodelleerd, lengte circa 450 m;
- zetsteen van teen tot NAP +3,5 m gemodelleerd, doorlatendheid 3 m/dag;
- doorlatendheid zand verhoogd van 25 m/d naar 30 m/dag. Dit is een logische waarde die binnen de bandbreedte voor de doorlatendheid van zand valt.

De resultaten van de fit zijn weergegeven in afbeelding 4.8. De rode lijn is de meting van de peilbuis en de groene lijn de freatische lijn in de dijk. Het gekalibreerde PlaxFlow model geeft een goede fit met de berekening. Alleen de tweede piek is nauwelijks terug te zien in de resultaten van de berekening. Een verklaring zou kunnen zijn dat tussen de eerste en tweede piek extra water in de dijk is gekomen door bijvoorbeeld neerslag of golfoploop dat niet in het PlaxFlow model zit. Dit is verder niet onderzocht omdat dit voor de piek irrelevant is. Omdat de oorzaak niet bekend is, is vooral gefocust op de eerste piek en de afname van de freatische lijn na de eerste piek. Bovendien is de eerste piek van de peilbuismeting significant relevanter voor de kalibratie voor de omstandigheden tijdens WBN voor zichtjaar 2073.

Afbeelding 4.8 Resultaten kalibratie raai 6, peilbuis PB2B (teen buitentalud)

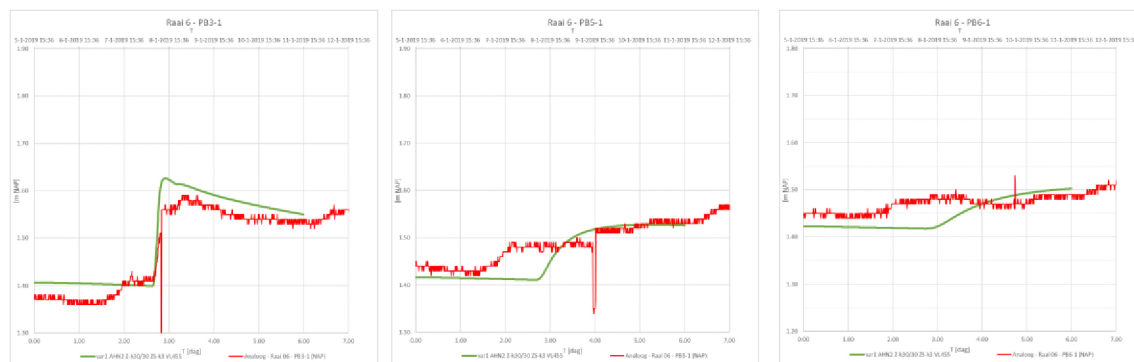


De fit resultaten van de overige peilbuizen, PB3-1, PB5-1 en PB6-1, zijn weergegeven in Afbeelding 4.9. De locatie van deze peilbuizen is:

- PB3-1: berm buitentalud;
- PB5-1: kruin;
- PB6-1: binnenteen.

Over het algemeen sluiten de resultaten van het PlaxFlow model goed aan bij de peilbuismetingen.

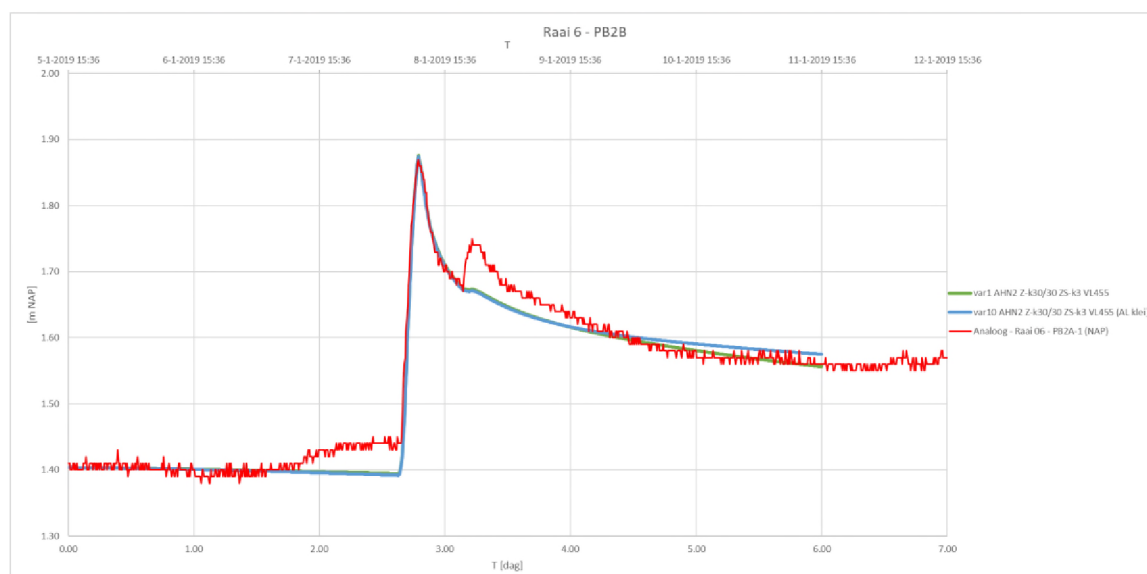
Afbeelding 4.9 Resultaten kalibratie raai 6, peilbuis PB3-1, PB5-1 en PB6-1



De freatische lijn in de dijk bij dagelijkse omstandigheden is circa NAP +1,4 m. Dit is bij alle peilbuizen te zien in raai 6. (ook aan de binnenzijde van de dijk). In het achterland ligt het Balgzandkanaal met een peil van NAP -0,35 m. De afstand tussen de binnenteen en het talud van het kanaal is circa 55 m. In het model is er vanaf maaiveld tot NAP -3 m zand aanwezig. Door het verschil in de freatische lijn en het kanaalpeil moet er een hydraulische weerstand aanwezig zijn tussen de dijk en het kanaal.

In dezelfde berekening is ook onderzocht wat het effect van toepassing van klei tot NAP +2,5 m in plaats van NAP -3 m in het achterland is. Dit is weergegeven met de blauwe lijn in afbeelding 4.10. Het enige verschil met de kalibratie van afbeelding 4.8 is dat de freatische lijn gering langzamer afstroomt na de piek (orde grootte circa 2 cm in niveau op bepaald tijdstip). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de modellering aan de binnenzijde van de dijk bij raai 6 marginale invloed heeft op de freatische lijn in dijk.

Afbeelding 4.10 Resultaten kalibratie raai 6, peilbuis PB2B (teen buitentalud) inclusief klei tot NAP +2,5 m in binnenland

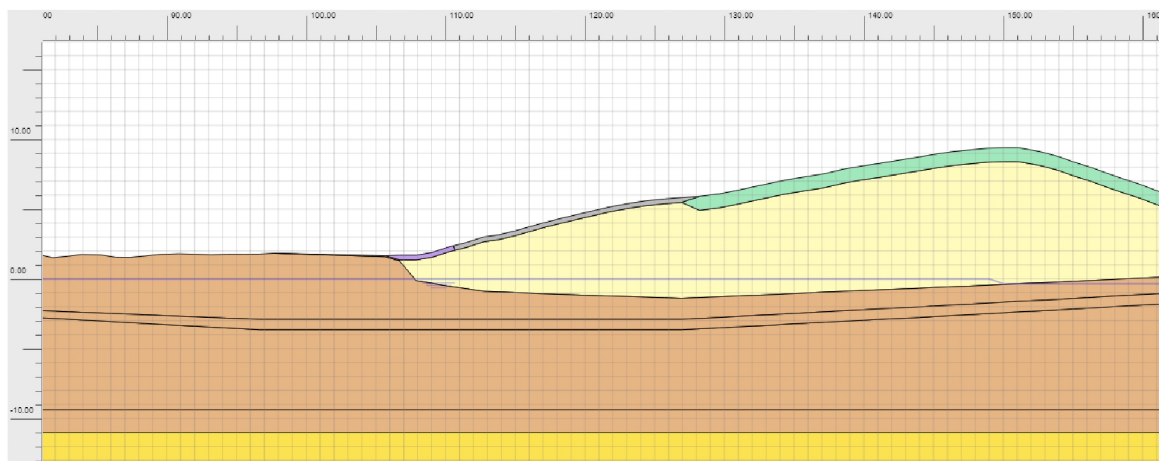


In het model van de verkenningfase en het opnieuw gekalibreerde model uit deze analyse is het binnenland gemodelleerd tot circa 50 m uit de binnenteen. Hierbij zit het Balgzandkanaal niet in het model. Als hydraulische randvoorwaarde is de grens van het model aan de binnenzijde gesloten (behaviour: closed). Hoewel deze modellering niet helemaal overeenkomt met de werkelijkheid is dit voor deze analyse verdedigbaar. Er blijkt namelijk een bepaalde hydraulische weerstand aanwezig tussen de binnenteen en het kanaal door het verschil tussen gemeten waterstand en kanaalpeil. Ook sluiten de resultaten van het PlaxFlow model goed aan bij de peilbuismetingen ter plaatse van de binnenteen (zie afbeelding 4.9).

4.4 Raai 9

In de verkenningfase is het PlaxFlow model gekalibreerd met een waterdicht buitentalud van asfalt. In de aangepaste kalibratie is het onderste deel van het talud gemodelleerd als zetsteen. De eerste 11 m-mv bestaat uit keileem. In afbeelding 4.11 voor het PlaxFlow model van raai 9.

Afbeelding 4.11 PlaxFlow model raai 9

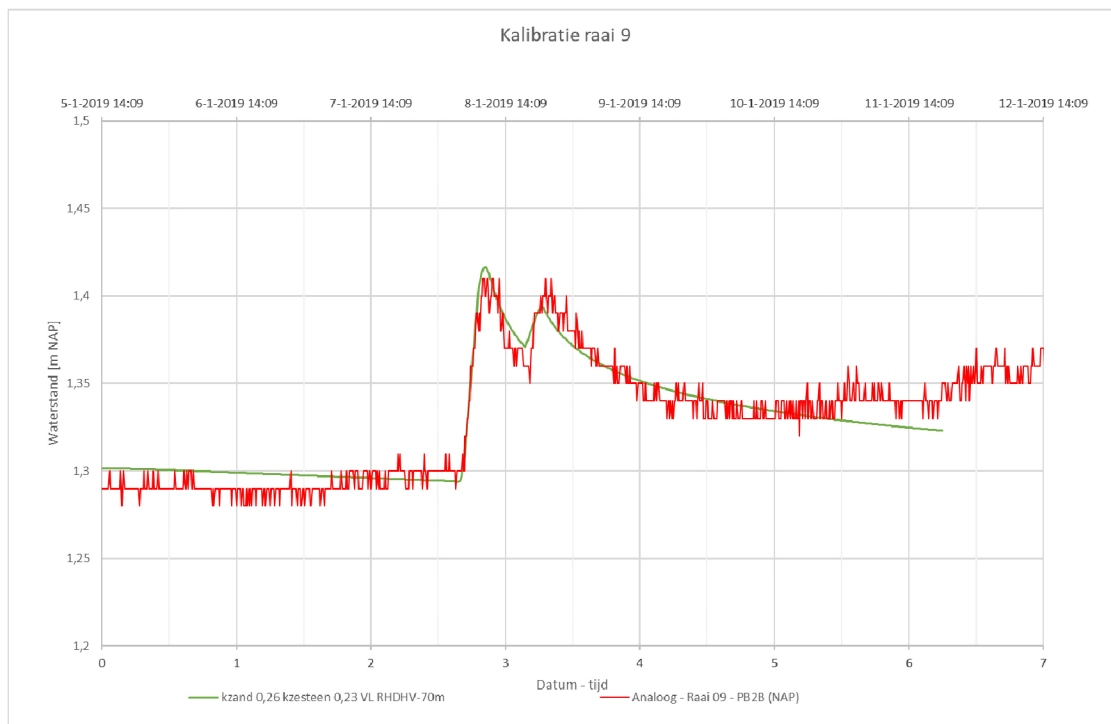


Voor de kalibratie zijn de gevoeligheden onderzocht van de doorlatendheid van het zand in de kern, de toplaag klei in het voorland en de doorlatendheid van het zetsteen. De beste fit is gevonden met de volgende waarden voor de doorlatendheid (k-waarde):

- doorlatendheid zand kern 26 m/dag (gelijk aan verkenningfase). Dit is een logische waarde die binnen de bandbreedte voor de doorlatendheid van zand valt;
- doorlatendheid zetsteen 0,23 m/dag;
- het voorland is 70 m ingekort ten opzichte van de verkenningfase.

Het resultaat van de kalibratie is gepresenteerd in afbeelding 4.2. De eerste piek komt goed overeen, de tweede piek is in het model 2 cm lager.

Afbeelding 4.12 Kalibratie raai 9



5

WBN VOOR ZICHTJAAR 2073

5.1 Algemeen

In paragraaf 5.2 t/m 5.5 is het verloop van de freatische lijn in de dijk berekend op basis van de gekalibreerde PlaxFlow modellen van raai 1, 4, 6 en 9. Bij de bepaling van de freatische lijn onder het asfalt is gekeken naar meerdere punten in het model ter hoogte van de onderkant van het asfalt. Van de beschouwde punten is steeds de maximale waarde genomen. Vervolgens is in paragraaf 5.6 de grondwaterstand in de dijk bepaald voor de overige raaien, gebaseerd op de resultaten van raaien 1, 4, 6 en 9.

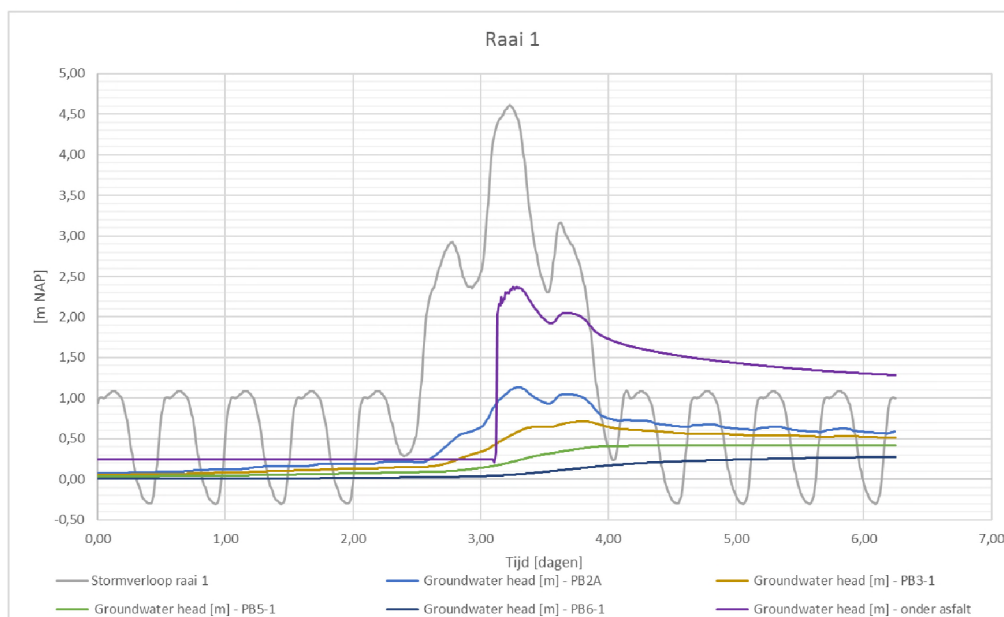
De berekende freatische lijnen in paragraaf 5.2 t/m 5.6 zijn berekende waarden, zonder onzekerheidstoets. In paragraaf 5.7 is de omgang met onzekerheden gepresenteerd en in paragraaf 5.8 zijn de rekenwaarden per raai weergegeven.

5.2 Raai 1

De resultaten per peilbuis zijn weergegeven in afbeelding 5.1. Het maximale niveau van de freatische lijn ter plaatse van peilbuis PB2A (teen van buitentalud) is NAP +1,13 m. In de berekening van de verkenningfase [ref. 3] was dit NAP +0,84 m. Door de aangepaste kalibratie en de aanpassingen in de WBN buitenwaterstand neemt het niveau van de freatische lijn met 0,31 m toe ter plaatse van het buitentalud.

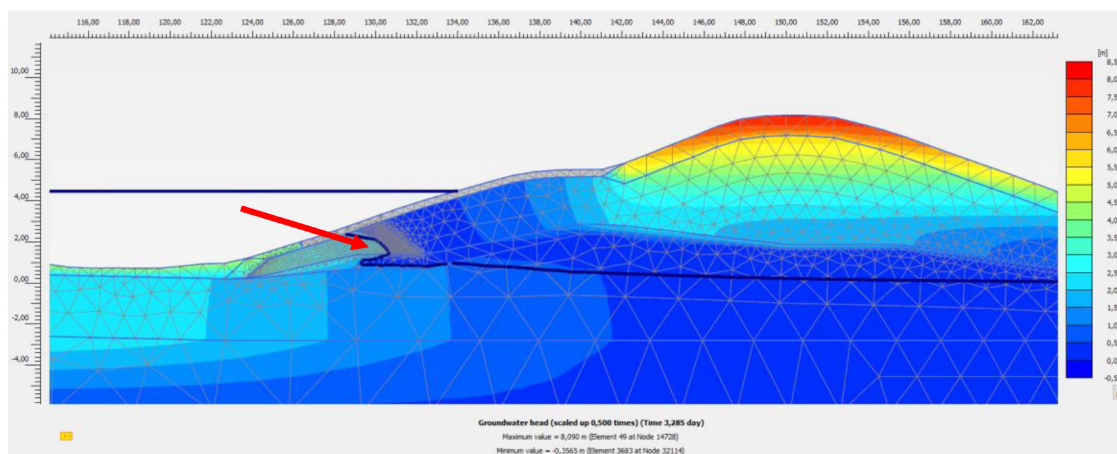
In de grafiek is ook de freatische lijn weergegeven ter plaatse van de asfaltbekleding, het maximale niveau is NAP +2,37 m. Dit is de freatische lijn direct onder het asfalt, boven de afsluitende oude kleibekleding. In afbeelding 5.1 is dit weergegeven met de paarse lijn. De grote sprong die deze lijn maakt op T=3,12 is te verklaren doordat het stresspoint dat gebruikt wordt in de grafiek in het PlaxFlow model boven de oude kleibekleding ligt. De freatische lijn loopt op boven de oude kleibekleding en op T=3,12 dag raakt de freatische lijn het stress point. Ter referentie is ook de buitenwaterstand bij norm in de grafiek gepresenteerd. De onderrand van de asfaltbekleding ligt hier op circa NAP +2.0 m. De freatische lijn komt dus tot onder de asfaltbekleding.

Afbeelding 5.1 Resultaten freatische lijn bij WBN voor zichtjaar 2073 per peilbuis voor raai 1



De Plaxis output van de freatische lijn in de dijk is weergegeven in afbeelding 5.2. In deze afbeelding is goed te zien dat het instromende water accumuleert boven de oude kleibekleding, door de afsluitende kleilaag kan het water niet snel genoeg afstromen.

Afbeelding 5.2 Freatische lijn bij WBN met zichtjaar 2073 voor raai 1



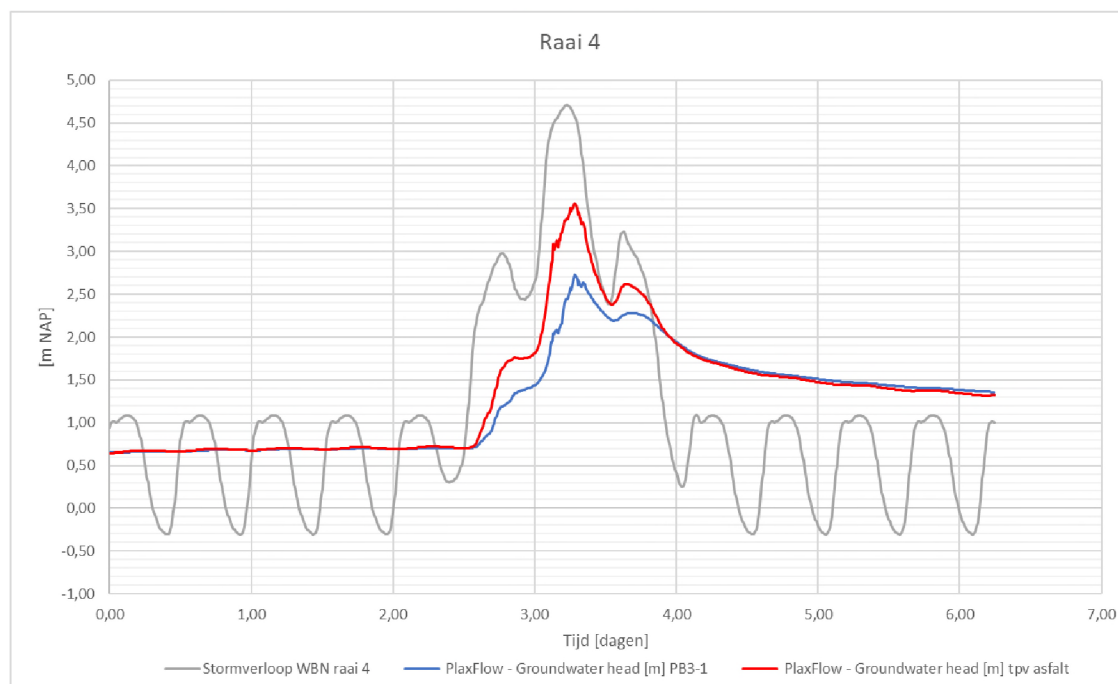
In de kalibratie van raai 1 is voor doorlatendheid van zetsteen 0,23 m/dag gebruikt, gebaseerd op de toegepaste doorlatendheid van zetsteen bij raai 9. Echter heeft de doorlatendheid van zetsteen bij raai 1 nauwelijks invloed op de kalibratie met de peilbuis. Dit komt doordat er een afsluitende laag, de oude kleibekleding, aanwezig is tussen het zetsteen en de locatie van de filter van peilbuis PB2A. De doorlatendheid van zetsteen heeft echter wel een grote invloed op het niveau van de freatische lijn onder de asfaltbekleding. Als gevoeligheidsberekening is het verloop van de freatische lijn bepaald bij een grotere doorlatendheid van het zetsteen. Bij raai 4 en raai 6 is een grotere doorlatendheid uit de kalibratie gekomen, respectievelijk 1,5 m/dag en 3 m/dag. Echter hebben deze twee raaien een meer doorlatende onderlaag, Grauwaske en staalslakken, en is de respons in de peilbuis significant groter dan bij raai 1. Voor de gevoeligheidsberekening is daar om een doorlatendheid van 0,7 m/dag toegepast, 3x de doorlatendheid van de kalibratie. Het maximale niveau van de freatische lijn direct onder het asfalt is dan NAP +2,70 m. Dit is een toename van 0,35 m ten opzichte van het gekalibreerde model.

De modellering van de oude bekleding is overgenomen van het model uit de verkenningfase. Op basis van de archieftekening, zie Bijlage I, is dit te verklaren doordat de dijk aan de westzijde van de Balgzanddijk alleen aan de binnenzijde is versterkt, zie dwarsprofiel A van tekening 83_BAD_002 in Bijlage I. Verderop richting het oosten, dwarsprofiel B van tekening 83_BAD_002, is de dijk zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde versterkt en is het niet waarschijnlijk dat de oude kleibekleding doorloopt tot de nieuwe teen. Dit geldt ook voor raai 2 en raai 3.

5.3 Raai 4

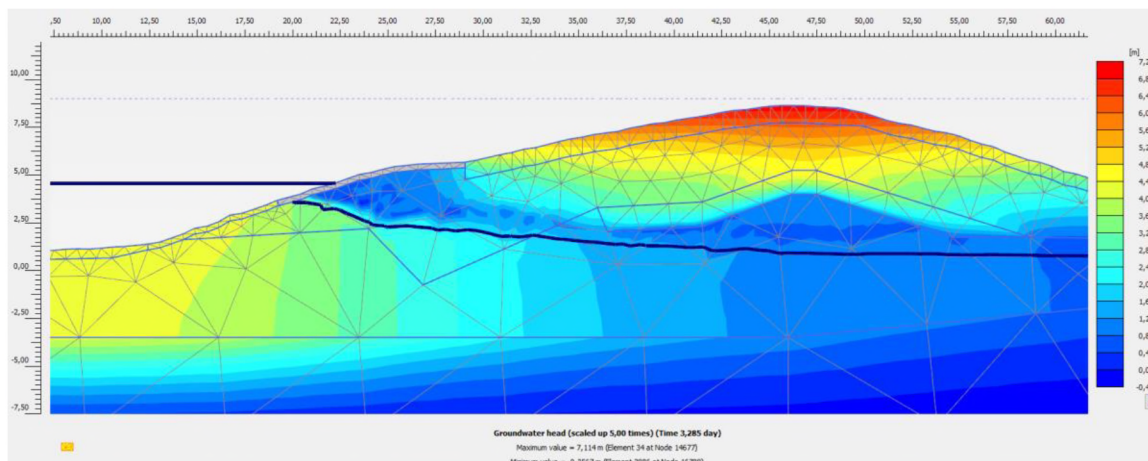
De resultaten van peilbuis PB3-1, in de berm van het buitentalud, zijn weergegeven in afbeelding 5.3. Het maximale niveau van de freatische lijn bij peilbuis PB3-1, ter plaatse van de berm in het buitentalud, is NAP +2,73 m. In deze grafiek is ook de freatische lijn weergegeven ter plaatse van de asfaltbekleding, de maximale waarde is NAP +3,56 m. Ter referentie is ook de buitenwaterstand bij norm in de grafiek gepresenteerd. De onderrand van de asfaltbekleding ligt hier op circa NAP +3,0 m. De freatische lijn komt dus tot onder de asfaltbekleding.

Afbeelding 5.3 Resultaten freatische lijn bij WBN voor zichtjaar 2073 bij peilbuis PB3-1 voor raai 4



De Plaxis output van de freatische lijn in de dijk is weergegeven in afbeelding 5.4.

Afbeelding 5.4 Freatische lijn bij WBN met zichtjaar 2073 voor raai 4



5.4 Raai 6

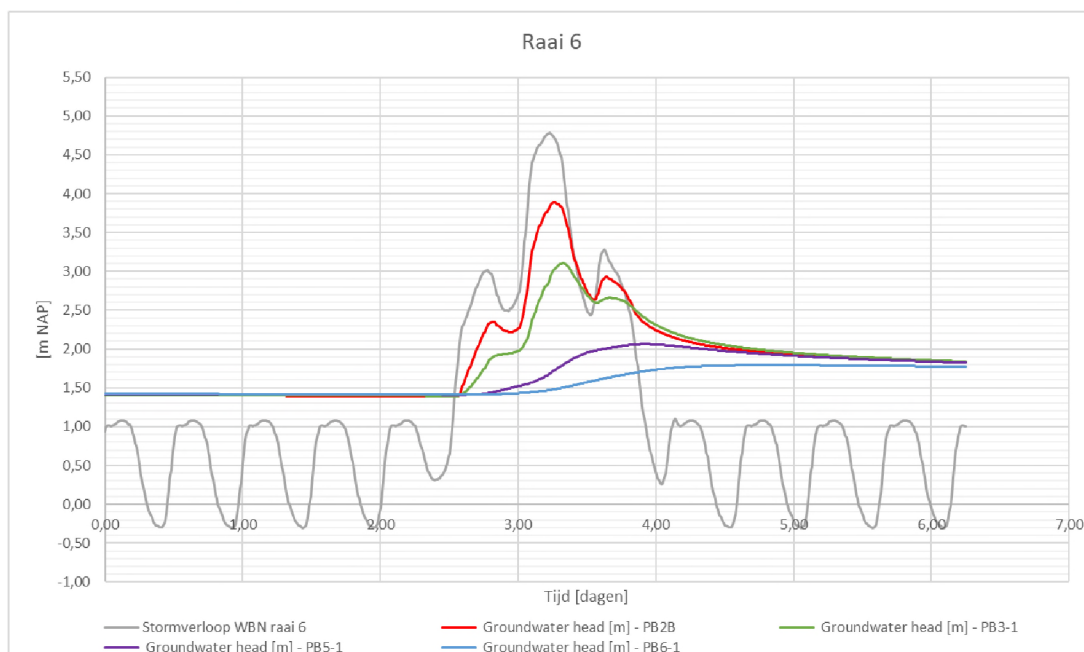
5.4.1 Waterstand bij norm voor zichtjaar 2073

Het gekalibreerde model van raai 6 is gebruikt voor de berekening van de freatische lijn. In deze analyse is de WBN voor zichtjaar 2073 buitenwaterstand aangehouden conform afbeelding 2.7. Ten opzichte van [ref. 3] is in deze analyse een zeespiegelstijging van 0,5 m aangehouden in de buitenwaterstand bij norm, zie paragraaf 2.4.

De resultaten per peilbuis zijn weergegeven in afbeelding 5.5. Het maximale niveau van de freatische lijn ter plaatse van peilbuis PB2B is NAP +3,9 m. In de berekening van [ref. 3] was dit NAP +3,2 m. Door de aangepaste kalibratie en de aanpassingen in de WBN buitenwaterstand neemt de freatische lijn met 0,7 m toe ter plaatse van de buitenteen.

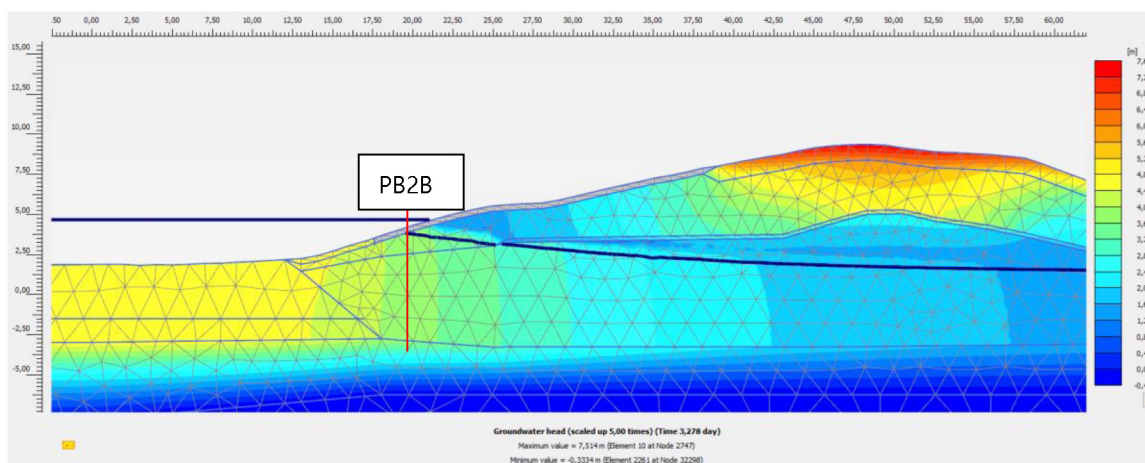
Ter referentie is ook de WBN voor zichtjaar 2073 in de grafiek gepresenteerd. Geconcludeerd wordt dat de freatische lijn in de dijk ter plaatse van de buitenteen de buitenwaterstand bij norm goed volgt, de reactietijd is zeer klein.

Afbeelding 5.5 Resultaten freatische lijn bij WBN voor zichtjaar 2073 per peilbuis voor raai 6



De Plaxis output van de freatische lijn bij in de dijk is weergegeven in afbeelding 5.6. De peilbuis staat ter hoogte van het snijpunt van de freatische waterlijn met het asfalt, de maximale waterstand onder het asfalt is ook NAP +3,9 m. De onderrand van de asfaltbekleding ligt hier op NAP +3,0 m. De freatische lijn komt dus tot onder de asfaltbekleding.

Afbeelding 5.6 Freatische lijn bij WBN met zichtjaar 2073 voor raai 6



In de verkenning [ref. 3] is de buitenwaterstand gebruikt zonder zeespiegelstijging bij normale omstandigheden. Deze zeespiegelstijging heeft een verhogend effect op de waterstand in de dijk bij WBN. Omdat niet alle raaien opnieuw berekend worden, is een aanvullende berekening gemaakt zonder de zeespiegelstijging om het verschil te bepalen wat als correctie toegepast kan worden op de raaien die gelinkt worden aan raai 6. Zonder zeespiegelstijging bij normale omstandigheden is de maximale waterstand in dijk NAP +3,7 m, dit is 0,2 m (afgerond) lager dan met zeespiegelstijging. Voor de overige raaien waarvan geen nieuwe WBN voor zichtjaar 2073 berekening gemaakt is in deze analyse (raai 2, 3, 5, 7, 8, 10 en 10), is de berekende waterstand in de dijk bij WBN voor zichtjaar 2073 van de verkenning [ref. 3] verhoogd met 0,2 m. De toeslagen worden toegelicht in paragrafen 5.7 en 5.8.

5.4.2 Gevoeligheidsberekeningen / scenario's raai 6

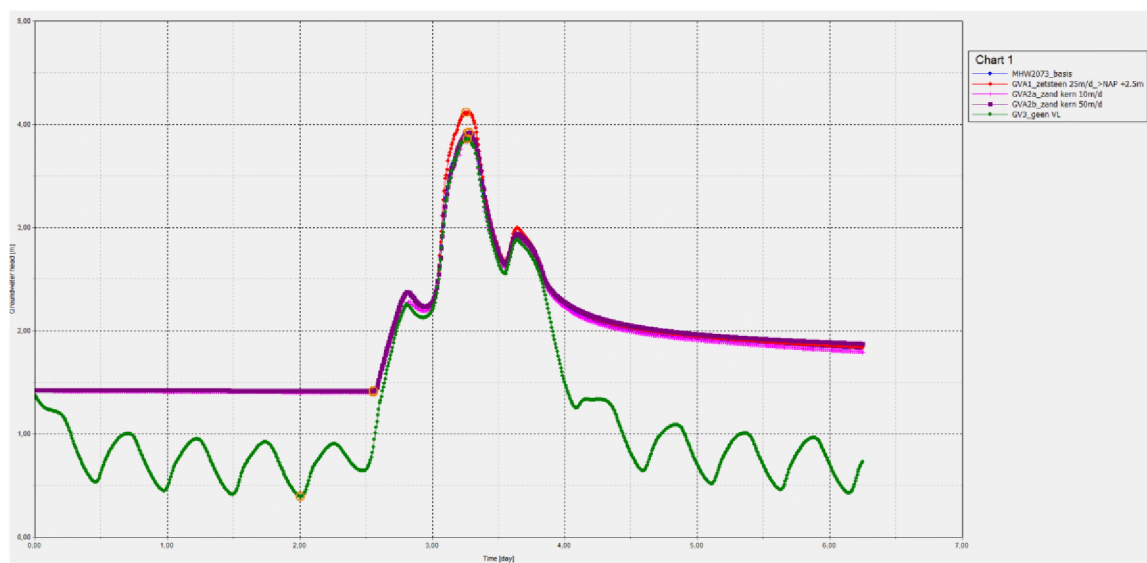
Om de invloed van een aantal onzekerheden en mogelijke scenario's te bepalen zijn er drie aanvullende gevoeligheden en scenario's onderzocht:

- 1 een hogere doorlatendheid van het zetsteen boven NAP +2,5 m. In de kalibratie is een doorlatendheid van 3 m/dag aangehouden voor het zetsteen. Bekend is dat het onderste deel van het zetsteen begroeid is of onder een laag slib ligt. Daarom is voor het deel boven de buitenwaterstand van de januari 2019 storm een grotere doorlatendheid toepast, 25 m/dag (bovengrens op basis van [ref. 4]) vanaf NAP +2,5 m tot NAP +3,5 m. Dit deel ligt boven de waterstand tijdens storm, maar onder de buitenwaterstand bij WBN;
- 2 de zandkern van zowel de oude als de nieuwe dijk ligt boven de buitenwaterstand van de januari 2019 storm, maar wel ter hoogte van de WBN voor zichtjaar 2073 buitenwaterstand. Daarom is voor de gevoeligheidsanalyse de invloed van een kleinere en grotere doorlatendheid van het zand in de dijk onderzocht, respectievelijk 10 m/dag en 50 m/dag voor het zand in de dijk;
- 3 weggeslagen voorland bij WBN.

De resultaten voor peilbuis PB2B zijn weergegeven in afbeelding 5.7. Geconcludeerd wordt dat:

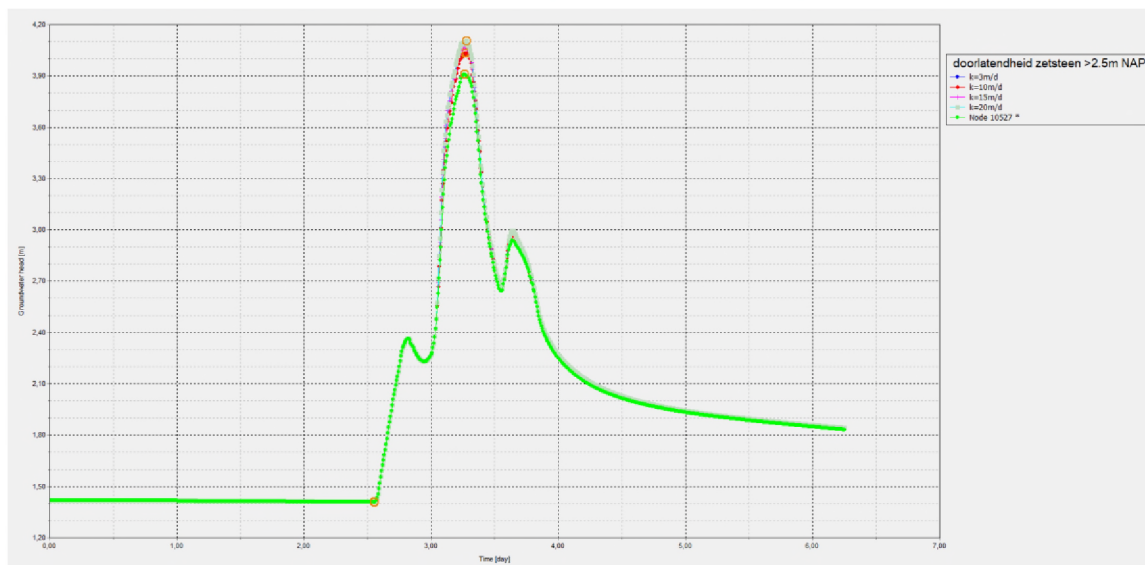
- een hogere doorlatendheid van het zetsteen boven NAP +2,5 m resulteert in een hogere piek bij hoogwater. Het maximale niveau van de freatische lijn verhoogt van NAP +3,9 m naar NAP +4,1 m;
- verlagen of verhogen van de doorlatendheid van het zand in de dijk heeft geen significant effect op de freatische lijn;
- zonder voorland is de hoogte van de piek vergelijkbaar met modellering van het voorland.

Afbeelding 5.7 Verloop freatische lijn raai 6 voor verschillende scenario's



Een hogere doorlatendheid resulteert in een hogere freatische lijn. In deze gevoeligheidsanalyse is 25 m/dag gebruikt, dit is een factor 8 hoger dan uit de kalibratie van raai 6 komt (3 m/dag). Het is aannemelijk dat het bovenste deel van het talud een grotere waterdoorlatendheid heeft dan het onderste deel door bijvoorbeeld begroeiing of angespoeld slib. Echter wordt een verschil van factor 8 (bij de andere raaien is dit nog groter, factor 17 tot 109), niet als realistisch beschouwd. Daarom is ook de gevoeligheid van tussenliggende doorlatendheden, 10, 15 en 20 m/d bepaald, zie afbeelding 5.8. De freatische lijn is respectievelijk NAP +4,02 m, NAP +4,08 m, NAP +4,1 m.

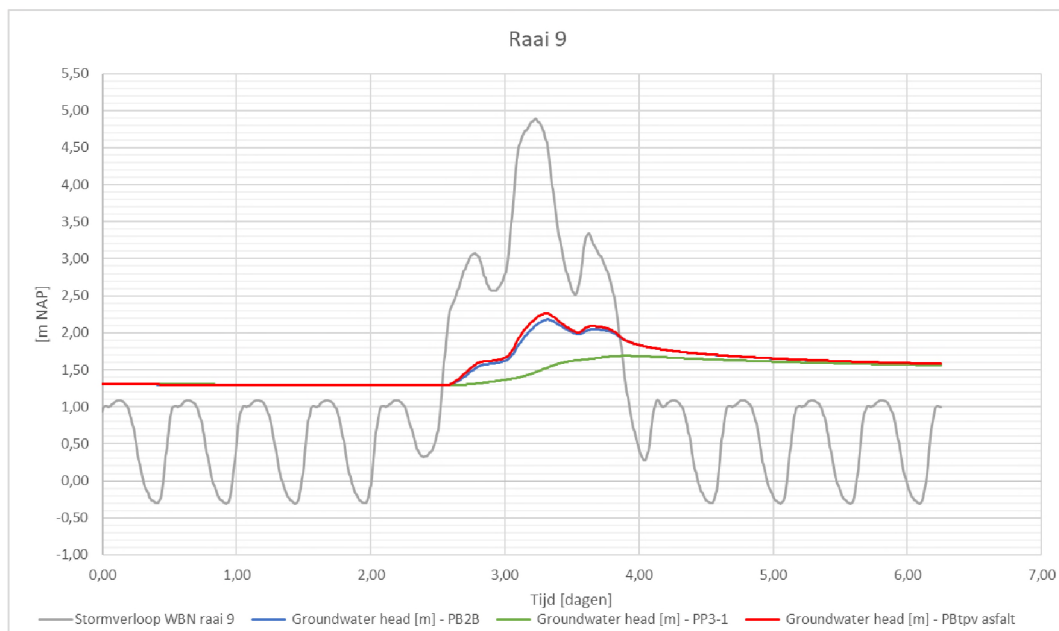
Afbeelding 5.8 Verloop freatische lijn raai 6 voor verschillende doorlatendheden van de zetsteen boven NAP +2,5 m



5.5 Raai 9

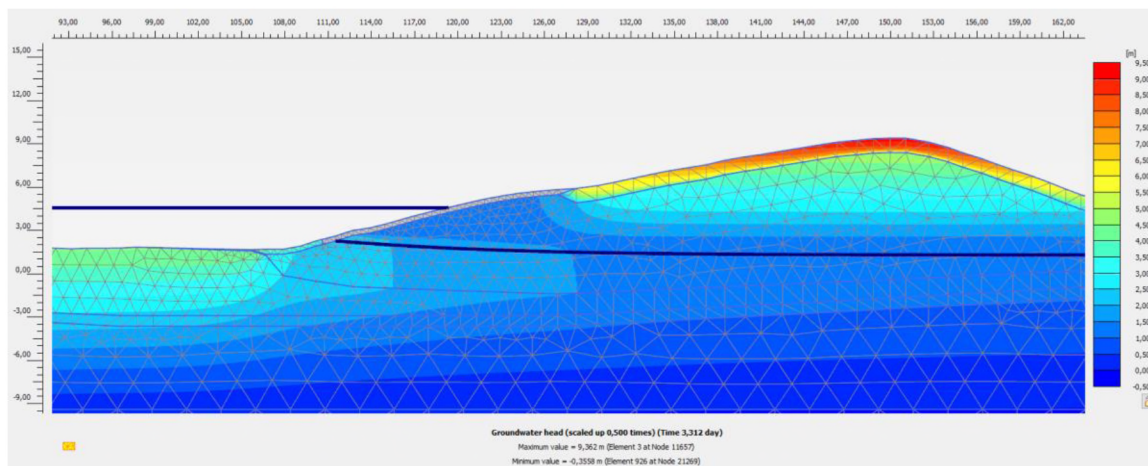
De resultaten per peilbuis zijn weergegeven in afbeelding 5.9. Het maximale niveau van de freatische lijn bij peilbuis PB2B, op circa 5 m van de buitenteen, is NAP +2,18 m. In de berekening van de verkenningsfase [ref. 3] was dit NAP +1,71 m. Door de aangepaste kalibratie en de aanpassingen naar de WBN neemt de freatische lijn met 0,47 m toe ter plaatse van de buitenteen. In de grafiek is ook de freatische lijn weergegeven ter plaatse van de asfaltbekleding, de maximale waarde is NAP +2,26 m. Ter referentie is ook de buitenwaterstand bij norm in de grafiek gepresenteerd.

Afbeelding 5.9 Resultaten freatische lijn bij WBN voor zichtjaar 2073 per peilbuis voor raai 9



De Plaxis output van de freatische lijn in de dijk is weergegeven in afbeelding 5.10.

Afbeelding 5.10 Freatische lijn bij WBN met zichtjaar 2073 voor raai 9



Net als bij raai 6 is het effect bepaald van de zeespiegelstijging bij normale omstandigheden. Zonder zeespiegelstijging bij normale omstandigheden komt de freatische lijn in dijk tot maximaal NAP +2,00 m, dit is 0,18 m lager dan met zeespiegelstijging. Voor de raaien die gelinkt zijn aan raai 9 waarvan geen nieuwe berekening gemaakt is in deze analyse, is de freatische lijn in de dijk [ref. 3] verhoogd met 0,2 m (afgerond).

5.6 Freatische lijn waterstand per raai

5.6.1 Raai 1, 2 en 3

In de verkenningfase [ref. 3] zijn de resultaten van raai 1 geprojecteerd op raai 2 en 3. Op basis van de uitgevoerde vergelijkingen lijkt dit logisch, zie paragraaf 3.2.2. Projectie van raai 1 op raai 2 is een logische keuze, de peilbuis van raai 2 laat een kleinere respons zien, de projectie is hiermee aan de veilige kant. Bij raai 3 is juist een hogere respons te zien, echter gaat het om enkele centimeters. Derhalve is de projectie van raai 1 op 3 ook een verdedigbare keuze.

Zoals benoemd in paragraaf 5.2 is de freatische lijn in de dijk onder asfalt bij raai 1 aanzienlijk hoger dan ter plaatse van de peilbuis door de oude kleibekleding die de kern van dijk afsluit van onderliggende zandlaag waarin de filter van de peilbuis staat. Bij raai 2 en raai 3 is dit niet het geval. Daarom is voor raai 2 en raai 3 het model van raai 1 aangepast door de oude kleibekleding te vervangen door zand. In deze berekening is freatische lijn onder de asfaltbekleding NAP +1,84 m.

In de verkenningfase [ref. 3] is een verschuiving toegepast van de berekende freatische lijn voor de projectie van raai 1 op raai 2 en 3, op basis van de freatische lijn gemeten tijdens de januari 2019 storm. Voor raai 2 is dit 0,0 m en voor raai 3 0,1 m. In deze analyse wordt de dezelfde verschuiving op basis van de freatische lijn tijdens de januari 2019 storm toegepast voor de projectie van raai 1 op raai 2 en 3 op berekende freatische lijn bij WBN voor zichtjaar 2073 bij raai 1.

De maximale niveaus van de freatische lijn onder het asfalt voor raaien 1, 2 en 3 opgenomen in tabel 5.1. Daarnaast is per raai ook de bandbreedte van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding dat binnen de raai aanwezig is opgenomen.

Tabel 5.1 Maximale niveaus freatische lijn onder het asfalt (zonder onzekerheidstoelagen) voor raaien 1, 2 en 3

Raai	Max. niveau freatische lijn onder asfalt [m NAP]	Niveau onderrand asfaltbekleding (2023) [m NAP]
1	2,35 (zie paragraaf 5.2)	1,74 - 2,23
2	1,84	2,27 - 2,37
3	1,94	2,92 - 3,26

5.6.2 Raai 4, 5 en 6

In de verkenning [ref. 3] zijn de resultaten van raai 6 geprojecteerd op raai 4 en 5. Voor raai 5 dit verdedigbaar. Voor raai 4 niet, de peilbuismeting van deze raai wijkt duidelijk af van raai 6. Daarom is voor raai 4 een PlaxFlow model opgezet, gekalibreerd met de peilbuismeting de freatische lijn berekend.

In de verkenningfase [ref. 3] is een verschuiving toegepast van de berekende freatische lijn voor de projectie van raai 6 op raai 5, op basis van de freatische lijn tijdens de januari 2019 storm. Voor raai 5 is dit -0,2 m. In deze analyse wordt voor de projectie van raai 6 op raai 5 dezelfde verschuiving op de freatische lijn onder het asfalt toegepast.

De maximale niveaus van de freatische lijn onder het asfalt voor raaien 4, 5 en 6 zijn opgenomen in tabel 5.2. Daarnaast is per raai ook de bandbreedte van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding dat binnen de raai aanwezig is opgenomen.

Tabel 5.2 Maximale niveaus freatische lijn onder het asfalt (zonder onzekerheidstoelagen) voor raaien 4, 5 en 6

Raai	Max. niveau freatische lijn onder asfalt [m NAP]	Niveau onderrand asfaltbekleding (2023) [m NAP]
4	3,64 (zie paragraaf 5.3)	3,10 - 3,22
5	3,90-0,20 = 3,70	2,99 - 3,19
6	3,90	2,59-3,10

5.6.3 Raai 7

Geconcludeerd is dat raai 7 vergelijkbaar is aan raai 6. Raai 7 heeft net als raai 6 een zand ondergrond, en aan de binnenzijde is keileem aanwezig die afstroming richting binnenzijde verhindert (vergelijkbaar met de hydraulische weerstand aan de binnenzijde bij raai 6).

Daarnaast is de waterstand bij normale omstandigheden bij beide raaien NAP +1,4 m en bestaat bij beide raaien het onderste deel van het talud uit betonzulen op staalslakken. Deze gelijkenissen geeft voldoende vertrouwen om voor het maximale niveau van de freatische lijn voor raai 7 de voor raai 6 berekende verhoging van 0,7 m (zie paragraaf 5.4) toe te passen, zie tabel 5.3. Daarnaast is ook de bandbreedte van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding dat binnen de raai aanwezig is opgenomen.

Tabel 5.3 Maximale niveau freatische lijn onder het asfalt (zonder onzekerheidstoelagen) voor raai 7

Raai	max. niveau freatische lijn onder asfalt [m NAP]	niveau onderrand asfaltbekleding (2023) [m NAP]
7	4,10+0,70 = 4,80	2,24-3,31

5.6.4 Raai 8, 9 en 10

Raai 8, 9 en 10 hebben de overeenkomst dat de ondergrond bestaat uit keileem vanaf maaiveld en de zetsteenconstructie uit betonzuilen op zandasfalt. Vanwege de overeenkomsten tussen raaien 8, 9 en 10 kan de berekening van raai 9 geprojecteerd worden op raai 8 en 10.

De verhoging van het maximale niveau van de freatische lijn bij raai 9 is 0,47 m ten opzichte van de verkenningsfase: 0,2 m is het effect van zeespiegelstijging en 0,27 m het effect van de aangepaste modellering. Aanbevolen wordt om het voor raai 8 en 10 in de verkenningsfase berekende maximale niveau van de freatische lijn ook met 0,47 m te verhogen. De maximale niveaus van de freatische lijn onder het asfalt van raaien 8, 9 en 10 zijn opgenomen in Tabel 5.4. Daarnaast is ook de bandbreedte van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding dat binnen de raai aanwezig is opgenomen.

Tabel 5.4 Maximale niveaus freatische lijn onder het asfalt (zonder onzekerheidstoelagen) voor raaien 8, 9 en 10

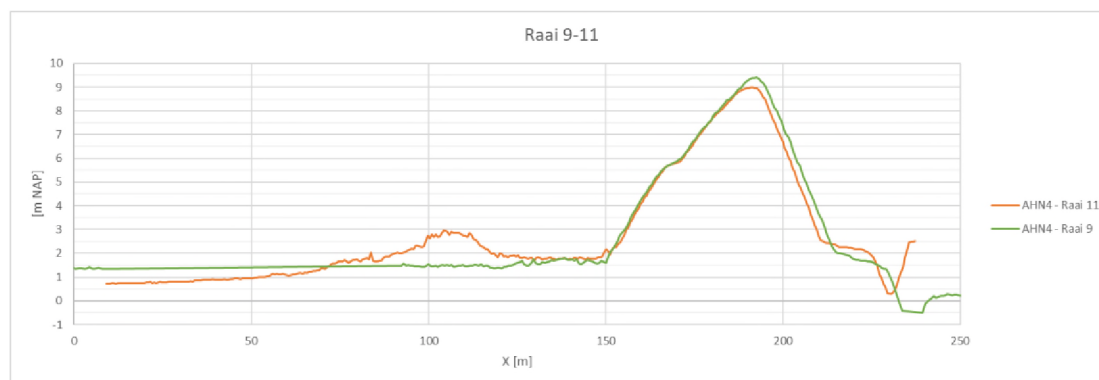
Raai	Max. niveau freatische lijn onder asfalt [m NAP]	Niveau onderrand asfaltbekleding (2023) [m NAP]
8	$1,45 + 0,26 + 0,2 = 1,92$	2,37-2,42
9	2,27 (zie paragraaf 5.5)	2,30-2,45
10	$2,1 + 0,27 + 0,20 = 2,53$	2,28-2,49

5.6.5 Raai 11

In de verkenningsfase [ref. 3] is voor raai 11 geen kalibratie gemaakt en is ook niet het verloop van de freatische lijn in de dijk bepaald. Voor raai 11 is daarom hetzelfde als voor raai 9 berekende verloop gebruikt. Dit kan omdat voor zowel raai 9 als 11:

- de ondergrond vanaf het maaiveld uit keileem bestaat;
- de geometrie van zowel de dijk als het voorland vergelijkbaar is, zie afbeelding 5.11;
- onder de zetsteen zandasfalt aanwezig is;
- de freatische lijn bij dagelijkse omstandigheden vergelijkbaar is; en
- het polderpeil in de sloot hetzelfde is.

Afbeelding 5.11 Vergelijk geometrie dijk en voorland raai 9 en 11



Het maximale niveau van de freatische lijn onder het asfalt van 11 is opgenomen in tabel 5.5. Daarnaast is ook de bandbreedte van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding dat binnen de raai aanwezig is opgenomen.

Tabel 5.5 Maximale niveau freatische lijn onder het asfalt (zonder onzekerheidstoelagen) voor raai 11

Raai	Max. niveau freatische lijn onder asfalt [m NAP]	Niveau onderrand asfaltbekleding (2023) [m NAP]
11	2,27	1,52-2,62

Opgemerkt wordt dat bij raai 11 geen betrouwbare peilbuismetingen tijdens de januari storm van 2019 beschikbaar zijn, wat een grotere onzekerheid met zich meebrengt. Dit is verdisconteerd in de toegepaste onzekerheidstoelag, zie ook paragraaf 5.7. Ondanks dat de gebiedskenmerken van raai 11 goed vergelijkbaar zijn met raai 9 is gekozen om een grote onzekerheidstoelag mee te nemen voor raai 11. Raai 9 is in deze studie opnieuw gekalibreerd waardoor de onzekerheid van de freatische lijn klein is. Echter doordat de meetgegevens van raai 11 niet betrouwbaar zijn, kan niet met grote zekerheid geconcludeerd worden dat raai 11 zich tijdens de januaristorm hetzelfde heeft gedragen. Om deze onzekerheid te ondervangen is gekozen voor een grote onzekerheidstoelag, hetgeen een veilige schematisering is.

5.7 Omgang met onzekerheden

De onzekerheid van de freatische lijn kent verschillende oorzaken. Voor een veilige rekenwaarde van de freatische lijn is het van belang om de onzekerheden systematisch in kaart te brengen. Dit is overeenkomstig het advies van het Adviesteam Dijkontwerp (ADO), zie bijlage VII. Geadviseerd wordt om de onzekerheden expliciet te maken door aan te geven hoe de onzekerheden zich verhouden tot de respons van de freatische lijn op de buitenwaterstand. In voorliggende paragraaf worden deze onzekerheden behandeld en expliciet gemaakt.

De volgende onzekerheden met betrekking tot de freatische lijn zijn geïdentificeerd:

- er bestaat onzekerheid over de ondergrondcondities tussen de locaties van de meetraaien. Deze onzekerheid is afkomstig van natuurlijke variaties in de ondergrond en variaties in aangebracht materiaal. Langs het dijktraject variëren de granulaire onderlagen onder de steenzetting (zandasfalt, grauwacke, staalslakken en baksteenpuin), en daarmee ook de doorlatendheid van het buitentalud;
- onzekerheid met betrekking tot de extrapolatie van de freatische lijn naar waterstanden die niet eerder zijn waargenomen. Naarmate de buitenwaterstand hoger wordt neemt deze onzekerheid toe. De doorlatendheid hoger op het talud kan namelijk anders zijn, vanwege bijvoorbeeld scheuren of overgangen;
- onzekerheid voor freatische lijn ter plaatse van meetraaien waarvoor geen model is opgesteld;
- ontbrekende gegevens (bijvoorbeeld meetfouten in de peilbuizen).

Er is geen norm of richtlijn die de veiligheidsfilosofie beschrijft voor de freatische lijnen. Om rekening te houden met de onzekerheden is de volgende pragmatische omgang gehanteerd:

- er is voor alle raaien met peilbuismetingen een zo goed mogelijke modelkalibratie opgesteld;
- de resultaten uit het model worden geëxtrapoleerd naar een hoogwater situatie in 2073;
- vervolgens wordt er op de resultaten een onzekerheidstoelag toegepast. Dit is een praktische omgang met onzekerheid per locatie en wordt gebaseerd op een variatiestudie waar een bandbreedte voor de onzekerheden uit komt;
- de variatiestudie leidt uiteindelijk tot een goede onderbouwing van de toegepaste onzekerheidstoelag per raai;
- daarnaast zijn de raaiakken zo ingedeeld dat de freatische lijn wordt toegepast voor de hele raai (op basis van het maximale niveau van de freatische lijn van de aangrenzende raai, zie hoofdstuk 6).

Voor het bepalen van de rekenwaarde van de freatische lijn wordt een toeslag gehanteerd op de berekende freatische lijnen. In deze analyse is ervoor gekozen de hoogte van de toeslag per raai te laten afhangen van de mate van onzekerheid die in de uitgangspunten en de modellering zit. In de analyse zijn vier onzekerheden geïdentificeerd. Hieronder is per onzekerheid de mate van onzekerheid per raai bepaald en hier een toeslag aan toegekend. De hoogte van de toeslag per raai en per onzekerheid is bepaald op basis

van gevoeligheidsanalyses en op basis van expert judgement en wordt opgeteld bij de berekende freatische lijn bij een hoogwater in 2073 optredend bij een buitenwaterstand met een terugkeertijd gelijk aan de norm (ondergrens).

1 - Kalibratie en berekening freatische lijn bij norm

In deze analyse zijn vier raaien gekalibreerd en op basis van het gekalibreerde PlaxFlow model is de freatische lijn in de dijk bij norm berekend. Deze vier raaien zijn vervolgens gebruikt om de freatische lijn in de dijk bij norm af te leiden voor de overige raaien. Er zit een grotere mate van onzekerheid in de afgeleide raaien ten opzichte van de gekalibreerde raaien. Daarom wordt voor de afgeleide raaien een hogere onzekerheidstoeslag toegekend dan de gekalibreerde raaien. De toeslagen zijn bepaald op basis van expert judgement:

- gekalibreerde raaien 1, 4 en 6: onzekerheidstoeslag van 0,05 m;
- afgeleide raaien 2, 3, 5, 7, 8, 10 en 11: onzekerheidstoeslag van 0,20 m.

2 - Doorlatendheid talud

De doorlatendheid van het talud heeft een grote invloed op de freatische lijn in de dijk bij norm. De onzekerheid zit in het deel van het buitentalud tussen de maximale waterstand bij de storm van 2019 en de maximale waterstand bij de norm in 2073. Omdat de asfaltbekleding zelf ondoorlatend is zit de onzekerheid in het deel van het zetsteen dat niet belast door de storm van 2019 werd en waarvan de doorlatendheid dus niet gekalibreerd kon worden. Op raai 1 na zijn de onderlinge verschillen per raai dermate klein dat hier geen onderscheid in gemaakt is:

- raai 1: door de aanwezigheid van de oude kleibekleding tot de teen is er een mate van onzekerheid in het effect op de kalibratie en de freatische lijn in de dijk bij norm, zie paragraaf 4.1 en 5.2. Op basis van de uitgevoerde gevoeligheid op de doorlatendheid van zetsteen is 0,40 m toegepast, dit is twee keer de maximale waarde die komt uit de gevoeligheidsberekening van de doorlatendheid van zetsteen boven NAP +2,5 m, zie hoofdstuk 5.4.2. Voor raai 1 is een factor twee gekozen omdat er voor het deel onder NAP +2,5 m ook onzekerheid zit in de doorlatendheid. Er is bovendien voor de maximale waarde gekozen, omdat er een grote mate van onzekerheid zit in de kalibratie en het effect hiervan op de berekende freatische lijn, zie paragraaf 4.1 en 5.2;
- overige raaien: op basis van de gevoeligheidsanalyses is een toeslag van 0,1 m toeslag, dit komt overeen met een doorlatend die drie keer groter is dan de gekalibreerde doorlatendheid, zie paragraaf 5.4.2 .

3 - Onzekerheid na kalibratie en / of WBN berekening

Indien na de kalibratie nog een bepaalde mate van onzekerheid aanwezig is door bijvoorbeeld missende uitgangspunten of onzekerheden in de modellering van de geometrie wordt hieraan een extra toeslag toegekend. Het gaat om:

- raai 3: de onderrand van het asfalt ligt circa 1,5 m hoger. Het doorlatende oppervlak van het zetsteen is daardoor groter dan bij raai 1 en 2, waardoor er meer water de dijk in kan stromen. Voor deze onzekerheid wordt een toeslag van 0,20 m aangehouden op basis van expert judgement.

4 - Ontbrekende gegevens

Van raai 11 zijn geen bruikbare peilbuisgegevens beschikbaar. Echter vormen de peilbuismetingen de basis voor de kalibraties en voor de projectie op andere raaien. Bij het ontbreken van deze gegevens is de onzekerheid op de afgeleide freatische lijn in de dijk relatief groot:

- voor raai 11 is voor deze onzekerheid 0,30 m toeslag aangehouden op basis van expert judgement.

Op basis van bovenstaande indeling en toeslagen per raai zijn er 4 categorieën voor de onzekerheidstoeslag samengesteld:

- categorie 1: minimale onzekerheid, toeslag 0,15 m;
- categorie 2: kleine onzekerheid, toeslag 0,30 m;
- categorie 3: significante onzekerheid, toeslag 0,45 m; en
- categorie 4: grote onzekerheid, toeslag 0,60 m.

De opbouw van deze toeslagen per raai is samengevat in tabel 5.6.

Tabel 5.6 Onzekerheidstoelagen per categorie

Categorie	Raai	1 Eel / geen berekening	2 Doorlatendheid talud	3 Onzekerheid na kalibratie en/of WBN	4 Ontbrekende gegevens	Totaal
1	4, 6 en 9	0,05	0,10	0,00	0,00	0,15
2	2, 5, 7, 8 en 10	0,20	0,10	0,00	0,00	0,30
3	1 en 3	0,05/0,20	0,40/0,10	0,00/0,15	0,00	0,45
4	11	0,20	0,10	0,00	0,30	0,60

5.8 Samenvatting

De resultaten van dit hoofdstuk zijn samengevat in tabel 5.7.

Voor raai 7 is de freatische lijn gelijk aan de WBN voor zichtjaar 2073. De berekende freatische lijn kan derhalve gezien worden als een bovengrenswaarde. Voor raai 7 is het WBN met zichtjaar 2073 dan ook als maximale waarde aangehouden..

Tabel 5.7 Maximale waterstand bij WBN met zichtjaar 2073 (inclusief onzekerheidstoelagen)

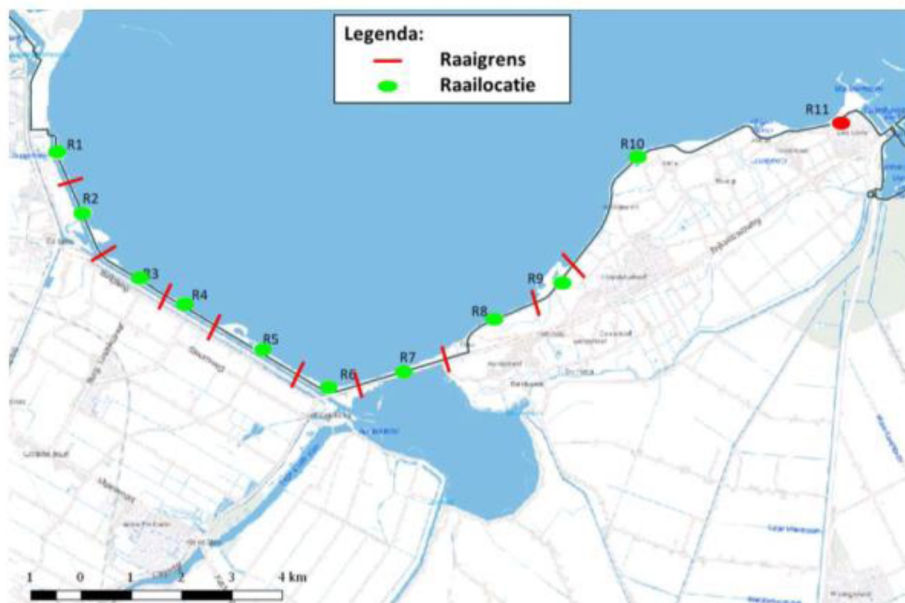
Raai	Max. ws PB deze analyse berekend [m NAP]	Max. ws onder asfalt deze analyse berekend [m NAP]	Max. ws onder asfalt deze analyse afgeleid [m NAP]	Onzekerheidstoelag [m]	Aanbevolen rekenwaarde [m NAP]
1	+1,13	+2,37	-	0,45	+2,82
2	-		+1,84	0,30	+2,14
3	-		+1,94	0,45	+2,39
4	+2,73	+3,56	-	0,15	+3,71
5	-	-	+3,70	0,30	+4,00
6	+3,90	+3,90	-	0,15	+4,05
7	-		+4,80	0,30	+4,80*
8	-		+1,92	0,30	+2,22
9	+2,18	+2,27	-	0,15	+2,42
10	-		+2,53	0,30	+2,83
11	-		+2,27	0,60	+2,87

* Gemaximaliseerd op WBN met zichtjaar 2073, zie toelichting boven de tabel.

VAKINDELING FREATISCHE LIJN

In de verkenningfase [ref. 5] zijn raaignrenzen aangegeven met grenzen van de maatgevende zones, zie afbeelding 6.1 en tabel 3.3. Destijds is niet aangegeven waar deze indeling op gebaseerd is. De grenzen lijken globaal gekozen te zijn in het midden tussen de raaien. In voorliggende hoofdstuk wordt een nadere onderbouwing gegeven voor de raaignrenzen.

Afbeelding 6.1 Overzichtskaart grenzen maatgevende zones van de raaien [ref. 5] (raai 11 is rood gekleurd omdat er geen gegevens beschikbaar zijn)



Tabel 6.1 Overzicht raaien en raaignrenzen verkenningfase

Raai	Dijktracé	Dijkpaal	Raaignrenzen (dijkpalen)
1	BZD	5,05	DP4,6 - DP5,6
2	BZD	6,27	DP5,7 - DP7,3
3	BZD	8,17	DP7,4 - DP8,8
4	BZD	9,18	DP8,9 - DP10,1
5	BZD	10,88	DP10,2 - DP11,7
6	BZD	12,46	DP11,8 - DP12,6
7	ADD	13,85	DP12,7 - DP14,9
8	WZW	16,33	DP14,9 - DP17,3
9	WZW	17,92	DP17,3 - DP18,4

Raai	Dijktracé	Dijkpaal	Raaigrenzen (dijkpalen)
10	WZW	21,12	DP18,5 - DP25,5

In dit hoofdstuk wordt een aangepaste indeling gegeven op basis van onderstaande onderbouwing:

- het niveau van de freatische lijn is bepaald per raai. Als basis geldt dat het niveau van het tussenliggende tracé gelijk is aan de maatgevende aansluitende raai;
- uitzondering hierop is raai 4, dit lijkt een overgangsgebied te zijn van een lage freatische lijn aan de westzijde naar een hoge freatische lijn aan de oostzijde, zie ook paragraaf 3.2.3. Daarom wordt voorgesteld het niveau van de freatische lijn te laten verlopen tussen raai 3 en raai 4 (DP8.2 tot DP9.2). Dit voorkomt ook een onrealistische grote sprong van circa 3 m;
- in Bijlage V zijn de geotechnische lengteprofielen bijgevoegd van het gehele tracé. Van raai 1 t/m raai 7 is de bodemopbouw vergelijkbaar, een toplaag van zand met daaronder een 4 à 5 m dikke kleilaag. Na de Amsteldiepdijk, tussen raai 7 en raai 8 t.p.v. DP15.0, bestaat de ondergrond vanaf maaiveld uit keileem, de laagdikte is variabel. De bodemopbouw is globaal te verdelen in twee typen, met een zand ondergrond op een kleilaag (westzijde) en keileem vanaf het maaiveld (oostzijde). Per type is de variatie gering;
- zoals geconcludeerd in paragraaf 3.2.2 is er een sprong aanwezig van circa 1 m in het niveau onderrand asfalt ter plaatse van DP 6,96, tussen raai 2 en raai 3;
- Tussen de raaien is geen duidelijke overgang van zetsteenconstructie gevonden in de oude bestekstekeningen. Er zijn relatief weinig dwarsprofielen beschikbaar. Zie ook bijlage I.

De aanbevolen indeling op basis van bovenstaande punten is weergegeven in tabel 6.2.

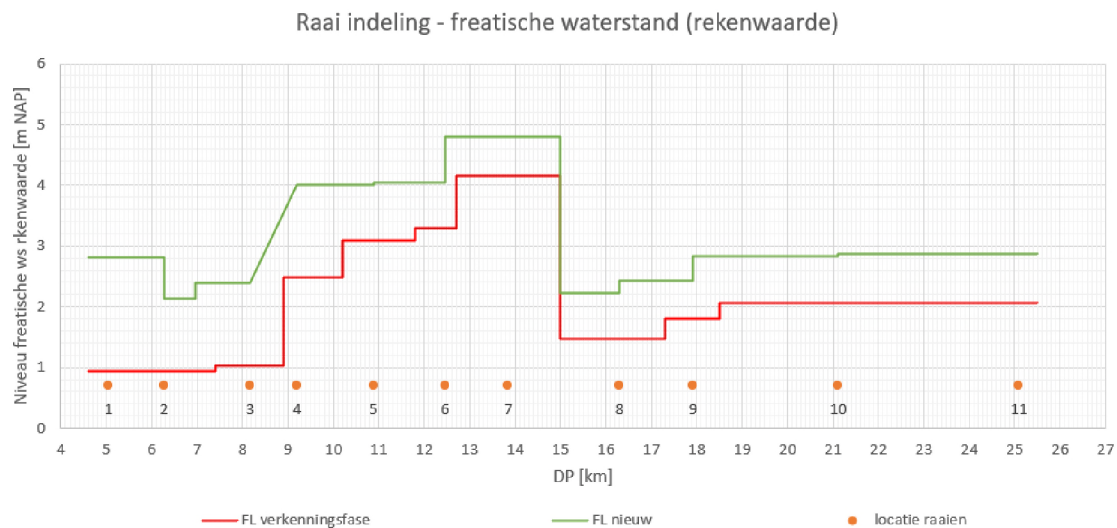
Tabel 6.2 Overzicht raaien en raaigrenzen planuitwerkingsfase

Raaigrenzen (dijkpalen)	Dijktracé	Maatgevende raai	Dijkpaal raai	Aanbevolen rekenwaarde* [m NAP]
DP4,60 - DP6,27	BZD	1	5,05	+2,82
DP6,27 - DP6,96	BZD	2	6,27	+2,14
DP6,96 - DP8,17	BZD	3	8,17	+2,39
DP8,17 - DP9,18	BZD	3 - 4	8,17 - 9,18	van +2,39 naar +4,0
DP9,18 - DP10,88	BZD	5	10,88	+4,0
DP10,88 - DP12,50	BZD	5 en 6	10,88 en 12,50	+4,05
DP12,50 - DP13,85	BZD	7	13,85	+4,80
DP13,85 - DP15,0	ADD	7	13,85	+4,80
DP15,0 - DP16,33	WZW	8	16,33	+2,22
DP16,33 - DP17,92	WZW	9	17,92	+2,42
DP17,92 - DP21,12	WZW	10	21,12	+2,83
DP21,12 - DP25,5	WZW	11	25,09	+2,87

* Voor onderbouwing van de gepresenteerde waarden zie paragraaf 5.7 en 5.8.

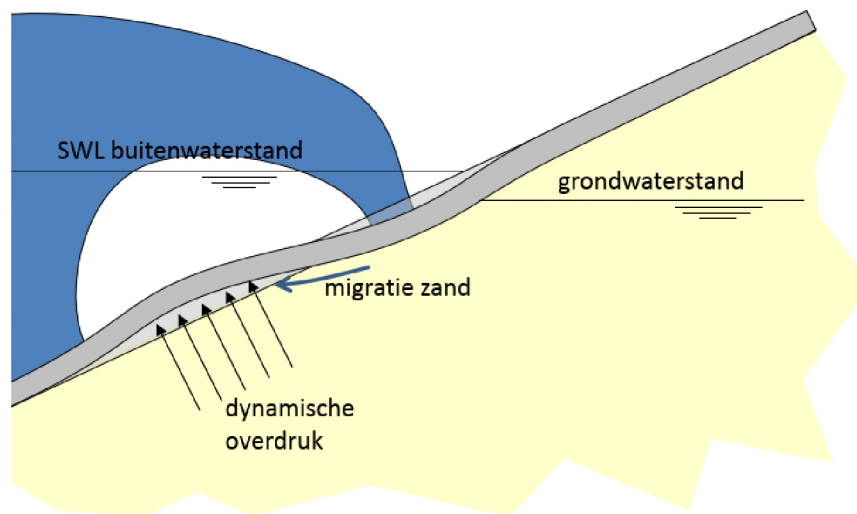
Tabel 6.2 is grafisch weergegeven in afbeelding 6.2. De sprong bij DP14,9 is ter plaatse van einde Amsteldiepdijk, vanaf daar gaat de keileem over in zand richting Den Oever.

Afbeelding 6.2 Aangepaste raai indeling en bijhorende freatische lijn (rekenwaarde) bij WBN met zichtjaar 2073



De sterkte tegen dit faalmechanisme wordt gehaald uit het gewicht van de asfaltbekleding. Een grote laagdikte betekent meer gewicht en dus ook meer weerstand tegen optreden van het faalmechanisme. Een bijkomend probleem is dat asfaltbekledingen die direct op zand zijn aangelegd, gevoelig zijn voor het vormen van een S-profiel. Tijdens een langdurige golfaanval kunnen er vervormingen in de ondergrond optreden door de verschillen in opwaartse en neerwaartse drukken. Tijdens een golfaanval veert de bekleding in en uit. Hierdoor kan grondwater gronddeeltjes onder de bekleding verplaatsen, waardoor uiteindelijk een S-profiel kan ontstaan (afbeelding 7.2). Dit mechanisme is nieuw voor asfaltbekleding en zal worden opgenomen in het nieuwe basisinstrumentarium voor beoordelen en ontwerpen (BOI) onder het mechanisme Bezwijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel (ASP). Te grote vervormingen van de bekleding kan uiteindelijk leiden tot bezwijken.

Afbeelding 7.2 Vorming van een S-profiel door golfbelastingen bij een hoge freatische lijn [ref. 7]



Op basis van de deltagootproeven heeft Deltares in 2018 een eenvoudige rekenmethode ontwikkeld om te controleren of dit faalmechanisme kan optreden. De toets op maat (ToM) volgt de methodiek zoals voorgeschreven in de rapportage 'stabiliteit op oud asfalt tijdens golfaanval [ref. 6]. De rapportage stelt een criterium waarop de asfaltbekleding voldoet als de neerwaartse druk (eigen gewicht) van de asfaltbekleding groter is dan de opdrukkende kracht onder de asfaltbekleding. Hierbij wordt de kanttekening geplaatst dat op dit moment voor het faalmechanisme ASP alleen een eenvoudige rekenregel beschikbaar is en nog geen scherpe grenstoestandfunctie die gebaseerd is op uitgebreid en geverifieerd fysisch onderzoek, waarmee probabilistische (faalkans)analyses uitgevoerd zouden kunnen worden.

$$\phi_{fl} < \Delta_a D \cos \alpha + \max(\phi_{min\ 10\%}; z_{onderrand})$$

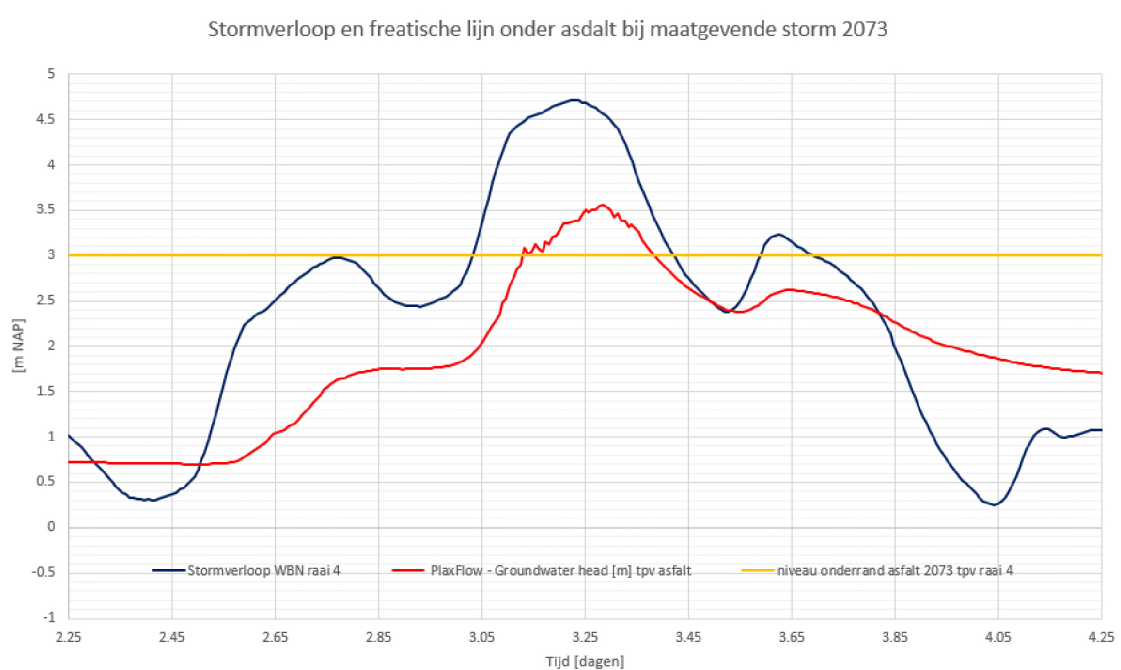
$$\frac{\phi_{min\ 10\%}}{H_{m0}} = \max \left\{ -0,14 \left(\frac{\xi_{op}}{\sqrt{\tan \alpha}} \right)^{1,25} ; \frac{-2,1}{1 + \frac{0,9}{\sqrt{(\xi_{op})}}} \right\}$$

Waarin:

ϕ_{fl}	= niveau van de freatische lijn ten opzichte van de buitenwaterstand [m]
Δ_a	= relatieve soortelijke massa van het asfalt [-]
D	= gemiddelde dikte van de asfaltbekleding [m]
α	= talud helling [°]
$\phi_{min\ 10\%}$	= minimale stijghoogte aan de voet van het stijghoogtefront (altijd negatief) [m]
$z_{onderrand}$	= niveau van de onderrand van het asfalt ten opzichte van de stilwaterlijn [m]
ξ_{op}	= brekerparameter op basis van de golfperiode [-]

In het geval niet wordt voldaan aan het criterium is het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding lager dan het benodigde niveau en wordt het dijkvak afgekeurd. Uit bovenstaand criterium blijkt dat het niveau van de freatische lijn ten opzichte van de buitenwaterstand een belangrijke parameter is. Dit niveau varieert tijdens de storm, aangezien de buitenwaterstand varieert door getijdewerking en het niveau van de freatische lijn (met enige vertraging) na het hoogtepunt van de storm ook weer zakt. De ToM wordt daarom uitgevoerd voor meerdere tijdstappen tijdens de storm om de variatie tussen het niveau van de freatische lijn ten opzichte van de buitenwaterstand mee te nemen. In afbeelding 7.3 is het verloop van de freatische lijn onder de asfaltbekleding (uitvoer uit PlaxFlow) en het verloop van de buitenwaterstand tijdens een storm gegeven. Het verloop van de buitenwaterstand is geschematiseerd conform de schematiseringshandleiding asfaltbekleding voor zichtjaar 2073 bij een terugkeertijd van 1000 jaar (gelijk aan ondergrens dijktraject) [ref. 8]. Voor het stormverloop is uitgegaan van zichtjaar 2073 en is zeespiegelstijging en bodemdaling meegenomen (duur storm 45 uur). De golfcondities zijn berekend voor zichtjaar 2073 conform de uitgangspuntennotitie ontwerp [ref. 9].

Afbeelding 7.3 Verloop freatische lijn onder asfalt tijdens maatgevende storm (uitvoer uit PlaxFlow)



In het geval van raai 4 is duidelijk te zien dat de freatische lijn tijdens stormcondities hoger wordt bij stijging van de buitenwaterstand. Tijdens de opbouw van de storm blijft de waterstand een stuk hoger dan de freatische lijn onder het asfalt. Na de piek van de storm is te zien dat de freatische lijn weer zakt (met enige vertraging) bij een daling van de buitenwaterstand. Hierdoor wordt het verschil tussen de waterstand en freatische lijn kleiner. Tijdens golfneerloop zakt de buitenwaterstand voor een korte periode nog verder, waardoor de netto waterdruk onder het asfalt groter wordt en de bekleding mogelijk kan bezwijken.

7.1.1 Advies ADO over onzekerheden binnen ASP

Omdat bij de berekeningen voor het mechanisme ASP is geen(nog) geen rekening wordt gehouden met een lengte-effectfactor en/of faalkansruimtefactor heeft HHNK aan het Adviesteam Dijkontwerp (ADO) gevraagd of deze methodiek voldoende conservatief is. Dit onderwerp is besproken in een overleg met specialisten van ADO, HHNK en W+B. Het ADO heeft na het overleg een advies uitgebracht. Dit advies is opgenomen in bijlage VIII en kan gezien worden als een vervolg van het eerder uitgebracht advies van ADO (opgenomen in bijlage VII).

Omdat het een eenvoudige rekenregel betreft is het alleen mogelijk om aan te tonen dat de bijdrage van het faalmechanisme ASP aan de overstromingskans verwaarloosbaar is. Het is niet mogelijk om met de rekenregel een faalkans te berekenen of te toetsen aan een specifieke faalkanseis. Dit is ook niet nodig omdat de eenvoudige rekenregels voor ASP ruimschoots voldoende veilig wordt geacht. Aangezien de rekenregel voor ASP niet afhankelijk is van een faalkanseis, is het ook weinig zinvol om een faalkanseis op doorsnedeniveau te bepalen, dat maakt het toepassen van een lengte-effectfactor en faalkansruimtefactor niet relevant.

Wel doet het ADO aan aantal aanbevelingen over de omgang van onzekerheden binnen het faalmechanisme ASP. Aangezien het niveau van de freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden één van de belangrijkste parameters in de rekenregel is, adviseert het ADO om de onzekerheden met betrekking tot de freatische lijn systematisch in kaart te brengen. Zo is er onzekerheid over de ondergrondcondities van de locaties tussen de meettraaien in. Het is hierbij van belang om op basis van geohydrologische kenmerken een vakindeling te maken en op basis daarvan de verschillende meet- en analyse resultaten te duiden. Ook is er onzekerheid ten aanzien van de extrapolatie van de freatische lijn naar buitenwaterstanden die niet eerder zijn waargenomen. Deze onzekerheid neemt toe bij extrapolatie aangezien de doorlatendheid hoger op het talud anders kan zijn. Door deze onzekerheden systematisch te duiden wordt een veilige rekenwaarde van de freatische lijn verkregen, hetgeen leidt tot veilige invoerparameters in de rekenregel voor ASP. In voorliggend rapport is veel aandacht besteed aan de onzekerheden met betrekking tot de schematisatie van de freatische lijn. De onzekerheden met betrekking tot de freatische lijn zijn uiteengezet in paragraaf 5.7. Door de onzekerheden in kaart te brengen voor de verschillende meettraaien zijn veilige rekenwaarden verkregen voor de freatische lijnen die gebruikt zijn voor de analyse van het mechanisme ASP voor dit dijktraject.

7.2 Uitgangspunten beoordeling

Voor de beoordeling is gebruik gemaakt van verschillende parameters zijn afgeleid of overgenomen uit de beschikbare bronnen. De parameters zijn opgedeeld in sterkteparameters en belasting parameters. De sterkteparameters zijn opgenomen in tabel 7.1, de belastingparameters zijn opgenomen in tabel 7.2.

Tabel 7.1 Gehanteerde sterkteparameters voor beoordeling

Parameter	Bron	Toelichting
dikte asfaltbekleding	restlevensduurbepaling asfalt Waddenzeedijk Den Oever-Den Helder [ref. 27]	5 %-ondergrens dikte asfaltbekleding gehanteerd in berekening. Er is geen rekening gehouden met de verdikking (asfaltwig) bij de onderrand van de asfaltbekleding. Dit is een veilige aanname.
soortelijk gewicht asfaltbekleding	restlevensduurbepaling asfalt Waddenzeedijk Den Oever-Den Helder [ref. 27]	soortelijk gewicht van boorkern met laagste waarde gehanteerd in berekening
niveau onderrand asfaltbekleding	WBI-beoordeling normtraject 12-1 en 13-5 DTM-meting	indien beschikbaar is de DTM-meting gehanteerd. Op locaties waar geen DTM data beschikbaar is, zijn de gegevens uit de WBI-beoordeling gebruikt
taludhelling	WBI-beoordeling normtraject 12-1 en 13-5	de taludhellingen zijn overgenomen uit de WBI-beoordeling

Tabel 7.2 Gehanteerde belastingparameters voor de beoordeling

Parameter	Bron	Toelichting
waterstand bij norm 2073	berekend in Hydra-NL conform uitgangspuntennotitie ontwerp [ref. 31]	de waterstand bij norm in 2073 behorende bij de ondergrens (T=1000 jaar) is gehanteerd.
freatische lijn	voorliggend rapport	de afgeleide freatische lijn uit deze rapportage is gehanteerd
golfcondities	berekend in Hydra-NL conform uitgangspuntennotitie ontwerp [ref. 31]	de golfcondities voor 2073 zijn berekend in Hydra-NL bij de ondergrens (T=1000 jaar) voor de instelling asfalt golfklapzone. Diepte-limitering golfhoogte toegepast op golfcondities conform uitgangspuntennotitie ontwerp [ref. 31]

7.3 Resultaten impact op asfaltbekleding

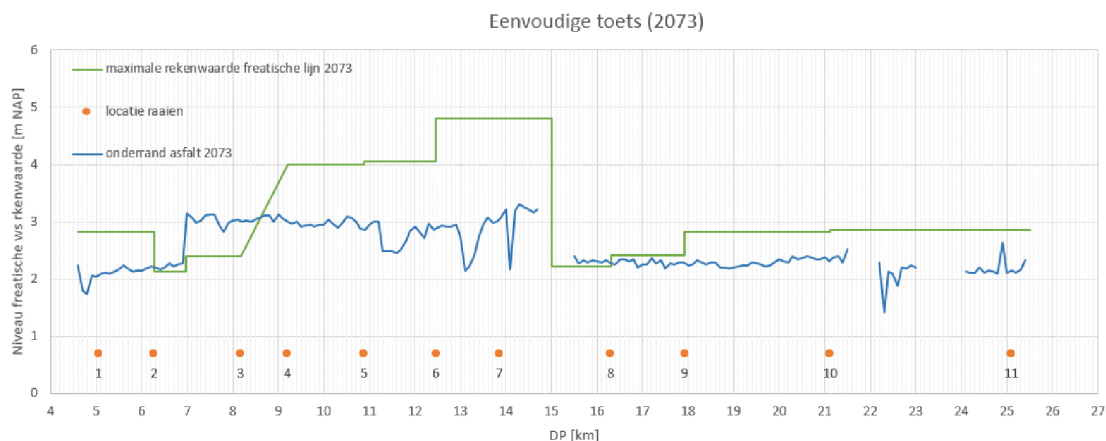
Allereerst is gekeken of de maximale rekenwaarde van de freatische lijn gedurende de storm hoger wordt dan het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding (eenvoudige toets). Indien de freatische lijn gedurende de hele storm lager blijft dan de onderrand van de asfaltbekleding is er sowieso geen gevaar op bezwijken en is het faalmechanisme dus niet van toepassing. In het geval de freatische lijn tijdens de storm wel hoger wordt dan de onderrand van de asfaltbekleding wordt in een toets op maat (ToM) met de eenvoudige rekenregel voor ASP worden gecontroleerd of de asfaltbekleding als gevolg van het ontstaan van een S-profiel kan bezwijken.

7.3.1 Resultaat eenvoudige toets

Voor deze toets is per dijkvak de maximale rekenwaarde van de freatische lijn (tabel 6.2) vergeleken met het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding (niveau overgang tussen zetsteen en asfalt). Het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding is ingemeten, de waarden zijn overgenomen uit de voorgaande WBI-beoordelingen [ref. 10 en ref. 11].

In afbeelding 7.4 is het verloop van de maximale rekenwaarde van de freatische lijn uitgezet tegenover het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding. Het betreft hier de waarde van de freatische lijn tegen de onderzijde van de asfaltbekleding. Uit de afbeelding blijkt dat de freatische lijn langs een groot gedeelte van het traject hoger kan komen dan de onderrand van de asfaltbekleding. Een ToM voor deze vakken is noodzakelijk. Daarnaast valt op dat de lijn van de onderrand van de asfaltbekleding een aantal keer onderbroken is. Op deze locaties is er geen asfalt aanwezig op het buitentalud, maar een grasbekleding.

Afbeelding 7.4 Maximale rekenwaarde freatische lijn en onderrand asfaltbekleding



De resultaten uit bovenstaande afbeelding zijn samengevat in tabel 7.3. Elk dijkvak heeft een lengte van 100 m. De resultaten per dijkvak zijn opgenomen in bijlage IV. Voor de dijkvakken waar de maximale rekenwaarde van de freatische lijn hoger is dan het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding wordt een ToM uitgevoerd, zie paragraaf.

Tabel 7.3 Resultaten eenvoudige toets (zichtjaar 2073)

Raai	Van DP	Tot DP	Totaal aantal dijkvakken met asfaltbekleding	Aantal dijkvakken dat niet voldoet aan E.T. (freatische lijn > onderrand asfaltbekleding) 2073
1	4.6	6.3	17	17
2	6.3	7.0	7	0
3	7.0	8.2	12	0
4	8.2	9.2	10	6
5	9.2	10.9	17	17
6	10.9	12.5	16	16
7	12.5	14.8	23	23
8	14.9	16.3	8	0
9	16.3	17.9	16	16
10	17.9	21.1	32	32
11	21.1	25.4	28	28

7.3.2 Resultaten toets op maat

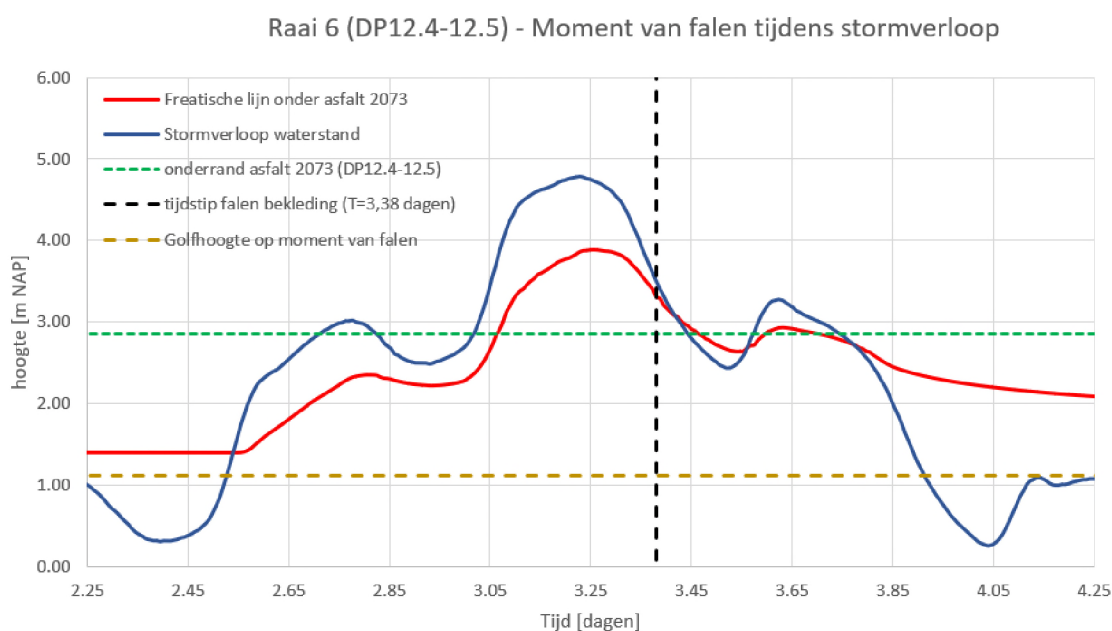
Voor de dijkvakken waarvoor een ToM noodzakelijk is, is met de eenvoudige rekeregel uit paragraaf 7.1 nagegaan of een S-profiel kan ontstaan. De resultaten zijn opgenomen in tabel 7.4.

Tabel 7.4 Resultaten toets op maat per raai (zichtjaar 2073)

Raai	Van DP	Tot DP	Totaal aantal dijkvakken met asfaltbekleding	Aantal dijkvakken dat niet voldoet 2073
1	4.6	6.3	17	6
4	8.2	9.2	10	0
5	9.2	10.9	17	8
6	10.9	12.5	16	16
7	12.5	14.8	23	23
9	16.3	17.9	16	1
10	17.9	21.1	32	19
11	21.1	25.4	28	22

Uit de berekeningen blijkt dat het verloop van de waterstand en freatische lijn na de piek van de storm maatgevend is. Voor de dijkvakken die niet voldoen blijkt dat het verloop van de waterstand en freatische lijn na $T=3,38$ dagen, circa 27 uur na begin storm op $T=2,25$ dagen (afbeelding 7.5) vaak het moment is dat de bekleding faalt. Dit komt door de snelle zakking van de buitenwaterstand terwijl de freatische lijn minder snel zakt. Het verloop van de freatische lijn, waterstand en het moment van falen van de asfaltbekleding ter plaatse van DP12.45 (locatie raai 6) is opgenomen in afbeelding 7.5.

Afbeelding 7.5 Verloop freatische lijn, waterstand en moment van falen asfaltbekleding



Het is belangrijk te vermelden dat de ToM is uitgevoerd voor zichtjaar 2073. Indien een dijkvak niet voldoet aan de ToM voor 2073 hoeft dit niet te betekenen dat er een acuut veiligheidsprobleem is. Dit is vooral van belang bij dijkvakken die net niet voldoen in 2073.

Bij raai 10 zijn er in totaal 19 vakken afgekeurd. Als voor deze vakken de verwachte bodemdaling tot 2073 niet wordt meegenomen (10 cm) zijn er nog maar zeven vakken die niet voldoen.. Dit geeft aan dat de afgekeurde vakken bij raai 10 zeer dicht bij de grens van afkeuren/goedkeuren zitten. Hetzelfde geldt voor

raai 1. In totaal voldoen zes vakken niet in 2073. Als de bodemdaling niet wordt meegenomen worden nog maar twee vakken afgekeurd (bij deze vakken ligt de onderrand van de asfaltbekleding een stuk lager dan de aangrenzende dijkvakken). Voor raai 5, 6, 7 is de rekenwaarde van de freatische lijn dermate hoog dat deze vakken ook in 2023 niet voldoen. De rekenwaarde van de freatische lijn bij raai 7 is dermate hoog dat de onderrand van de asfaltbekleding significant moet worden opgehoogd om te voldoen (tot circa NAP +4,2 m). Het is de vraag of de ontwerp oplossing ophogen onderrand asfaltbekleding dan nog wel doelmatig is. Mogelijk is het aanbrengen van een granulaire funderingslaag onder de asfaltbekleding doelmatiger om het veiligheidsprobleem op te lossen.

Bij raai 11 wordt een groot gedeelte van de asfaltbekleding ook afgekeurd. Dit komt voornamelijk vanwege de hoge onzekerheidstoets (0,6 m) die is meegenomen in de beoordeling vanwege onbruikbare peilbuisdata. Tussen DP 22.275-23.1 en DP 24.175-24.95 (Sectie 5 DO) is het asfalt al einde levensduur. Als gevolg van deze analyse moet op deze locatie het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding ook verhoogd worden om te kunnen voldoen aan de norm.

Voor de dijkvakken die in 2073 (net) niet voldoen kan het zinvol zijn om deze adaptief te versterken. Dat betekent dat de versterkingswerkzaamheden vooruit in de tijd worden geschoven. Om het nut van adaptief versterken te bepalen wordt aanbevolen om na te gaan wat voor deze vakken de restlevensduur van de asfaltbekleding is en hierbij rekening te houden met het verhogen van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding ten behoeve van het mechanisme ASP (als het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding hoger komt te liggen wordt het resultaat voor het mechanisme AGK gunstiger en hoeft het asfalt misschien voor dat mechanisme niet (meteen) versterkt te worden).

7.3.3 Vergelijking originele scope met aangepaste scope

De originele veiligheidsopgave is opgenomen in tabel 7.5 en afbeelding 7.6. Over het gehele dijktraject (van DP 4.6 tot 25.5) voldoen 29 dijkvakken van ieder 100 meter niet met de originele rekenwaarden voor de freatische lijn [ref. 26].

Tabel 7.5 Originele veiligheidsopgave sectie 2 (onderrand asfaltbekleding)

Van dijkpaal	Tot dijkpaal	Deelsectie	Aantal dijkvakken
11.4	12.00	2A	6
12.60	13.00	2C	4
13.00	13.5	2B	5
13.5	14.9	2C	14
	TOTAAL		29

Afbeelding 7.6 Originele scope onderrand asfaltbekleding (start verkenningfase)



De veiligheidsopgave die volgt uit de ToM met de aangepaste rekenwaarden van de freatische lijn is opgenomen in tabel 7.6 en afbeelding 7.7.

Tabel 7.6 Veiligheidsopgave voor aangepaste rekenwaarden freatische lijn en begrenzing raaien (onderrand asfaltbekleding) zichtjaar 2073

Raai	Van dijkpaal	Tot dijkpaal	Aantal dijkvakken
1	4.7	5.3	6
5	9.2	10.0	8
6	10.9	12.5	15
7	12.5	14.8	23
9	16.9	17.0	1
10	18.3 20.1	20.0 20.3	19
11	21.1 21.4 22.3 24.1 25.0	21.2 21.5 23.1 24.9 25.4	22
Totaal			94

Afbeelding 7.7 Nieuwe scope onderrand asfaltbekleding na aanpassingen aan freatische lijn (zichtjaar 2073)



De aanpassingen van de rekenwaarden van de freatische lijn en begrenzingen van de raaien heeft significante impact op de scope voor de onderrand van de asfaltbekleding met betrekking tot opdrukken van de asfaltbekleding door golfwerking. Voor de Balgzanddijk en Wieringer Zeewering wordt de scope groter. De scope op de Amsteldiepdijk blijft gelijk, maar het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding dient verder opgehoogd te worden dan nu in het ontwerp zit. De afgekeurde vakken behorende bij raai 1 en 10 zitten zeer dicht bij de grens van goed/afkeuren en hebben geen acuut veiligheidsprobleem. Voor deze profielen kan overwogen worden om het versterken uit te stellen. In afbeelding 7.8 is aangegeven welke dijkvakken wel voldoen als de bodemdaling (0,1 m zakking tot 2073) niet wordt meegenomen in de ToM. Rond DP5.0, 19.0 en 21.0 vervalt dan een deel van de opgave.

Afbeelding 7.8 Scope onderrand asfaltbekleding zonder bodemdaling na aanpassingen aan freatische lijn



De uitbreiding van de scope zoals gepresenteerd in voorliggend rapport is gebaseerd op de rekenwaarden voor de freatische lijn zoals geadviseerd in dit rapport.

7.4 Impact op overige faalmechanismen

De geohydrologische analyse in dit rapport heeft geleid tot een advies om de rekenwaarden te wijzigen ten aanzien van het begin van de verkenning. Wijzigingen aan de freatische lijn kunnen naast gevolgen voor de asfaltbekleding ook gevolgen hebben voor andere faalmechanismen. Het kan zo zijn dat de dijk tijdens de WBI-beoordeling is goedgekeurd op een bepaald mechanisme maar dat door de wijzigingen aan de freatische lijn dit oordeel mogelijk zal wijzigen.

In het geval een negatieve impact op het oordeel van het faalmechanisme niet op voorhand kan worden uitgesloten, moet dit nader beschouwd worden. In voorliggende paragraaf wordt de impact op de overige faalmechanismen behandeld. Hiervoor is gekeken of het oordeel zoals gevonden in de WBI-beoordeling voor normtraject 13-5 en 12-1 mogelijk wijzigt door de aanpassingen [ref. 23 en 24]. De faalmechanismen voor kunstwerken en duinafslag zijn niet beschouwd aangezien deze niet relevant zijn voor normtraject 13-5 en 12-1.

7.4.1 Macrostabieliteit binnen- en buitenwaarts (STBI en STBU)

Voor de beoordeling van STBI en STBU is het verloop van de freatische lijn in de dijk van belang. Voor de WBI-beoordeling voor normtraject 13-5 en 12-1 is gebruik gemaakt van de originele schematisering conform de rapportage nader onderzoek [ref. 3] en het technisch rapport waterspanningen bij dijken. Doordat de freatische lijn op het buitentalud hoger is geworden door de analyse uit voorliggend rapport wordt het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam ook iets anders. Uit de PlaxFlow-modellen blijkt dat de freatische lijn onder de kruin ook iets hoger wordt. De verhoging onder de kruin varieert (0,01 tot 0,2 m hogere freatische lijn) tussen de raaien. De freatische lijn in het achterland van de dijk is niet gewijzigd (polderpeil) en ook de stijghoogte in de watervoerend pakket is niet aangepast.

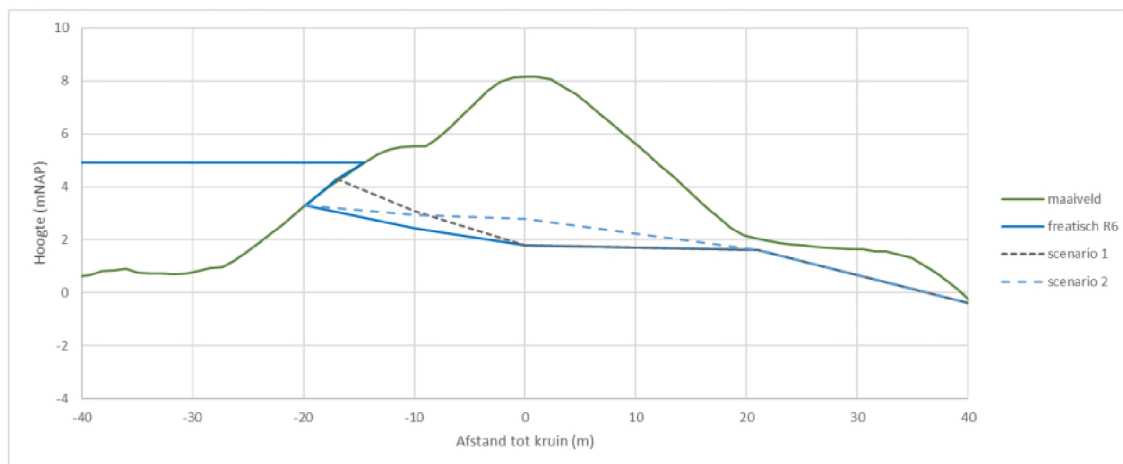
STBI

Voor het mechanisme STBI is het verloop van de freatische lijn aan de binnenzijde van belang. Het verloop van de freatische lijn aan de buitenzijde van de dijk is van marginaal belang.

Normtraject 13-5

Bij de WBI-beoordeling van normtraject 13-5 (Balgzanddijk en Amsteldiepdijk) is de beoordeling op STBI en STBU uitgevoerd voor zichtjaren 2023 en 2073 [ref. 30]. De freatische lijn is geschematiseerd conform de rapportage nader onderzoek [ref. 3]. Voor iedere dijkvak is een groot aantal scenario's (12 scenario's) doorgerekend met verschillen in ondergrond, stijghoogte en freatische lijn. De faalkans op doorsnedeniveau is vervolgens bepaald op basis van de kans van voorkomen van een scenario en de berekende stabiliteitsfactor. Voor de freatische lijn is uitgegaan van drie verschillende schematisaties: Basis, Opbolling buitentalud en Opbolling kruin (afbeelding 7.9).

Afbeelding 7.9 Scenario's voor schematisatie freatische lijn WBI-beoordeling [ref. 3]



Doordat de geohydrologische analyse heeft geleid tot hogere rekenwaarden voor de freatische lijn zijn de scenario's voor de freatische lijn niet meer per definitie geldig. Daarnaast kan de impact op het oordeel niet eenvoudig bepaald worden omdat gerekend is met een groot aantal scenario's. Om het effect van de aangepaste rekenwaarden van de freatische lijn in kaart te brengen moeten de schematisaties van de freatische lijn die voor de WBI-beoordeling zijn gehanteerd aangepast worden met de nieuwe rekenwaarden. De aangepaste schematisaties van de freatische lijn moeten daarna doorgevoerd worden in D-Geo Stability om de impact op de stabiliteitsfactor te bepalen. Aangezien de berekende faalkans op doorsnedeniveau bepaalt of het dijkvak voldoet aan de norm moeten wijzigingen worden doorgevoerd aan alle rekenscenario's (12 scenario's per dijkvak) en moeten de nieuwe stabiliteitsfactoren per scenario's omgezet worden naar een faalkans op doorsnedeniveau (afbeelding 7.10). Uit een verkennende berekening is gebleken dat een hogere freatische lijn in de D-Geo Stability berekeningen leidt tot een kleine reductie van de stabiliteitsfactor (ca. 0,01). Toch kan op voorhand niet worden uitgesloten dat de combinatie van scenario's met de aangepaste schematisatie van de freatische lijn zorgt voor een ander oordeel dan is gevonden bij de WBI-beoordeling. Dit geldt voor zowel STBI als STBU.

Afbeelding 7.10 Voorbeeld bepaling faalkans op doorsnedeniveau voor verschillende scenario's voor één dijkvak [ref. 30]

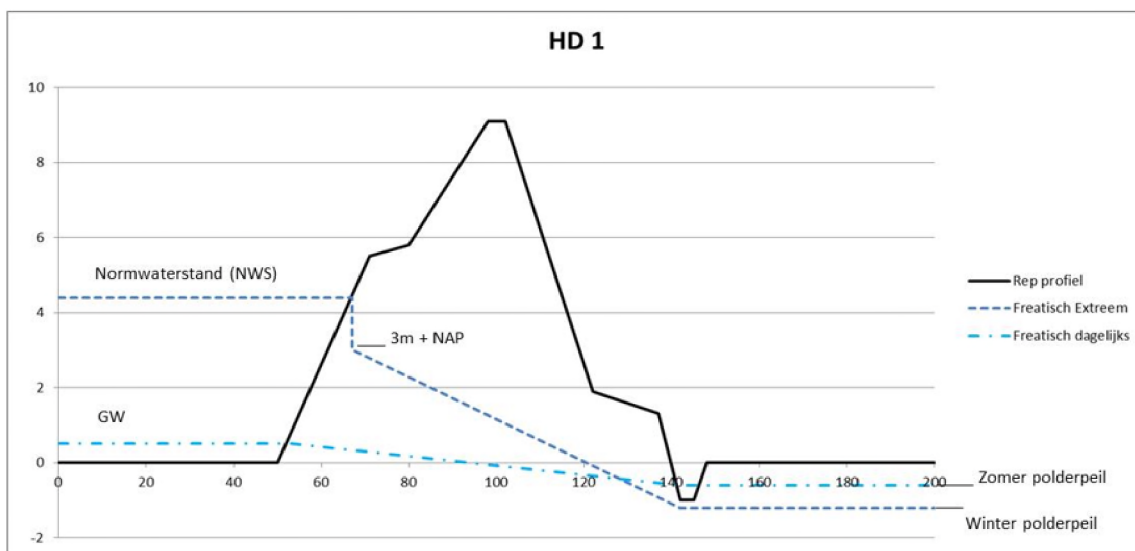
Dijkvak	S ondergrond [-]	S Stijghoogte [-]	S Freatische lijn [-]	Ps [-]	SF [-]	Pf [-]	Pf;S [-]	Pf;dsn [-]
13005.1	sondering 1 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0,36	1,17	1,87E-06	6,74E-07	1,45E-06
			1	0,045	1,17	1,87E-06	8,42E-08	
			2	0,045	1,17	1,87E-06	8,42E-08	
		1	Basis	0,04	1,15	3,41E-06	1,36E-07	
			1	0,005	1,15	3,41E-06	1,70E-08	
			2	0,005	1,15	3,41E-06	1,70E-08	
	Siltige klei (obv nieuw beschikbaar onderzoek)	Basis (vak 1)	Basis	0,36	1,20	7,40E-07	2,67E-07	
			1	0,045	1,20	7,40E-07	3,33E-08	
			2	0,045	1,19	1,01E-06	4,56E-08	
		1	Basis	0,04	1,17	1,87E-06	7,49E-08	
			1	0,005	1,17	1,87E-06	9,36E-09	
			2	0,005	1,17	1,87E-06	9,36E-09	

Om met zekerheid te verkrijgen moeten alle dijkvakken die niet behoren tot de scope voor STBI binnen deze planuitwerking opnieuw berekend worden met de aangepaste schematisaties van de freatische lijn. Voor normtraject 13-5 kan zonder aanvullende analyses niet gesteld worden dat het oordeel uit de WBI-beoordeling hetzelfde blijft.

Normtraject 12-1

Bij de WBI-beoordeling van normtraject 12-1 (Wieringer Zeewering) is een gedetailleerde toets uitgevoerd voor zichtjaar 2023. Voor de schematisering van de freatische lijn tijdens extreme condities is gebruik gemaakt van de resultaten van de oorspronkelijke geohydrologische analyse [ref. 3] en het technisch rapport waterspanningen bij dijken. In een notitie behorende bij het beoordelingsspoor STBI wordt de schematisering van de freatische lijn behandeld [ref. 28]. In alle dijkvakken is de freatische lijn geschematiseerd conform afbeelding 7.11. De freatische lijn is voorzien van een sprong naar NAP +3,0 m vanaf het snijpunt van de waterlijn met de waterkering. De sprong is nagenoeg verticaal omdat in D-Stability het teruglopen van de freatische lijn niet kan. De sprong heeft geen effect op de berekening.

Afbeelding 7.11 Schematisatie freatische lijn 12-1 [ref. 28]



Aangezien in de WBI-beoordeling uitgegaan is van een veilige schematisatie kan gesteld worden dat de aanpassingen van de rekenwaarden voor de freatische lijn uit dit rapport geen invloed hebben op het beoordelingsresultaat.

De aangepaste rekenwaarden voor de freatische lijn in 2073 (tabel 5.7) zijn voor raai 8 t/m 11 lager dan NAP +3,0 m. De schematisatie van de freatische lijn uit de WBI-beoordeling is daarom nog steeds geldig en ook het polderpeil is niet gewijzigd.

Voor normtraject 12-1 kan gesteld worden dat de aangepaste freatische lijn geen invloed heeft op de beoordelingsresultaten van de WBI-beoordeling.

STBU

Voor STBU is freatische lijn aan de buitenzijde na een hoogwater een belangrijke parameter. Hierbij is ook van belang hoe snel water draineert (zakking freatische lijn) uit het dijklichaam na een hoogwater. Voor de beoordeling van STBU is uitgegaan van een conservatieve schematisering: aanname dat het maximale niveau van de freatische tot 24 uur na een hoogwater constant blijft. Uit de geohydrologische analyse blijkt dat dit conservatief is, aangezien de freatische lijn na een hoogwater (met enige vertraging) lager wordt. De verwachting is dat de aangepaste freatische lijn geen invloed heeft op het oordeel voor STBU zoals gevonden tijdens de WBI-beoordeling.

7.4.2 Piping (STPH)

De analyse van de freatische lijn heeft zicht gericht op kalibratie van de freatische peilbuisfilters. Tijdens de analyse is niet gekeken naar kalibratie van de peilbuisfilters in het watervoerend pakket, daar is ook geen aanleiding voor geweest omdat de aanpassingen in de schematisatie zich op de bekleding richten. De stijghoogte in het watervoerend pakket is daarom niet veranderd ten aanzien van de WBI-beoordeling. Voor de beoordeling zijn onder andere het verval over de kering, afstand tussen intrede- en uittredepunt, en de dikte van de deklaag van belang. De waterstand binnendijks (polderpeil) verandert niet door de aangepast freatische lijn. Het verval over de kering wijzigt ook niet. Daarnaast is de stijghoogte in het watervoerend pakket niet gewijzigd door de aanpassingen in de modellen. De locatie van de intrede- en uittrede punten wijzigen ook niet. De aangepaste freatische lijn heeft geen invloed op het toetsoordeel zoals gevonden tijdens de WBI-beoordeling.

7.4.3 Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

Voor het mechanisme GEBU wordt getoetst of de graszode sterk genoeg is om tijdens een storm weerstand te bieden tegen golfklap en golfoploop. Voor de beoordeling wordt niet gekeken naar de freatische lijn. De wijzigingen aan de freatische lijn leiden niet tot een ander oordeel dan tijdens de WBI-beoordeling is gevonden.

7.4.4 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABU)

Het faalmechanisme GABU beoordeelt of afschuiving van een kleilaag onder de grasbekleding op het buitentalud kan plaatsvinden. Dit faalmechanisme kan alleen optreden als de grasbekleding in de golfklapzone ligt en er sprake is van een freatische lijn onder de kleilaag. Voor het merendeel van het traject is er geen impact op dit mechanisme. Het merendeel van de grasbekleding (en onderliggende kleilaag) ligt hoog op het buitentalud boven de asfaltbekleding. De grasbekleding ligt altijd hoger dan de maximale freatische lijn.

Ter plaatse van Vatrop en Stroe (DP 21.6-22.3 en DP 23.3-23.1) is geen asfaltbekleding aanwezig en ligt de grasbekleding lager op het buitentalud. De grasbekleding ligt hier in de golfklapzone en de freatische lijn kan onder de kleilaag komen te staan. Opdrukken en afschuiven van de grasbekleding kan door de wijzigingen aan de freatische lijn niet op voorhand worden uitgesloten.

7.4.5 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)

Door golfoverslag tijdens een maatgevende storm kunnen golven over de kruin van de dijk slaan. De overslaande golven zorgen voor belasting op de grasbekleding en deze uiteindelijk kan eroderen. Na het falen van de grasbekleding kan het onderliggende materiaal verder eroderen. De erosiekuil verdiept en breidt uit, wat uiteindelijk kan leiden tot bresvorming. Voor de beoordeling van dit faalmechanisme is onder andere de geometrie, golfcondities, kwaliteit van de graszode en dikte van de kleilaag relevant. Voor de beoordeling is het niveau van de freatische lijn niet van belang. De aangepaste freatische lijn heeft geen invloed op het toetsoordeel zoals gevonden tijdens de WBI-beoordeling. Vanwege het zeer beperkte overslagdebiet ($< 0,1$ l/s/m) zal het effect van overslaande golven op het niveau van de freatische lijn aan de binnenzijde verwaarloosbaar zijn. Merk op dat oplopende golven ook kunnen zorgen voor infiltratie van water in de dijk en daarmee een verhoging van freatische lijn. Met infiltratie van oplopende golven is, zoals in de WBI-beoordeling, geen rekening gehouden.

7.4.6 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)

Het faalmechanisme GABI beoordeelt of afschuiving van een kleilaag van het binnentalud kan plaatsvinden. Dit kan gebeuren door golfoverslag. Als de golven veel water bevatten kunnen ze voor het afschuiven van de grasbekleding op het binnentalud zorgen. In het geval dat er nagenoeg geen overslag is (overslagdebiet $< 0,1$ l/s/m) dan kan gesteld worden dat de faalkans van dit mechanisme verwaarloosbaar is. Tijdens de WBI-beoordeling is vastgesteld dat het overslagdebiet kleiner is dan $0,1$ l/s/m. De aangepaste freatische lijn heeft geen impact op het overslagdebiet en daarmee ook niet op het toetsoordeel zoals gevonden tijdens de WBI-beoordeling. Merk op dat oplopende golven ook kunnen zorgen voor infiltratie van water in de dijk en daarmee een verhoging van freatische lijn. Met infiltratie van oplopende golven is, zoals in de WBI-beoordeling, geen rekening gehouden.

7.4.7 Microstabiliteit (STMI)

Microstabiliteit betreft het verlies van de stabiliteit van grondlagen bij het binnentalud onder invloed van grondwater. Eventuele problemen worden veroorzaakt door een hoge freatische lijn in het grondlichaam. Conform de schematiseringshandleiding microstabiliteit [ref. 25] kan gecontroleerd worden of dit mechanisme kan optreden door de kijken naar de indringingslengte. Met formule 5.1 uit de schematiseringshandleiding microstabiliteit kan bepaald worden tot hoe ver een verhoging van het freatisch vlak in de dijk kan doordringen (gedetailleerde toets). Als er geen verhoging van de grondwaterstand ter plaatse van de binnenteen kan optreden, dan kan micro-instabiliteit niet optreden.

In de WBI-beoordeling is normtraject 13-5 goedgekeurd op STMI door de indringingslengte te bepalen voor 2023 en 2073. Aanpassingen aan de rekenwaarde van de freatische lijn heeft geen invloed op de parameters uit de formule van de indringingslengte en het toetsoordeel zoals gevonden bij de WBI-beoordeling blijft geldig. Tijdens de kalibratie van het PlaxFlow model is wel de doorlatendheid van zand verhoogd om de kalibratie te verbeteren. Een hogere doorlatendheid zorgt voor een langere indringingslengte. In de WBI-beoordeling is uitgegaan van een zeer conservatieve waarde voor de doorlatendheid van de zandkern: $0,5 \cdot 10^{-3}$ m/s ($43,2$ m/dag). De maximale doorlatendheid van zand in het PlaxFlow model is na aanpassingen 6 m/dag. Op basis van de uitgangspunten van de WBI-beoordeling kan gesteld worden dat het toetsoordeel geldig blijft vanwege de conservatieve aannames.

Voor normtraject 12-1 is in de WBI-beoordeling gesteld dat er te weinig gegevens zijn om de gedetailleerde toets uit te voeren. De beoordeling is uitgevoerd met een toets op maat. De toets op maat maakt gebruik van de geohydrologische schematisering uit het rapportage nader onderzoek [ref. 3]. Deze schematisering is niet meer geldig vanwege de voorgestelde aanpassingen aan de freatische lijn. In de WBI-beoordeling is voor de freatische lijn aan de binnenzijde uitgegaan van het polderpeil. Het polderpeil is niet gewijzigd door de geohydrologische analyse. De aanpassingen aan de freatische lijn zorgen voor een verhoging van de freatische lijn onder het buitentalud en de kruin. Aangezien de binnendijkse randvoorwaarde (polderpeil)

hetzelfde is gebleven zal de schematisatie van de freatische lijn bij de binnenteen niet wijzigen. In de WBI-beoordeling voor normtraject 12-1 is gesteld dat de freatische lijn geen uittredepunt heeft aan in het binnentalud of de teen van de dijk. Omdat er geen waterdruk tegen de onderzijde van de kleibekleding optreedt, is geconcludeerd dat het oordeel voor het mechanisme microstabiliteit voldoen is. De aangepaste freatische lijn heeft geen impact op het toetsoordeel zoals gevonden tijdens de WBI-beoordeling.

7.4.8 Stabiliteit steenzetting (ZST)

Het faalmechanisme ZST bestaat uit een aantal sub-mechanismen die uiteindelijk kunnen leiden tot dijkfalen door instabiliteit van de steenzetting. In de WBI-beoordeling is gebruik gemaakt van het rekenmodel Steentoets voor de beoordeling van de steenzetting. De aanpassingen van de freatische lijn hebben geen gevolgen voor de invoerparameters in Steentoets. Het toetsoordeel zoals gevonden in de WBI-beoordeling blijft dan ook geldig.

7.4.9 Niet Waterkerende Objecten (NWO)

Onder niet waterkerende objecten (NWO's) worden bomen, bebouwing, kabels & leidingen en overige objecten verstaan. Hierbij wordt gekeken wat de invloeden van deze objecten zijn op de waterveiligheid. In principe dragen NWO's niet bij aan de veiligheid van een waterkering, maar kunnen ze wel de sterkte van de kering reduceren. De aangepaste freatische lijn heeft geen impact op het toetsoordeel zoals gevonden tijdens de WBI-beoordeling.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De freatische lijn is input voor het definitief ontwerp (DO) in de planuitwerkingsfase. HHNK heeft in 2023 een extra analyse uitgevoerd op het bestaande geohydrologische PlaxFlow-model (uit de verkenningsfase, opgesteld door RHDHV/HKV) waarmee de freatische lijn is afgeleid in de notitie 'Freatische Lijn DODH bevindingen' [ref. 2]. Uit de analyse blijkt dat HHNK onvoldoende vertrouwen heeft in de berekende freatische lijn.

In dit rapport is een geohydrologische analyse uitgevoerd om voldoende vertrouwen te krijgen in de te hanteren freatische lijn en zijn aanbevelingen gedaan voor aanpassingen op de freatische lijn in de dijk.

In de verkenningsfase [ref. 3] zijn kalibraties gemaakt van raaien 1, 6, 7, 8, 9 en 10. Bij raai 6 is er een minder goede fit gevonden, wat aanleiding was voor deze geohydrologische analyse. In de vorige versie van dit rapport is bovendien geconcludeerd dat alle raaien gemodelleerd zijn met asfalt tot aan de teen van het buitentalud. In werkelijkheid is bij alle raaien zetsteen aanwezig onderaan het buitentalud. Asfalt is waterondoorlatend, dit heeft een gunstig effect op de freatische lijn in dijk. Daarom is in het expertoverleg van 16 augustus 2023 besloten om ook raaien 1, 4 en 9 (opnieuw) te kalibreren met PlaxFlow. In dit rapport zijn de kalibraties van raaien 1, 4, 6 en 9 verbeterd door het voorland te modelleren (raai 4 en 6), geen afkapping op NAP +1,4 m in de buitenwaterstand toe te passen (raai 6), de doorlatendheid van zand gering aan te passen en zetsteen met een doorlatendheid te modelleren.

Er kan worden geconcludeerd dat een ondoorlatend talud (geheel asfalt) ten opzichte van een doorlatend ondertalud (zetsteenconstructie) een grote invloed heeft op de freatische lijn in de dijk. In deze analyse is middels een kalibratie de doorlatendheid van de zetsteenconstructie zo goed mogelijk benaderd. De berekende freatische lijnen in de dijk bij WBN voor zichtjaar 2073 in de verkenningsfase zijn bij alle raaien te laag, dit komt deels door de modellering (ondoorlatend asfalt tot de buitenteen) en deels door het feit dat in de buitenwaterstand bij WBN voor zichtjaar 2073 geen zeespiegelstijging was meegenomen.

De conclusies uit deze geohydrologische analyse sluiten aan bij de algemene conclusie van de analyse van HHNK op de freatische lijn, zie [ref. 2]:

- de analyse uit de verkenningsfase is onvoldoende onderbouwd en onvoldoende betrouwbaar, op basis van de aangepaste berekeningen en aanpak in deze analyse is geconcludeerd dat de berekende freatische lijnen in de dijk te gunstig waren, zie hoofdstuk 3;
- de projectie van raai 6 op raai 4 is niet logisch en niet goed te onderbouwen. Voor raai 4 is een nieuw PlaxFlow model opgezet. Zie paragraaf 3.2.3, paragraaf 4.2 en paragraaf 5.3;
- de onderbouwing van de onzekerheidstoeslag van 0,10 m uit de verkenningsfase [ref. 3] is te kort door de bocht. In deze analyse is de omgang met onzekerheden opnieuw bepaald, er is gekeken naar de mate van onzekerheid per raai, zie paragraaf 5.7 en paragraaf 5.8;
- de vakindeling is aangepast ten opzichte van de verkenningsfase, op basis van de berekeningsresultaten, grondopbouw en taludbekleding, zie hoofdstuk 6.

In overleg met HHNK is bepaald dat de resultaten uit de gehanteerde vervolgstappen voldoende vertrouwen geven om op korte termijn verder te kunnen met dit project. Projectplanning krijgt prioriteit boven het verder verkleinen van onzekerheden door nog meer onderzoek. Daarom is per raai met enige veiligheid de aanbevolen rekenwaarde van de maximale waterstand in de dijk bij WBN voor zichtjaar 2073 bepaald.

De toeslag op de berekende freatische lijn is bepaald op basis van de onzekerheid per locatie. In paragraaf 5.7 is dit nader omschreven en de resultaten zijn gepresenteerd in paragraaf 5.8.

Ten opzichte van de verkenningfase is opnieuw gekeken naar de vakindeling van de raaien op basis van de berekeningsresultaten, bodemopbouw en taludbekleding. Dit heeft geresulteerd in een aangepaste indeling in hoofdstuk 7.

Op basis van de maximale rekenwaarden van de freatische lijn in de dijk bij de norm en de aangepaste vakindeling is de impact op de scope bepaald in hoofdstuk 7. Met betrekking tot het verhogen van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding is de scope in vergelijking met de originele scope aanzienlijk groter geworden. Dit heeft voornamelijk te maken met een verhoging van de maximale rekenwaarden en onzekerheidstoelagen. In totaal voldoen 94 dijkvakken van elk 100 m in 2073 voor het mechanisme ASP niet aan de norm. Voor een aantal afgekeurde dijkvakken wordt het niet aan de norm voldaan en is geen sprake van een acuut waterveiligheidsprobleem. Voor deze vakken kan adaptief versterken overwogen worden.

Tot slot is gekeken naar het effect van de aangepaste rekenwaarden van de freatische lijn op de andere bij de WBI-beoordeling beschouwde faalmechanismen. Voor bijna alle faalmechanismen is het effect verwaarloosbaar. Alleen voor het mechanisme STBI kan niet met zekerheid gezegd worden dat het resultaat van de WBI-beoordeling voor normtraject 13-5 niet zal wijzigen en is aanvullende analyse noodzakelijk.

REFERENTIES

In dit rapport zijn de volgende referenties gebruikt:

- 1 Royal HaskoningDHV (2019). Nota voorkeursalternatief. Verkenning dijkversterking Den Oever - Den Helder DODH. Corsanummer: 19.2456384.
- 2 HHNK, Freatische Lijn DODH bevindingen, referentie 23.0386265, 18 april 2023.
- 3 HKV - RHDHV, Rapportage nader onderzoek DODH, referentie PR3870.30, corsanummer 20.0082180, Definitief, April 2019.
- 4 HHNK, Rapportage van beproeving doorlatendheid steenzetting Helderse Zeewering, 19 en 20 april 2023.
- 5 HKV, Veiligheidsanalyse asfaltbekleding (AWO en AGK), ref. PR3780.30, 15 maart 2019.
- 6 Deltares (2018). Stabiliteit van oud asfalt tijdens golfaanval. Analyse van de resultaten van het Deltagootonderzoek met asfalt van de Lauwersmeerdijk.
- 7 Kiwa KOAC. Handreiking asfalt dijkbekledingen op funderingslagen, versie 3.2 (e140416901-3).
- 8 Ministerie van I&W (2019). Schematiseringshandleiding asfaltbekleding - WBI 2017.
- 9 Witteveen+Bos (2022). Uitgangspuntennotitie ontwerp. Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder. Corsanummer: 21.1066223.
- 10 HKV (2020). Beoordeling normtraject 13-5 op wateroverdruk bij asfaltbekleding (AWO) voor 2023 en 2073. Projectnummer 4282.10.
- 11 HKV (2020). Beoordeling normtraject 12-1. Wateroverdruk bij asfaltbekleding (AWO).
- 12 Laboratorium voor grondmechanica Delft, Grondonderzoek ten behoeve van de verhoging van de Balgzanddijk, CO-239112/59, juni 1983.
- 13 Fugro, Hoofdonderzoek Fase 10 Balgzanddijk, Deel 01 Grond- en laboratoriumonderzoek, U-1028, versie 2, 22 september 1998.
- 14 Fugro, Detailonderzoek Fase 10 Balgzanddijk, Deel 01 Grond- en laboratoriumonderzoek, U-1028/010, versie 1, 28 januari 2000.
- 15 Fugro, Hoofdonderzoek Fase 10 Amsteldiepdijk, Deel 01 Grond- en laboratoriumonderzoek, U-1029, versie 2, 22 september 1998.
- 16 Fugro, Detailonderzoek Fase 10 Amsteldiepdijk, Deel 01 Grond- en laboratoriumonderzoek, U-1029/010, versie 1, 11 februari 2000.
- 17 Fugro, Hoofdonderzoek Fase 10 Wieringerzeewering, Deel 01 Grond- en laboratoriumonderzoek, U-1030, versie 2, 22 september 1998.
- 18 MOS Grondmechanica, Grondonderzoek Balgzanddijk & Amsteldiepdijk te HOLLANDS KROON, R1602469-03, 31 januari 2017.
- 19 Fugro, Geotechnisch onderzoek STBI Balgzanddijk, Definitief, 2423-230755, 30 maart 2023.
- 20 Fugro, Geotechnisch onderzoek STBI Balgzanddijk, Definitief, 2423-235521, 3 augustus 2023.
- 21 HHNK, Waddenzeekust, Balgzanddijk (Dp 4.6 - Dp 6.5), D88a-003.
- 22 Witteveen+Bos, Overleg geohydrologische analyse DODH, ref. 128893/23-013.696, 25 augustus 2023.
- 23 HKV (2020). Veiligheidsrapportage traject 13-5. Veiligheidsoordeel 2023 en 2073. Definitief rapport.
- 24 HKV (2020). WBI-beoordeling normtraject 12-1. Wieringer Zeewering. Versie 3.0, definitief.
- 25 Ministerie van I&W (2019). Schematiseringshandleiding microstabiliteit. WBI 2017. Versie definitief.
- 26 Witteveen+Bos (2023). Rekennota golfklappen op asfaltbekleding (AGK) OL3. Corsanummer: 22.1034539.
- 27 Kiwa KOAC (2021). Restlevensduurbepaling Waddenzeedijk Den Oever - Den Helder, Eindrapport. Versie definitief.
- 28 HKV, RHDHV (2020). WBI-beoordeling normtraject 12-1. Binnenwaartse stabiliteit 04 notitie schematisering freatische lijn.

- 29 HKV, RHDHV (202). WBI-beoordeling normtraject 12-1. Buitenwaartse stabiliteit 04_STBU_notitie_schematisering_freatische_lijn_optie_3_12-1.
- 30 HKV, RHDHV (2020). Memo Beoordeling normtraject 13-5 op binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) voor 2023 en 2073.
- 31 Witteveen+Bos (2023). Uitgangspuntennotitie ontwerp. Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder. Corsanummer: 21.1066223.

Bijlage(n)



BIJLAGE: INFORMATIE ZETSTEEN

Samenvatting

Op basis van foto's Inpijn-Blokpoel:

- Raai 7, 8, 10 en 11 zetsteen
- Overige raaien niet te zien op de foto's

Referentie:

Inpijn - Blokpoel

Resultaten geotechnisch onderzoek en installatie monitoringsnet

Doc nr. 06P004659-RG-01, versie 3, 09 april 2019

Samenvatting

Op basis van archieftekeningen:

Raai	Zetsteen	Onderlaag	Van [m NAP]	Tot [m NAP]
1	Betonzuilen, 0,3m	zandasfalt, 0,3m	0,7	2
2	Betonzuilen, 0,3m	staalslakken, 0,3m	0,7	2,39
3	Betonzuilen, 0,3m	grauwacke, 0,3m	0,7	3,5
4	Betonzuilen, 0,3m	grauwacke, 0,3m	0,7	3,62
5	Betonzuilen, 0,3m	grauwacke, 0,3m	0,7	3,62
6	Betonzuilen, 0,3m	staalslakken, 0,3m	0,7	3,5
7	Betonzuilen, 0,3m	staalslakken, 0,3m	0,2	3,5
8	Betonzuilen, 0,3m	zandasfalt, 0,3m	0,1	2,43
9	Betonzuilen, 0,3m	zandasfalt, 0,3m	0,0	2,37
10	Basaltzuilen 30/40	baksteenpuin 0,15m + zandasfalt 0,3m	0,1	2,42
11	zuilenbasalt 30/40	baksteenpuin 0,15m + zandasfalt 0,3m	0,1	2,28

Samenvatting

- Overzicht inclusief DTM:

Raainummer	Dijkpaalnr	Opmerking	Relevante doorsneden profielenboek DT	Relevante bestektekeningen	Niveau overgang asfalt/zetsteen [NAP Conform DTM	Niveau overgang asfalt/zetsteen Conform bestek	Niveau onderrand steenzetting conform Bestek	Niveau start slib/begroeiing op steenzetting
1	5.05	Model	Geen DTM	scan0243, scan 73392			0.2	
2	6.25	Geen model	geen DTM					
3	8.2	Geen model	geen DTM					
4	9.2	geen model	Geen DTM					
5	10.9	Geen model	DWP 23	Scan 256, scan 73404, scan 73395	2.977	3.62	0.7	1.408
6	12.45	model	DWP 38, DWP 39	scan 73360	3.006	3.5	0.7	1.863
7	13.85	model (niet werkend)	DWP 52, DWP 53	scan 73361, scan 0285	3.095	3.55	0.2	2.102
8	16.3	model	DWP67	scan 77721	2.433	2.41	0.1	0.726 (onderkant steenzetting)
9	17.9	model	Geen DTM	scan 77722		2.37	0.1	Geen DTM, steenzetting bijna volledig ondergroeid
10	21.1	model	Geen DTM	Scan 77729		2.431	0.1	Geen DTM, steenzetting bijna volledig zichtbaar
11	25.1	Meetfouten in peilbuisdata, niet bruikbaar	Geen DTM					
Opmerkingen								
De onderkant van de steenzetting ligt overal onder een laag slib. Als gevolg is tijdens de DTM-meting de onderrand van de steenzetting niet in kaart gebracht.								
De onderkant van de steenzetting kan alleen worden bepaald uit de bestektekeningen								
Het niveau van de overgang van asfalt naar steenzetting komt niet bij alle raaien overeen tussen de bestektekeningen en de DTM-meting								
Het is mogelijk dat de sliblaag op het onderste gedeelte van de steenzetting zorgt voor minder doorlatendheid								

RAAI 1



2. Locatie R1 PB2A



1. Raai 1 PB2A

RAAI 1



3. Omgeving R1 PB2A *



6. Omgeving R1 PB3

RAAI 1



7. Omgeving R1 PB3 na het boren



1. Locatie R1 PB5

RAAI 1

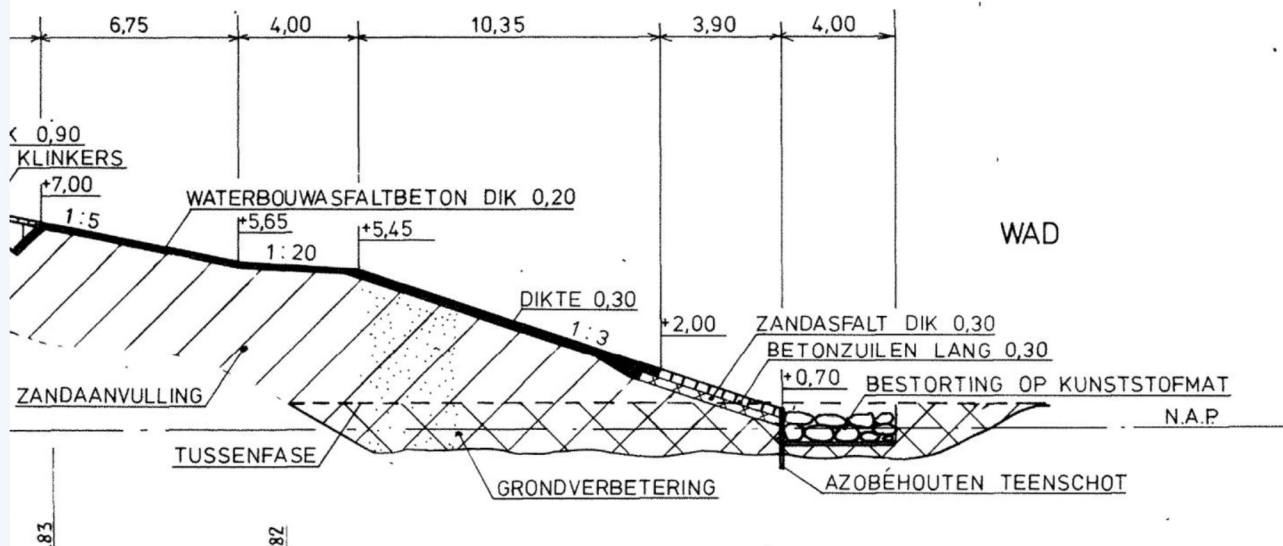


8. Omgeving R1 PB5



4. Raa1 1 PB6

RAAI 1



RIJKSWATERSTAAT	
DIREKTIE NOORD-HOLLAND	
HOOFDAFD. AN	7347
AFDELING PLANSTUDIE	
BALGZANDDIJK	
VERHOOGING	BALGZANDDIJK

SCHAAL 1:2000/1:200

LM	DATUM	PARAAT	IN 3	BLADEN	BLAD N° 2
SLOOTWEG	'83		FORM	VAK	RUBRIEK
VUURST			B6	1	4
RAAT					

REG. N° 080-009
83 - BAD - 002

NHDH - 1988 - 0085

Bijlage 1b

RAAI 2



5. Raai 2 PB3



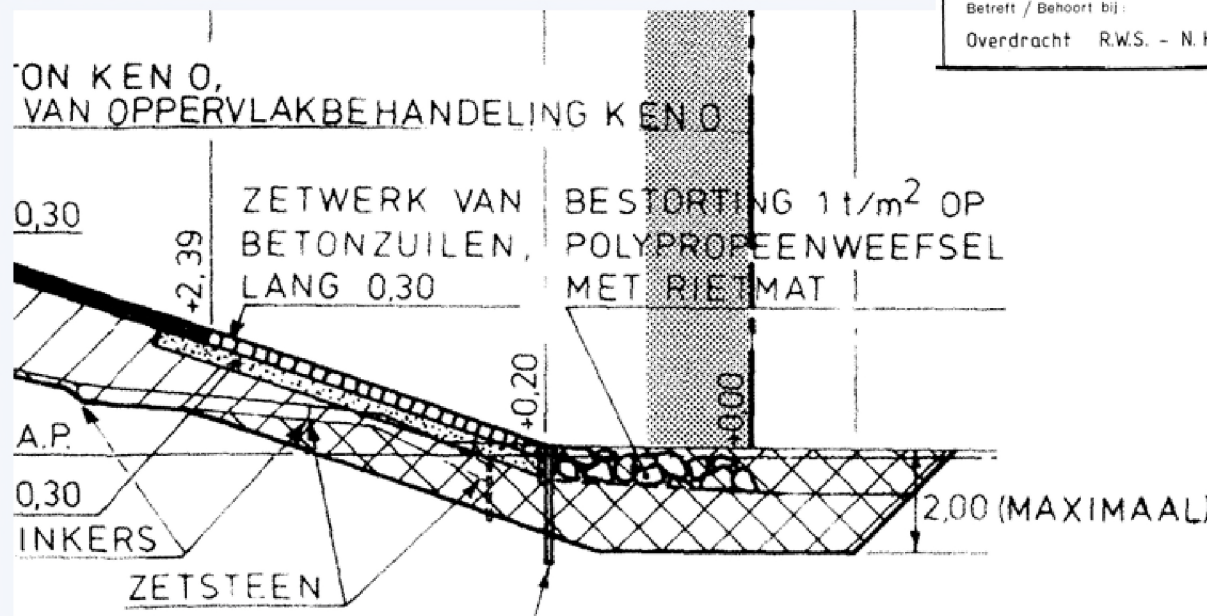
9. Omgeving R2 PB3

RAAI 2

73392

HOOGHEEMRAADSCHAP		Waddenzeekust	
 NOORDHOLLANDS NOORDERKWARTIER		ged. Den Helder - Den Oever	
		Balgzanddijk (Dp. 0.450 - Dp. 2.6)	
grens over te dragen gebied			
Schaa1: 2000/200		Form. A0/1	In 32 bl. Bl. no. 18
Betreft / Behoort bij:		Ingeschr.	Reg. no.
Overdracht R.W.S. - N.H.N.K.		Get. B. K. Gez. E. Neef	11-11-88-0455
		Gez. Kad. gez.	

088a-on



RAAI 3

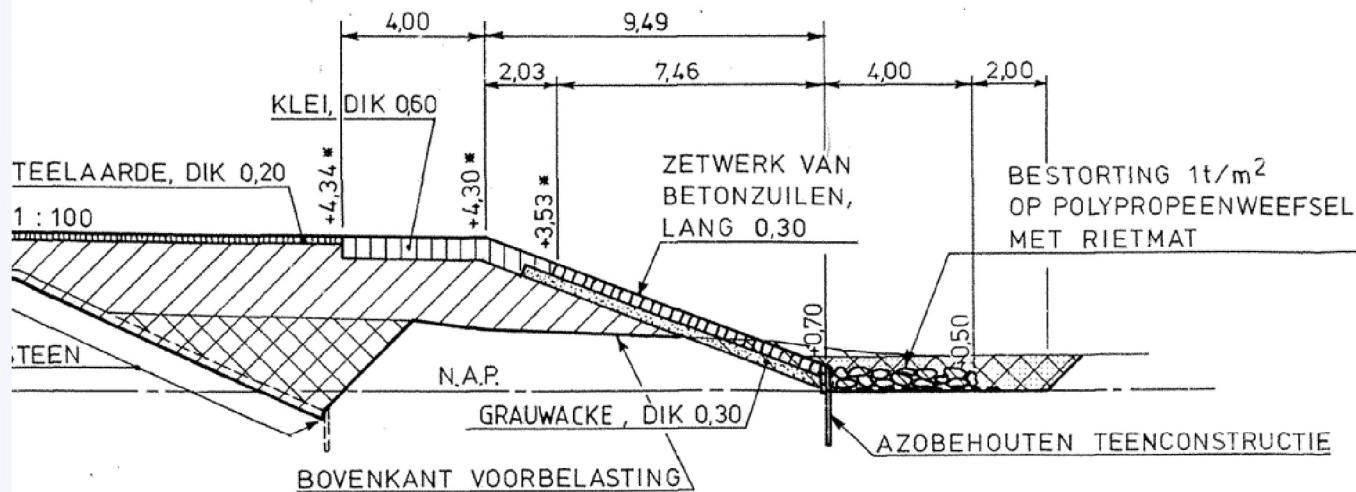


1. Locatie R3 PB3



9. Omgeving R3 PB3

RAAI 3



RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE NOORD-HOLLAND HOOFDAFD. NIEUWE WERKEN							
73402							
BALGZANDDIJK							
VERZWAREN EN VERHOGEN BUITENZIJDSE DIJK							
GEDEELTE Dp. 2.6 — Dp. 4.6							
BESTEK NH 4264 DIENSTJAAR 1987-1990 DE HOOFDINGENIEUR-DIREKTEUR I.-h.d. <i>T.J. Houweling</i> T.J. Houweling SCHAAAL 1:2000, 1:200							
GETEKEND	NAAM	DATUM	PARAAT	IN 5	RIJZEN	RIJZEN	RIJZEN
	P. Erkamp	aug. '85	90	FORM	VAK	RUBRIEK	REG. N°
GEKONTROLEERD	ing. H.v.d. Vuurst	aug. '85	90	B5	15	90-0020	90-0020
HOOFD v.g. AFD.	ing. J.H. Houben	aug. '85	90				

0080-012

RAAI 4



10. Omgeving R4 PB3



7. R4 PB3 – laag water

RAAI 4

73394

HOOGHEEMRAADSCHAP

NOORDHOLLANDS
NOORDERKWARTIER

Betreft / Behoort bij:

Waddenzeekust

ged. Den Helder - Den Oever

Balgzanddijk (Dp. 4.6 - Dp. 6.5)

grens over te dragen gebied

Schaal 1 2000/200

Form. A0/1

In 32 bl.

Bl. no. 20

Ingeschr.

Reg. no.

Get. B. K. Gec. F. Neef

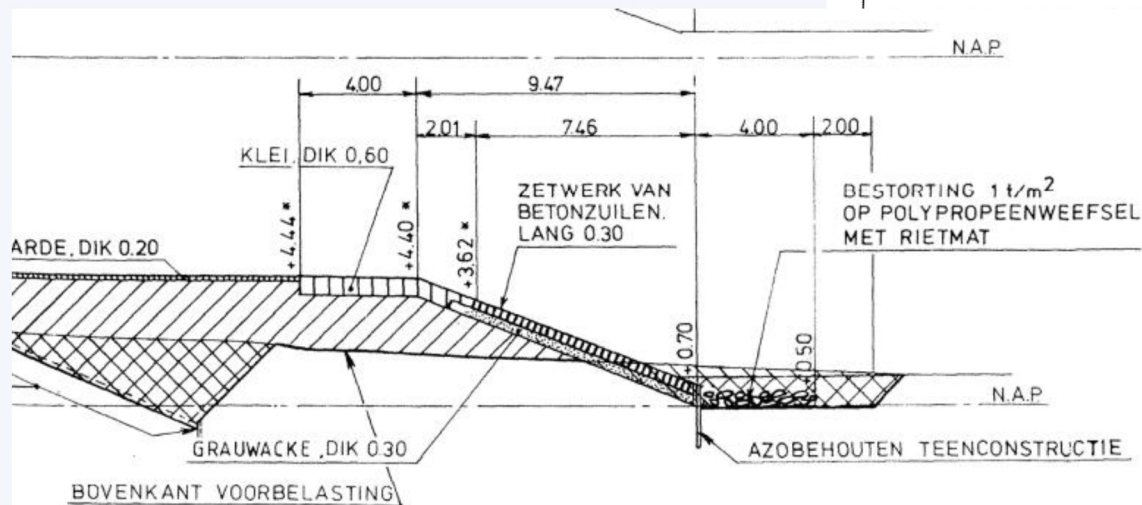
~~nr. 88-0457~~

Gez.

Kad. gez.

86-840-000

000a-003



RAAI 5

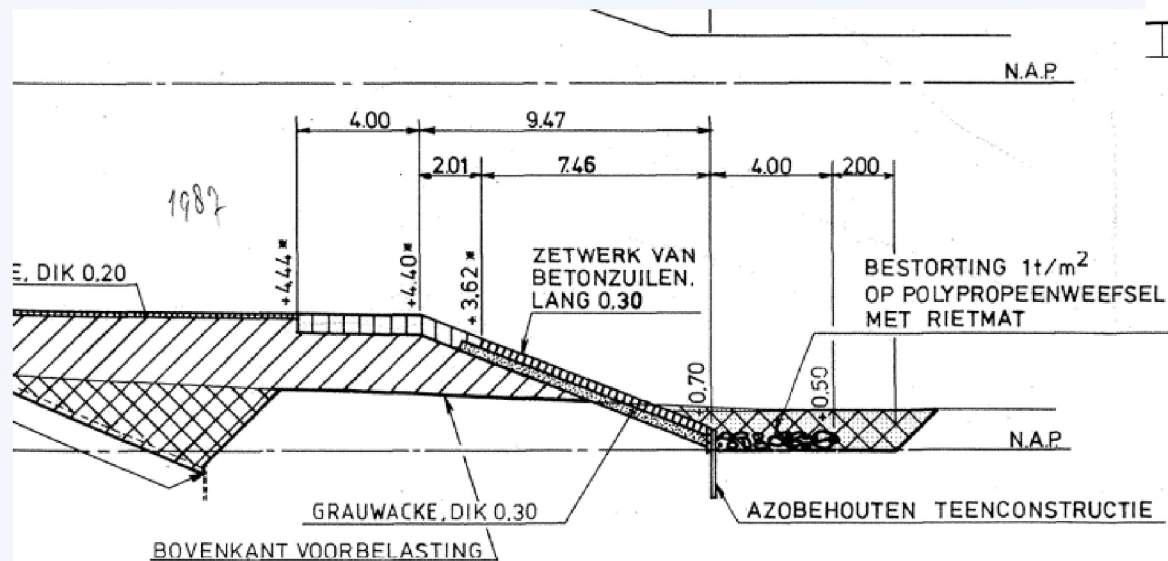


9. Omgeving R5 PB3



7. R5 PB3

RAAI 5



RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE NOORD-HOLLAND HOOFDAFD. NIEUWE WERKEN									
73404									
BALGZANDDIJK						BESTEK NH 4264 DIENSTJAAR 1987-1990			
VERZWAREN EN VERHOGEN BUITENZIJDDE DIJK						DE HOOFDINGENIUR - DIREKTEUR I - h. d.			
GEDEELTE Dp. 6.5 — Dp. 8.3						<i>H. Houweling</i> <i>ir. T.J. Houweling</i>			
						SCHAAL 1:2000 1:200			
GETEKEND	NAAM P. Holtaar	DATUM aug. '86	PARAAF <i>ph</i>	IN 5 FORM	BLADEN VAK	BLAD N° RUBRIEK	REG. N°		
GEKONTROLEERD	ing. H.v.d. Vuurst	aug. '86	<i>ph</i>	B5	15	1111 90 0031			
HOOFD v.d. AFD.	ing. J.H. Houben	aug. '86	<i>ph</i>						

DDBA-014

RAAI 6



9. Raai 6 PB2A



1. Omgeving R6 PB2A



10. R6 PB3

RAAI 6

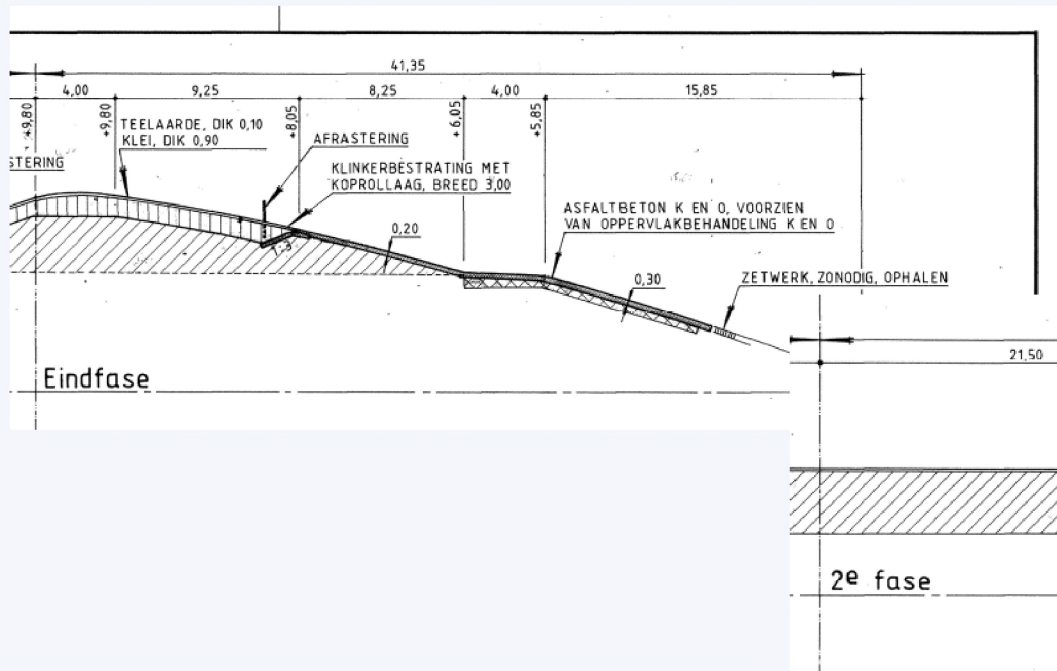


9. Omgeving R6 PB5



4. Omgeving R6 PB6

RAAI 6



RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE NOORD-HOLLAND HOOFDAFD. NIEUWE WERKEN						73161	
AMSTELDIEPDIJK						BESTEK NH 4385 DIENSTJAAR 1988 - 1990	
VERZWAREN EN VERHOGEN AMSTELDIEPDIJK						DE HOOFDINGENIEUR-DIRECTEUR i-nid	
Gedeelte Dp. 8.045 - Dp. 9.050						ir. T.J. Houweling	
SCHAAL 1: 1000/200							
GETEKEND:	NAAM	DATUM	PARAF	IN 5 BLADEN	BLAD N° 2		
GEKONTROLEERD	J. van Grondelle	okt 1987		FORM VAK	RUBRIEK	REG. N°	
HOOFD v.s. AFD.	ing. J.C. van Beek	okt 1987		B5	1 5	87-AMD-006	

RAAI 7



1. Locatie R7 PB2B



3. R7 PB4, R7 PB3, R7 PB2B

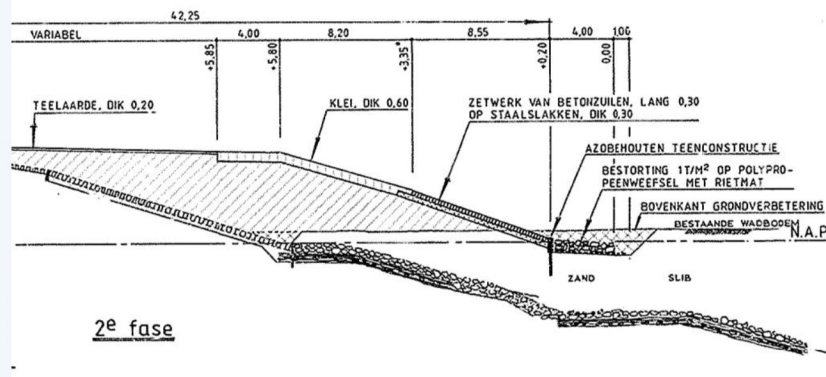
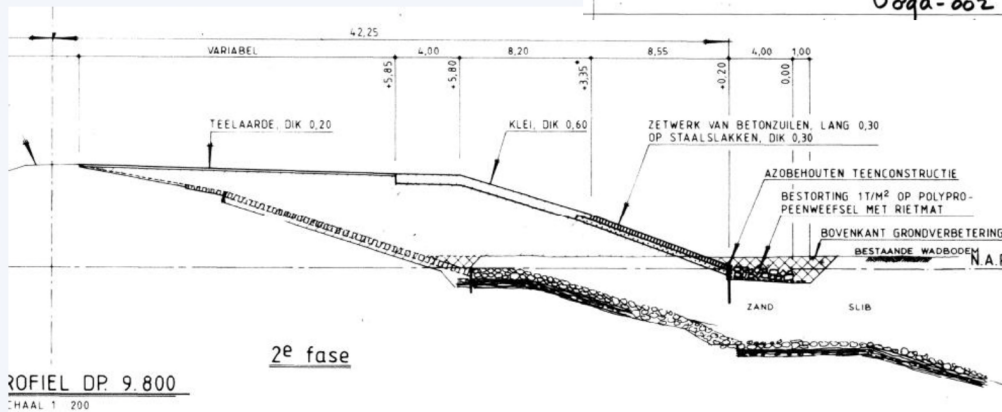
RAAI 7

73361

 HOOGHEMRAADSCHAP NOORDHOLLANDS NOORDERKWARTIER	Waddenzee kust ged. Den Helder - Den Oever Amsteddiepdiijk (Dp. 9.050 - Dp. 10.020) grens over te dragen gebied		
	Schaal 1: 1000	Form. A0/1	In 32 bl. Bl. no. 23
	Betreft / Beheert bij	Ingeschr.	Reg. no.
	Overdracht R.W.S. - N.H.N.K.	Get. B.R. Geo.	NH-00-0150

089a-002

RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE NOORD-HOLLAND HOOFDAFD. NIEUWE WERKEN			
AMSTELDIEPDIJK VERZWAREN EN VERHOGEN AMSTELDIEPDIJK Gedeelte Dp. 9.050 - Dp. 10.020			BESTEK NH 4385 DIENSTJAAR 1988 - 1990 DE HOOFDINGELINGEN: DIRECTEUR 1 - Rid <i>[Signature]</i> Ir. T.J. Houweling Schaal 1: 1000/200
GEF. TEND. J. van Grondelle okt 1987 BEKONTROLEERD. ing. J.C. van Beek okt 1987 HOOFD D. d. 24.0 ing. J.M. Hauben okt 1987	GEF. TEND. J. van Grondelle okt 1987 BEKONTROLEERD. ing. J.C. van Beek okt 1987 HOOFD D. d. 24.0 ing. J.M. Hauben okt 1987	GEF. TEND. J. van Grondelle okt 1987 BEKONTROLEERD. ing. J.C. van Beek okt 1987 HOOFD D. d. 24.0 ing. J.M. Hauben okt 1987	REG. NO. 15 15 07-AMB-007 089a-007



RAAI 7



3. Omgeving R7 PB3



6. Omgeving R7 PB4

RAAI 8



5. R8 PB1



1. R8 PB2B

RAAI 8



5. Locatie R8 PB2



9. Locatie R8 PB3

00-00000-031

RAAI 9



3. R9 PB2B



9. R9 PB3



RAAI 10



1. Locatie R10 PB1



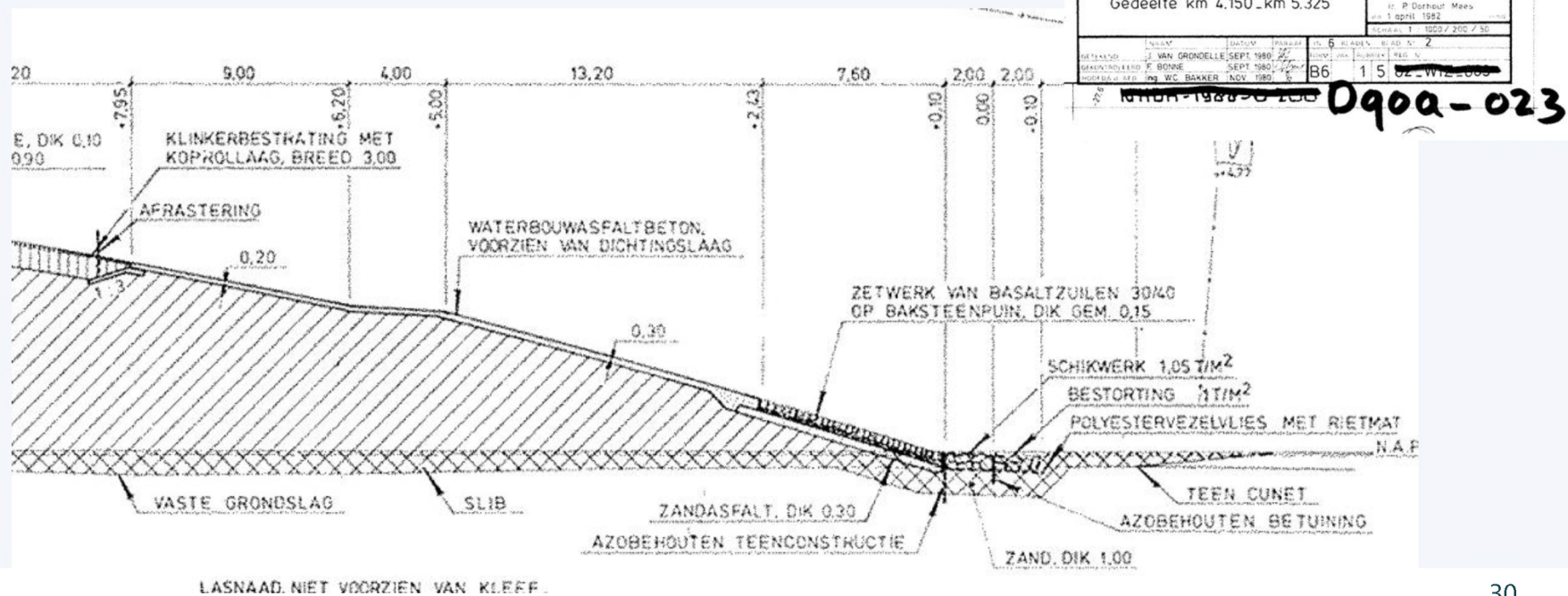
3. Locatie R10 PB2B

RAAI 10



8. Locatie R10 PB5

RAAI 10



RAAI 11



5. R11 PB1 2^e poging



7. R11 PB1 2^e poging en R11 PB2B

RAAI 11



1.R11 PB2B

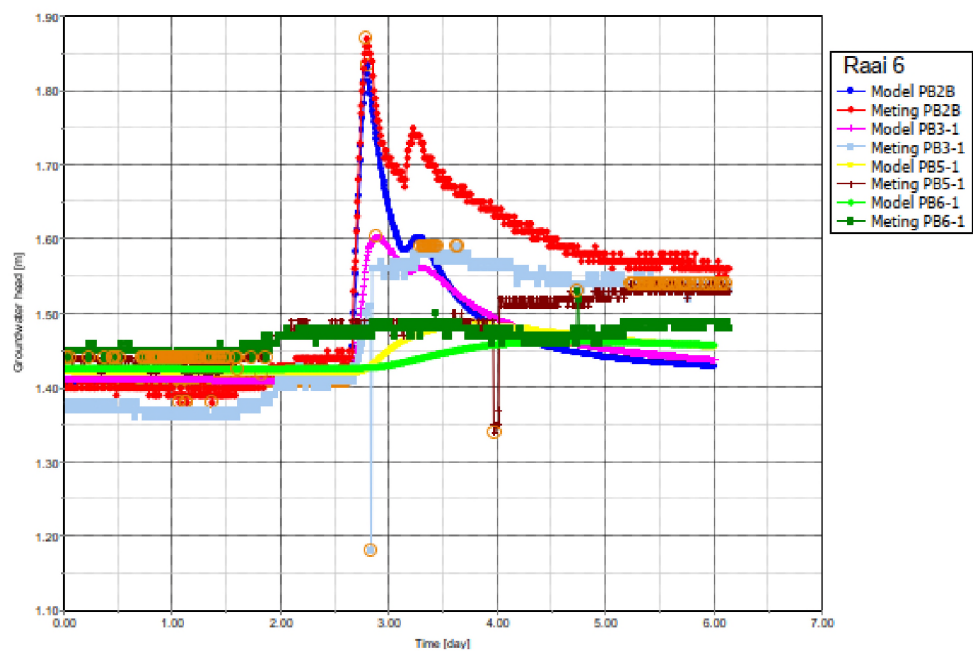
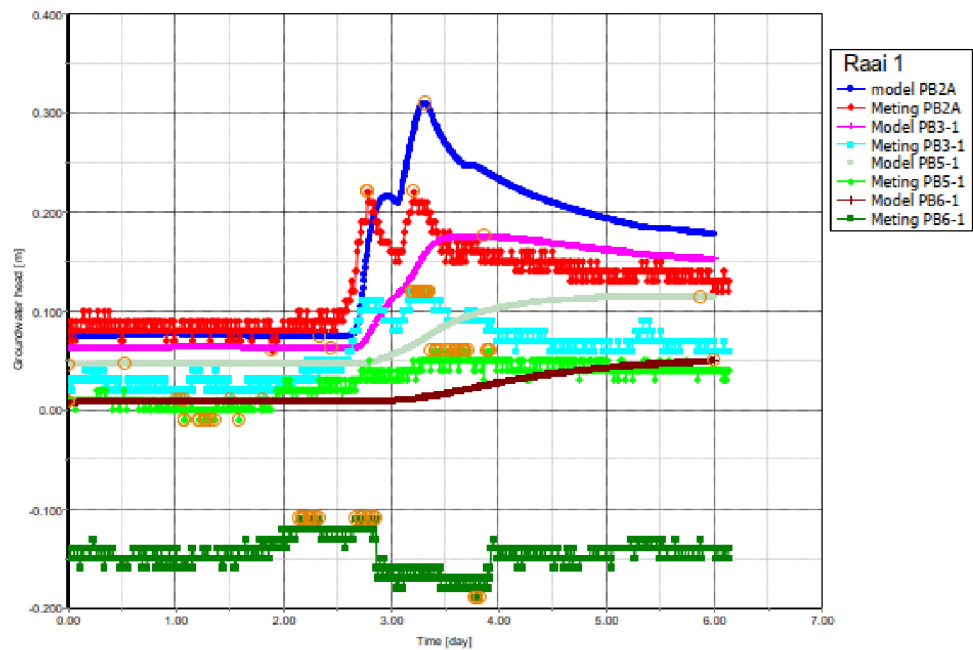


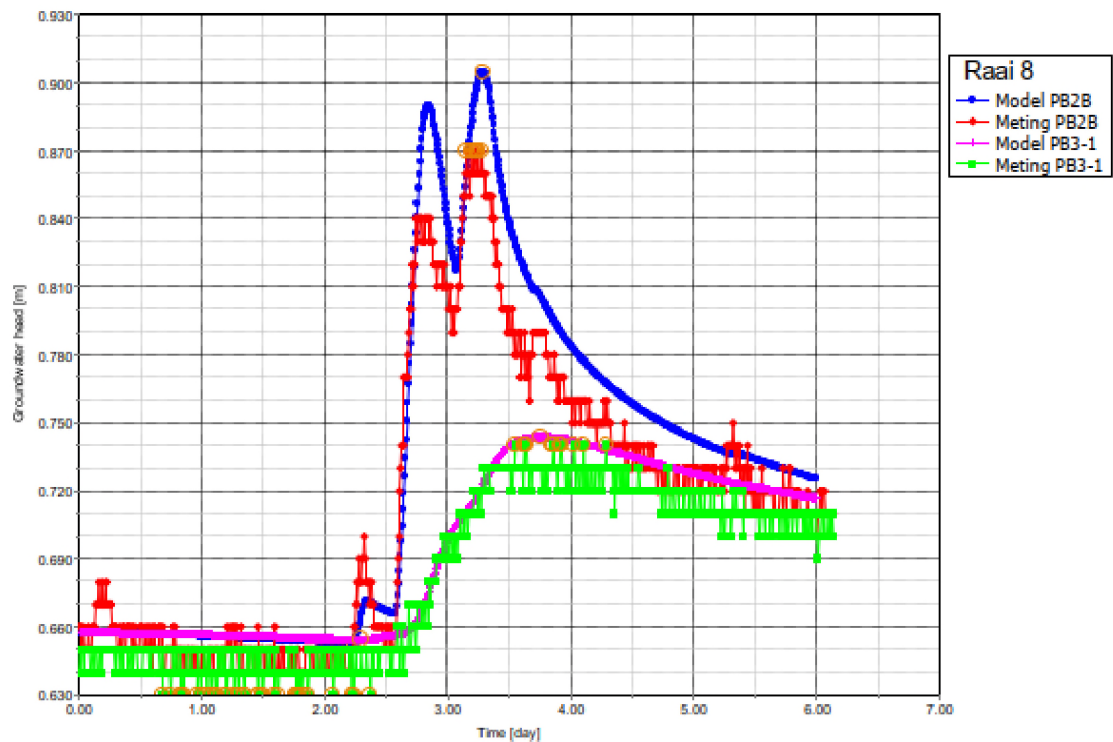
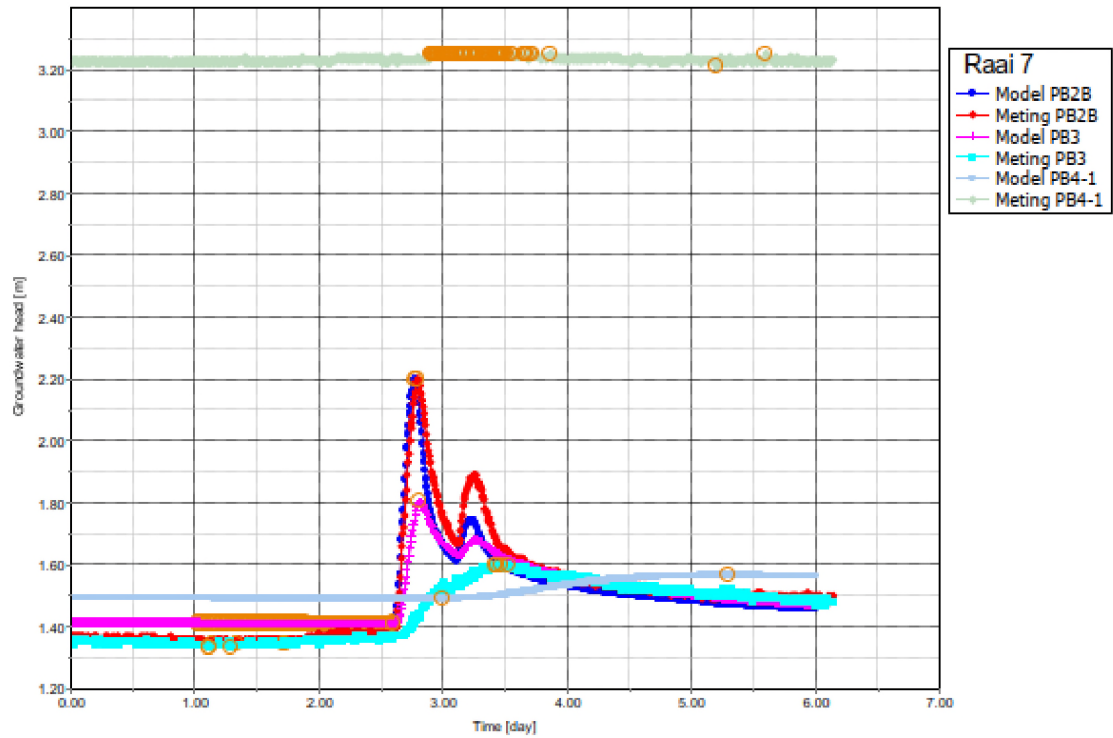
7. Locatie R11 PB4

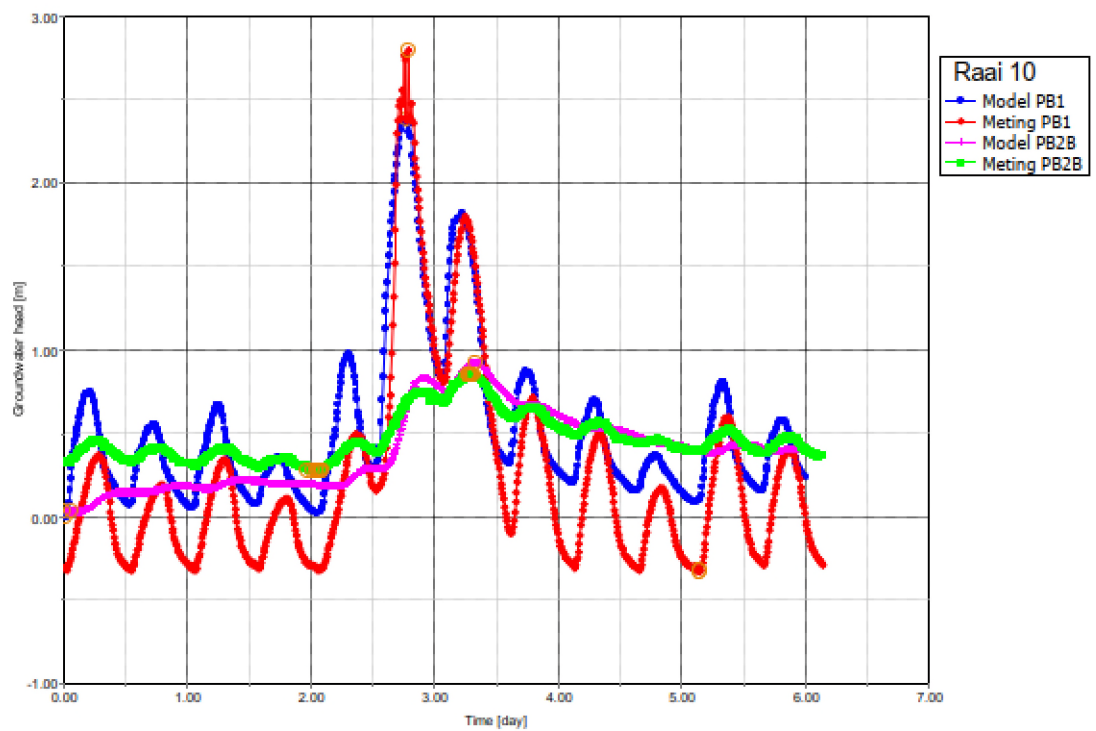
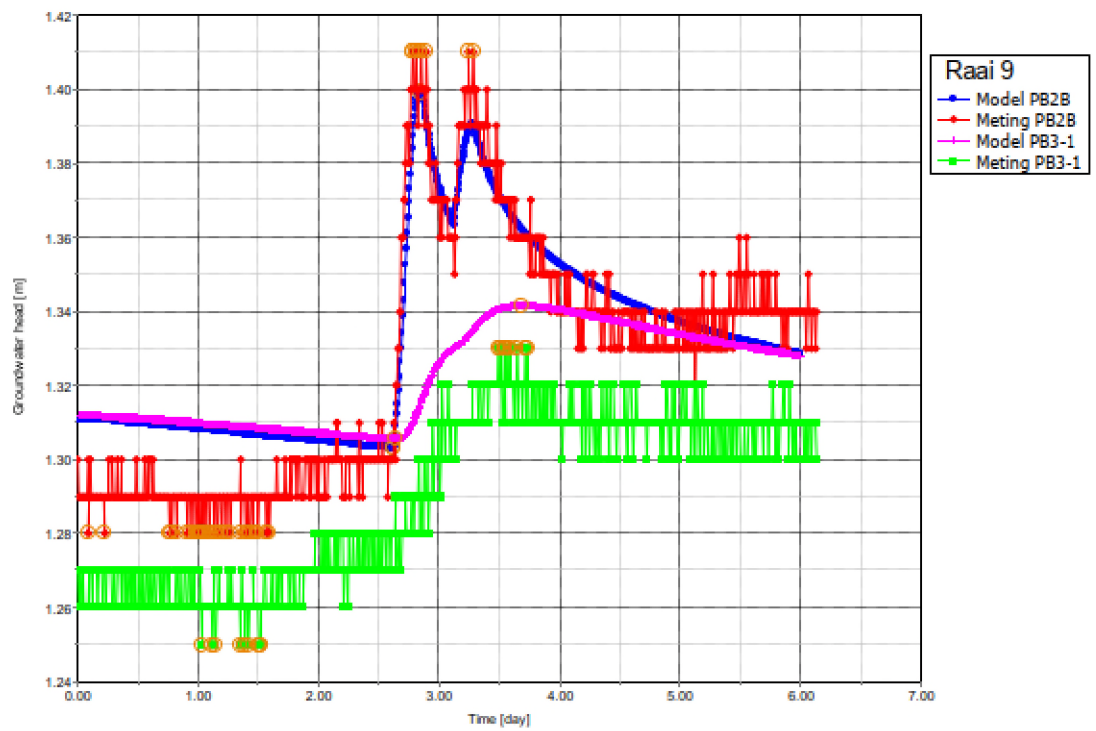




BIJLAGE: KALIBRATIES VERKENNINGSFASE



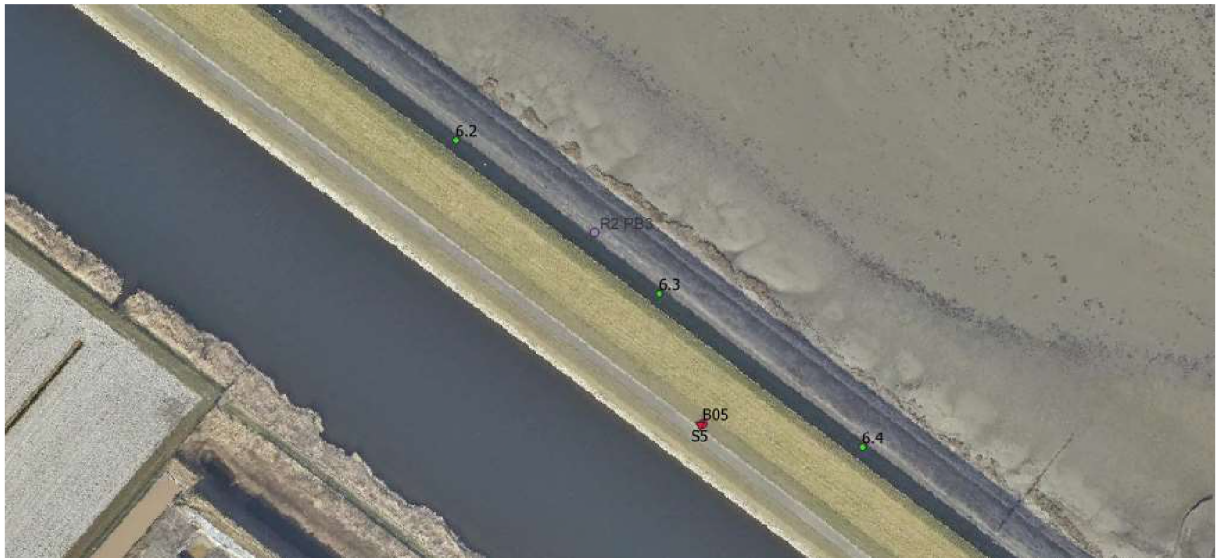






BIJLAGE: GRONDONDERZOEK RAAIEN 2, 3, 4 EN 5

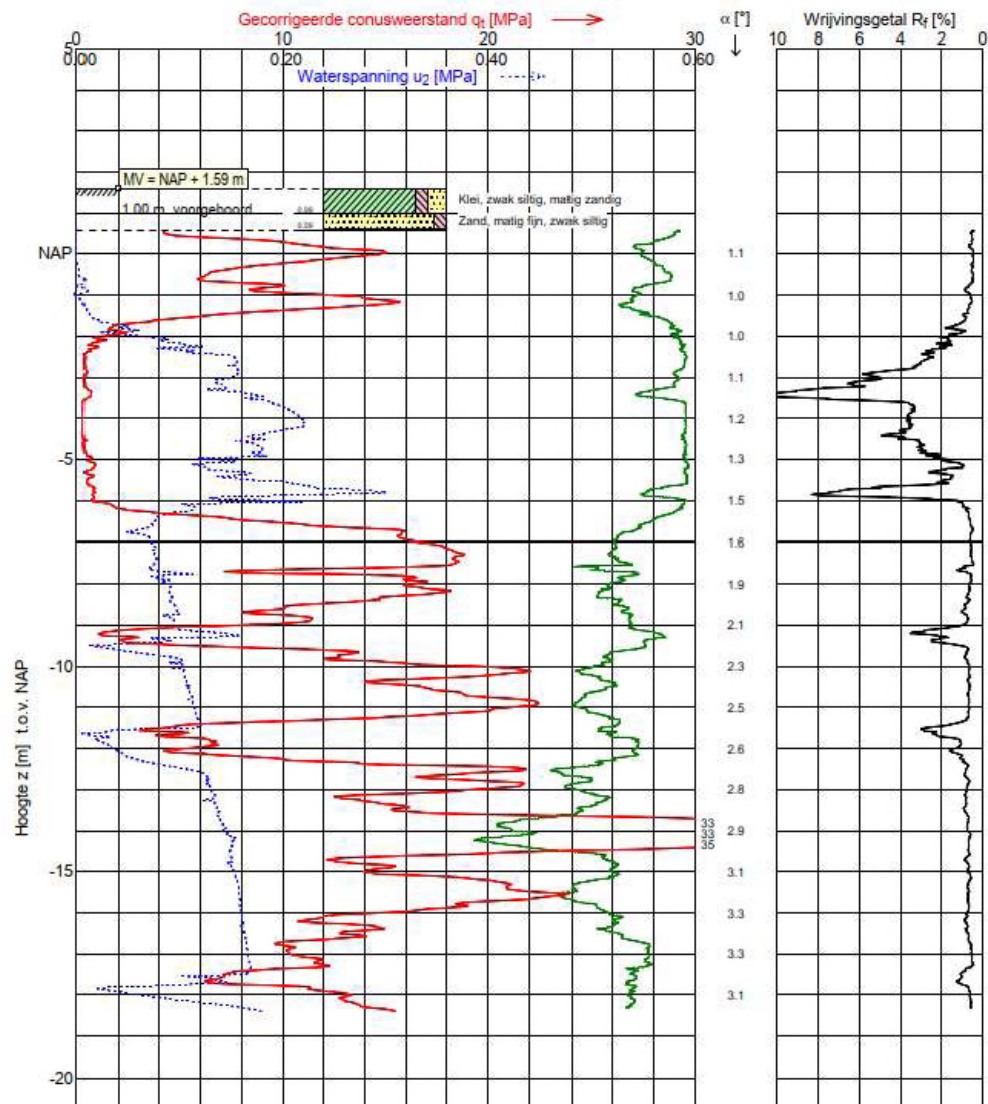
RAAI 2:



Sondering 5

Opdracht : 1602469 Conus nummer : S10-CFIIP.1414
 Plaats : Den Helder Soort conus : Elektrisch
 Datum : 30-09-2016 Opp. conuspunt : 1000 mm²
 Project : Balgzanddijk & Amsteldiepdiijk

NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : SW12
 Blad : 1 van 1

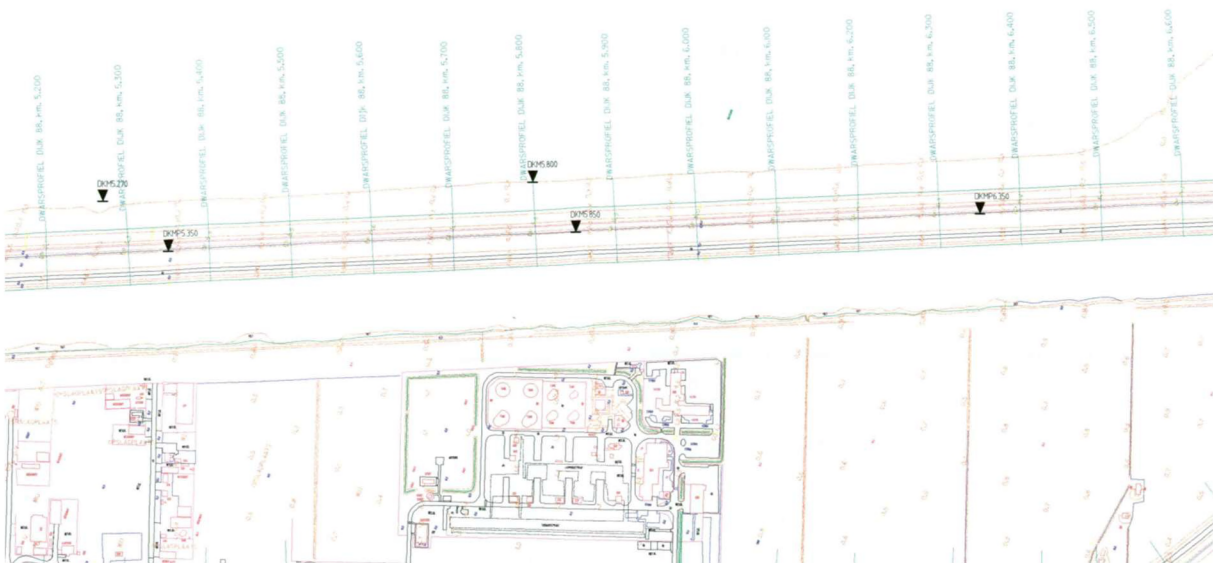


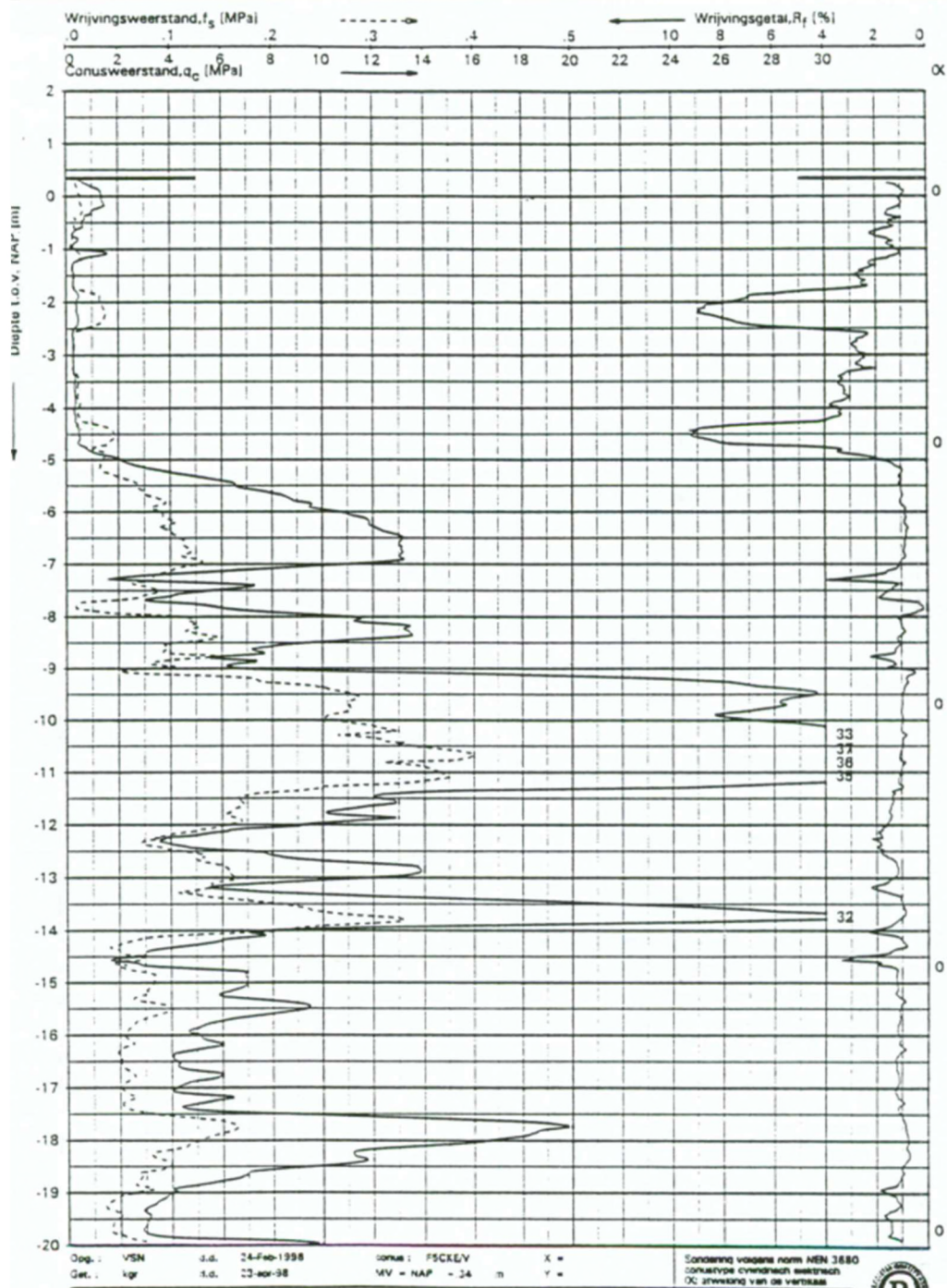
Opdracht : 1602469
Plaats : Hollands Kroon
Project : Grondonderzoek Balgzanddijk & Amsteldiepdijk

BORING : B05

Datum : 18-10-2016 X : 115623.710 Boormeester : CH
GWS : NAP -0.44 m Y : 548076.230 Beschrijver : CH
Maaiveld : NAP +1.66 m Norm : NEN5104
GHG, GLG : NAP +0.16 m, NAP -0.64 m Opmerking : = veld/lab beschrijving

Boorprofiel	Laag nr.	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag	Kleur
	1	+1.66 +1.36	Klei, matig humeus, zwak zandig (matig fijn)	bruin
	2	+1.36 +0.66	Klei, matig zandig (matig fijn)	bruin
	3	+0.66 -0.54	Zand, matig fijn, matig siltig	grijsbruin
	4	-0.54 -1.94	Zand, matig fijn, matig siltig, matig schelpengruishoudend	grijs
	5	-1.94 -2.29	Monster nr. 1223	grijs
	6	-2.29 -2.44	Klei, sterk zandig (matig fijn), sterk siltig, zwak schelpengruishoudend	grijs
	7	-2.44 -2.94	Klei, sterk siltig	grijs
	8	-2.94 -3.21	Monster nr. 1224	grijs
	9	-3.21 -3.34	Veen, zwak zandig (zeer fijn)	bruin
	10	-3.34 -3.44	Klei, zwak humeus	grijs
	11	-3.44 -3.77	Monster nr. 1225	bruin
	12	-3.77 -4.34	Klei, zwak humeus	grijs
	13	-4.34 -4.54	Klei, matig zandig (zeer fijn)	grijs
	14	-4.54 -4.92	Monster nr. 1226	grijs
	15	-4.92 -5.54	Klei, matig zandig (zeer fijn)	grijs
	16	-5.54 -5.89	Monster nr. 1227	grijs
	17	-5.89 -6.04	Veen, mineraalarm	bruin
	18	-6.04 -6.34	Zand, zeer fijn, sterk humeus, sterk siltig	bruin
	19	-6.34 -6.64	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	20	-6.64 -6.94	Monster nr. 1228	grijs
	21	-6.94 -7.34	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	22	-7.34 -7.84	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	23	-7.84 -8.12	Monster nr. 1229	grijs
	24	-8.12 -8.34	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	25	-8.34 -9.14	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	26	-9.14 -9.34	Zand, zeer fijn, zwak humeus, sterk siltig	grijs



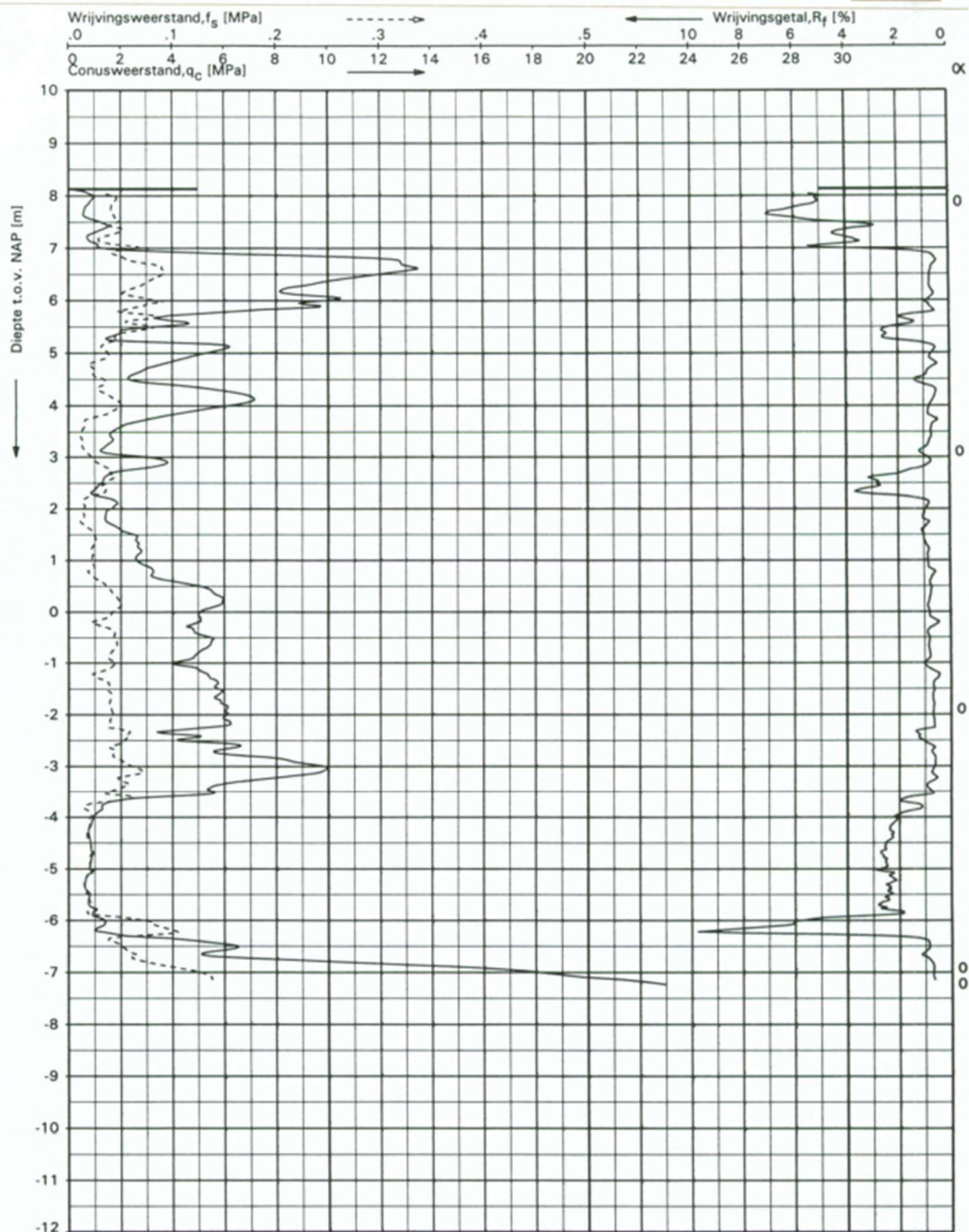


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

DIJKONDERZOEK BALGANODDIJK EWIJKSLUIS

Opdr. U-1028
 Sond. DKM 5.300BU





Opg. : VSN d.d. 27-Feb-1998 conus : F7.5CKEW₁/V X =
 Get. : KGR d.d. 3-apr-98 MV = NAP + 8.13 m V =

Sondering volgens norm NEN 3680
 conustype cilindrisch elektrisch
 OC: afwijking van de vertikaal

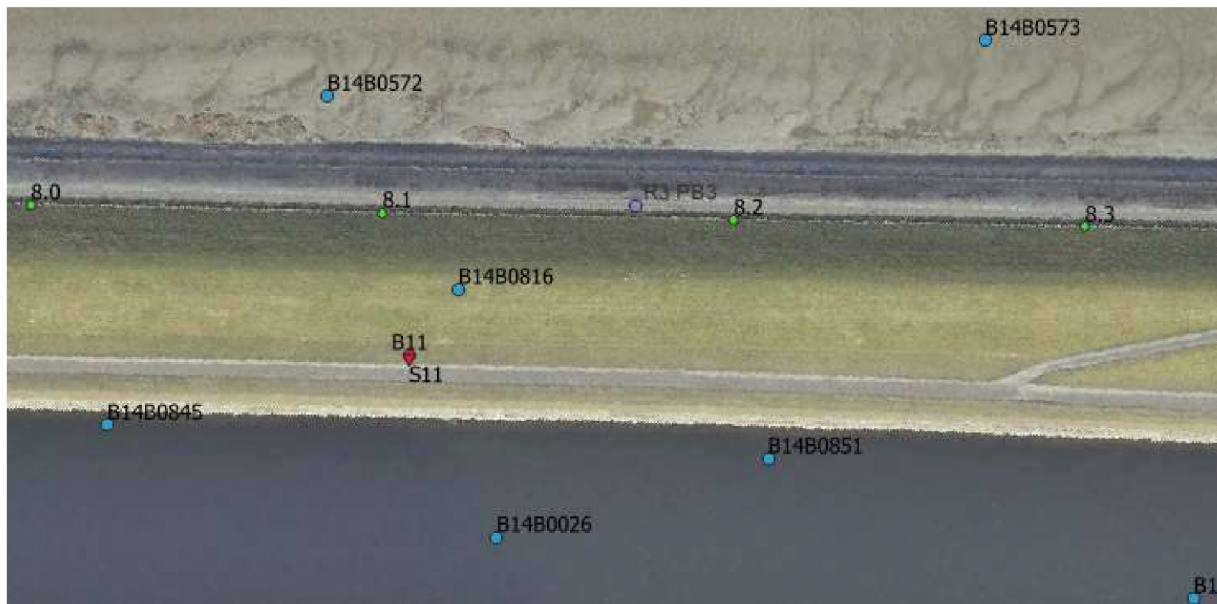


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

DIJKONDERZOEK BALGZANDDIJK EWIJLSLUIS

Opdr. U-1028
 Sond. DKMP 6.350KR

RAAI 3:



Soil investigation

[BOREHOLE #221057] - B14B0572

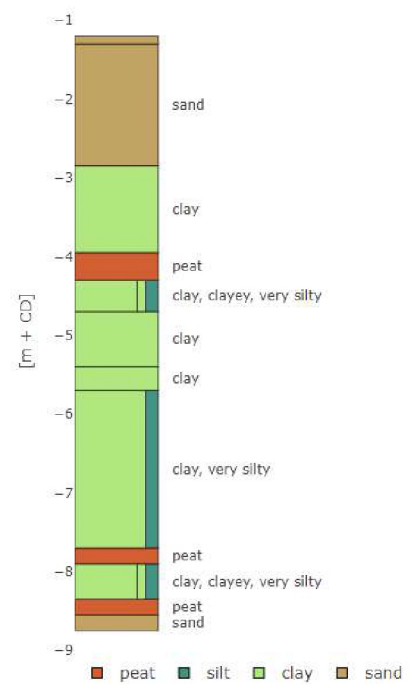
[BOREHOLE](#) [BRO](#) [see on map](#)

Metadata of this investigation.

Coordinates -7, - [crs: RD]

Surface level [m + NAP] -1.2

[See other investigations](#)



Soil investigation

[BOREHOLE #221295] - B14B0816

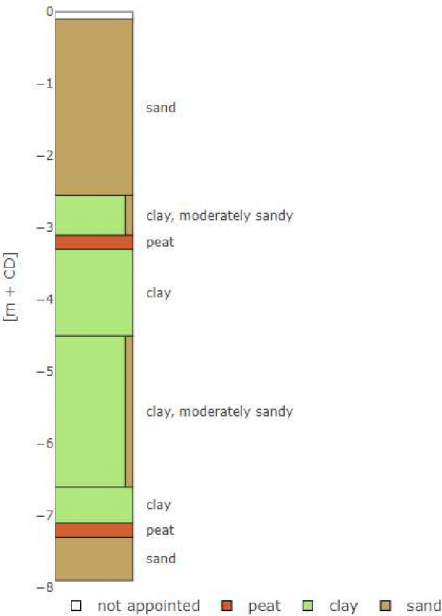
BOREHOLE BRO see on map

Metadata of this investigation.

Coordinates - , - [crs: RD]

Surface level [m + NAP] 0.0

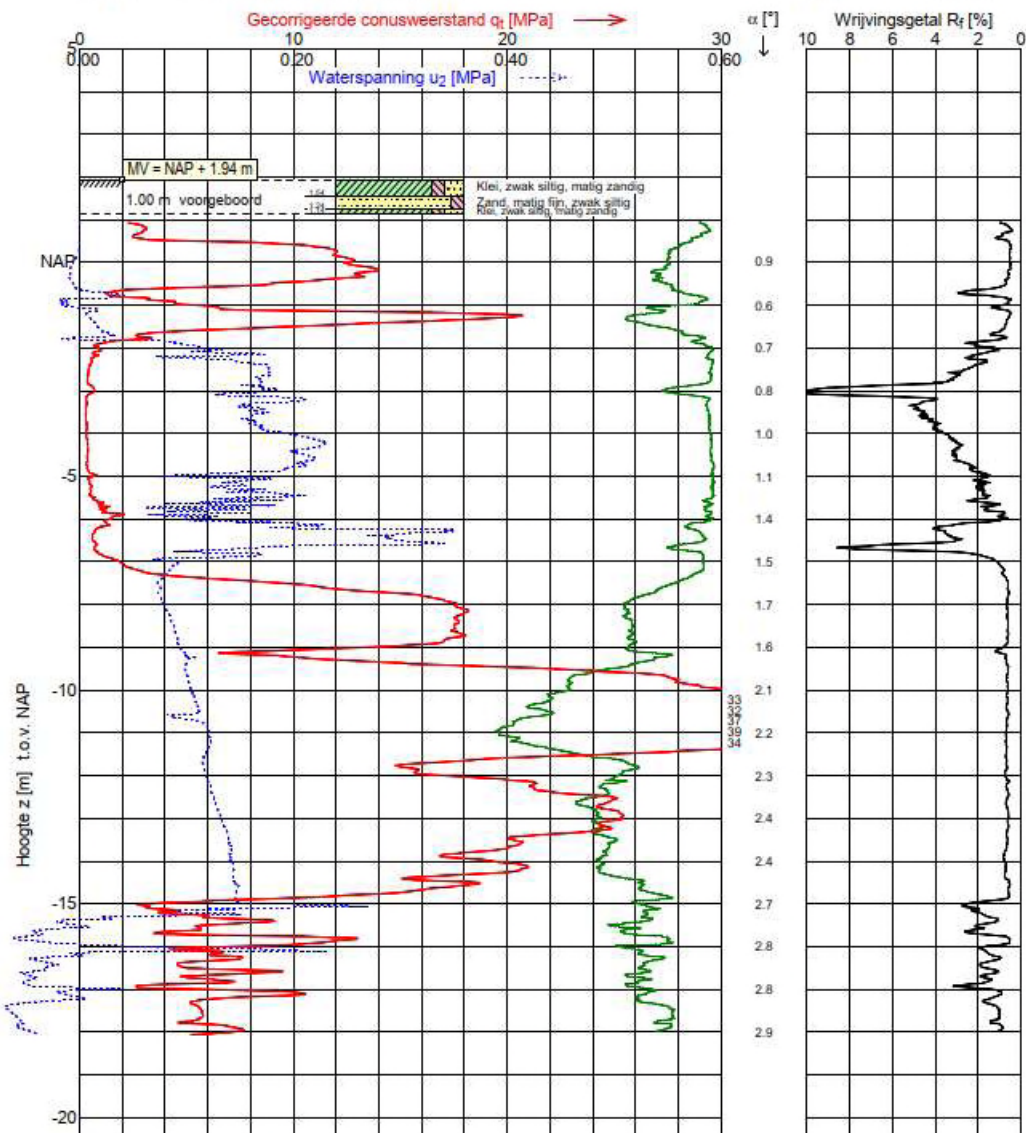
See other investigations



Sondering 11

Opdracht : 1602469 Conus nummer : S10-CFIIP.1414
 Plaats : Den Helder Soort conus : Elektrisch
 Datum : 04-10-2016 Opp. conuspunt : 1000 mm²
 Project : Balgzanddijk & Amsteldiepdijk

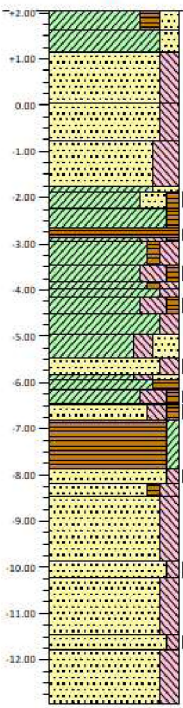
NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : SW12
 Blad : 1 van 1



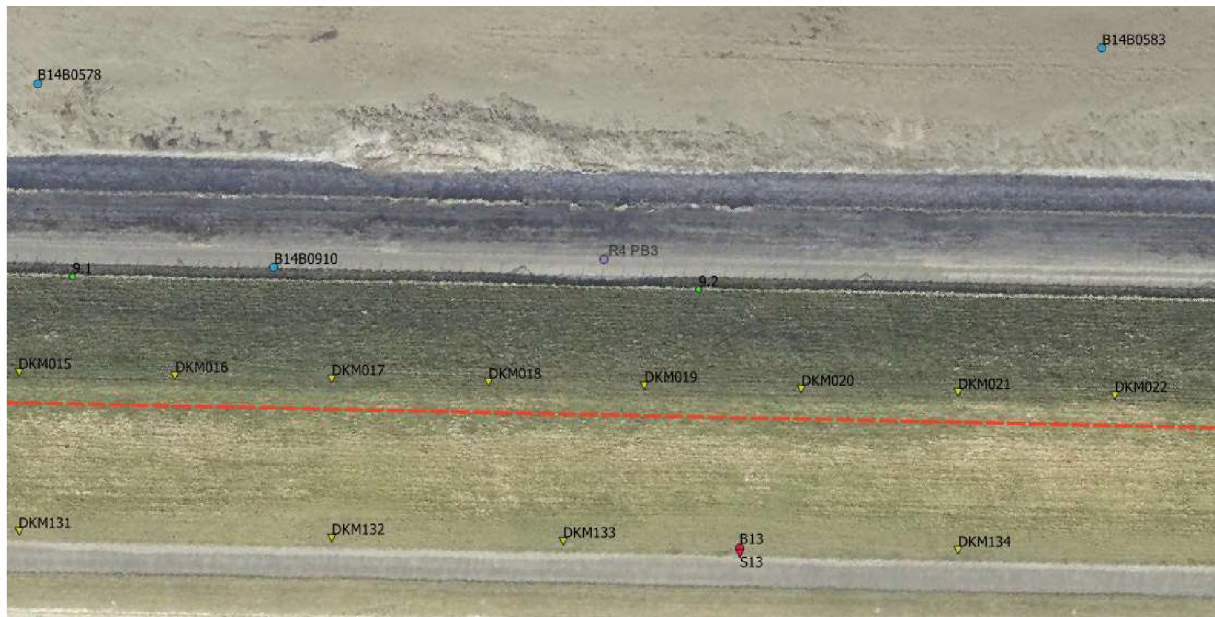
Opdracht : 1602469
 Plaats : Hollands Kroon
 Project : Grondonderzoek Balgzanddijk & Amsteldiepdijk

BORING : B11

Datum : 21-10-2016 X : 116753.250 Boormeester : CH
 GWS : NAP -0.56 m Y : 546794.380 Beschrijver : CH
 Maaiveld : NAP +2.04 m Norm : NEN5104
 Opmerking : = veld/lab beschrijving

Boorprofiel	Laag nr.	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag	Kleur
	1	+2.04 +1.64	Klei, matig humeus, matig zandig (matig fijn)	bruin
	2	+1.64 +1.14	Klei, matig zandig (matig fijn)	bruin
	3	+1.14 +0.04	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	4	+0.04 -0.76	Zand, matig fijn, matig siltig, zwak schelpengruishoudend	grijs
	5	-0.76 -1.76	Zand, matig fijn, sterk siltig	grijs
	6	-1.76 -1.86	Klei, sterk zandig (matig fijn), zwak schelpengruishoudend	grijs
	7	-1.86 -2.23	Monster nr. 1242	grijs
	8	-2.23 -2.66	Klei, zwak humeus	grijs
	9	-2.66 -2.96	Monster nr. 1243	bruin
	10	-2.96 -3.46	Klei, zwak humeus, matig siltig	grijs
	11	-3.46 -3.81	Monster nr. 1244	grijs
	12	-3.81 -3.96	Klei, zwak humeus, matig siltig	grijs
	13	-3.96 -4.16	Klei, matig siltig	grijs
	14	-4.16 -4.50	Monster nr. 1245	grijs
	15	-4.50 -4.96	Klei, matig siltig	grijs
	16	-4.96 -5.46	Klei, matig siltig, sterk zandig (zeer fijn)	grijs
	17	-5.46 -5.83	Monster nr. 1246	grijs
	18	-5.83 -5.96	Klei, matig siltig, sterk zandig (zeer fijn)	grijs
	19	-5.96 -6.16	Klei, sterk humeus	bruin
	20	-6.16 -6.46	Monster nr. 1247	grijs
	21	-6.46 -6.81	Monster nr. 1248	bruin
	22	-6.81 -7.86	Veen, zwak kleiig	bruin
	23	-7.86 -8.18	Monster nr. 1249	grijs
	24	-8.18 -8.46	Zand, zeer fijn, zwak humeus, matig siltig	bruin
	25	-8.46 -9.86	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	26	-9.86 -10.24	Monster nr. 1250	grijs
	27	-10.24 -11.46	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs
	28	-11.46 -11.77	Monster nr. 1251	grijs
	29	-11.77 -12.96	Zand, matig fijn, matig siltig	grijs

RAAI 4:



Soil investigation

[BOREHOLE #221063] - B14B0578

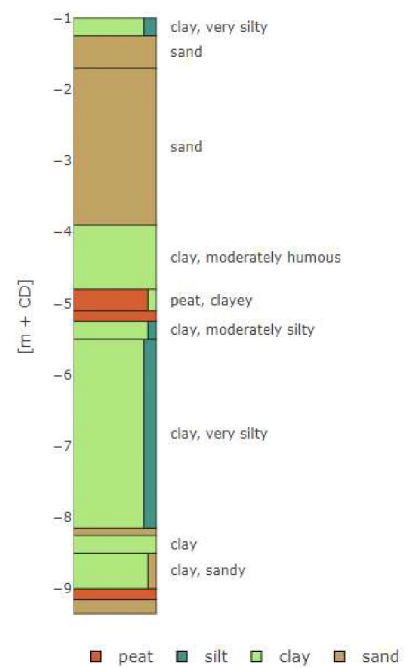
[BOREHOLE](#) [BRO](#) [see on map](#)

Metadata of this investigation.

Coordinates γ - [crs: RD]

Surface level [m + NAP] -1.0

[See other investigations](#)



Soil investigation

[BOREHOLE #221068] - B14B0583

BOREHOLE

BRO

[see on map](#)

Metadata of this investigation.

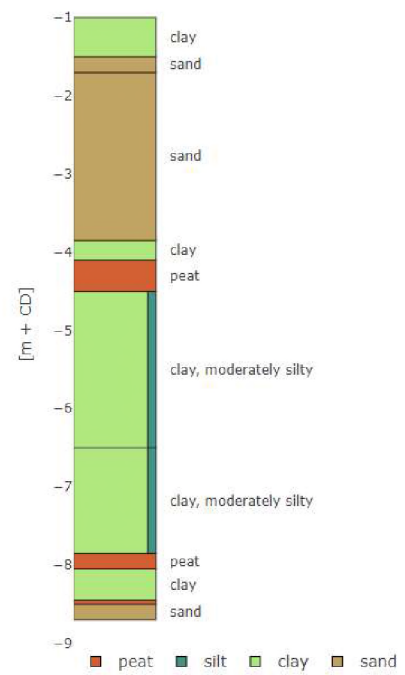
Coordinates

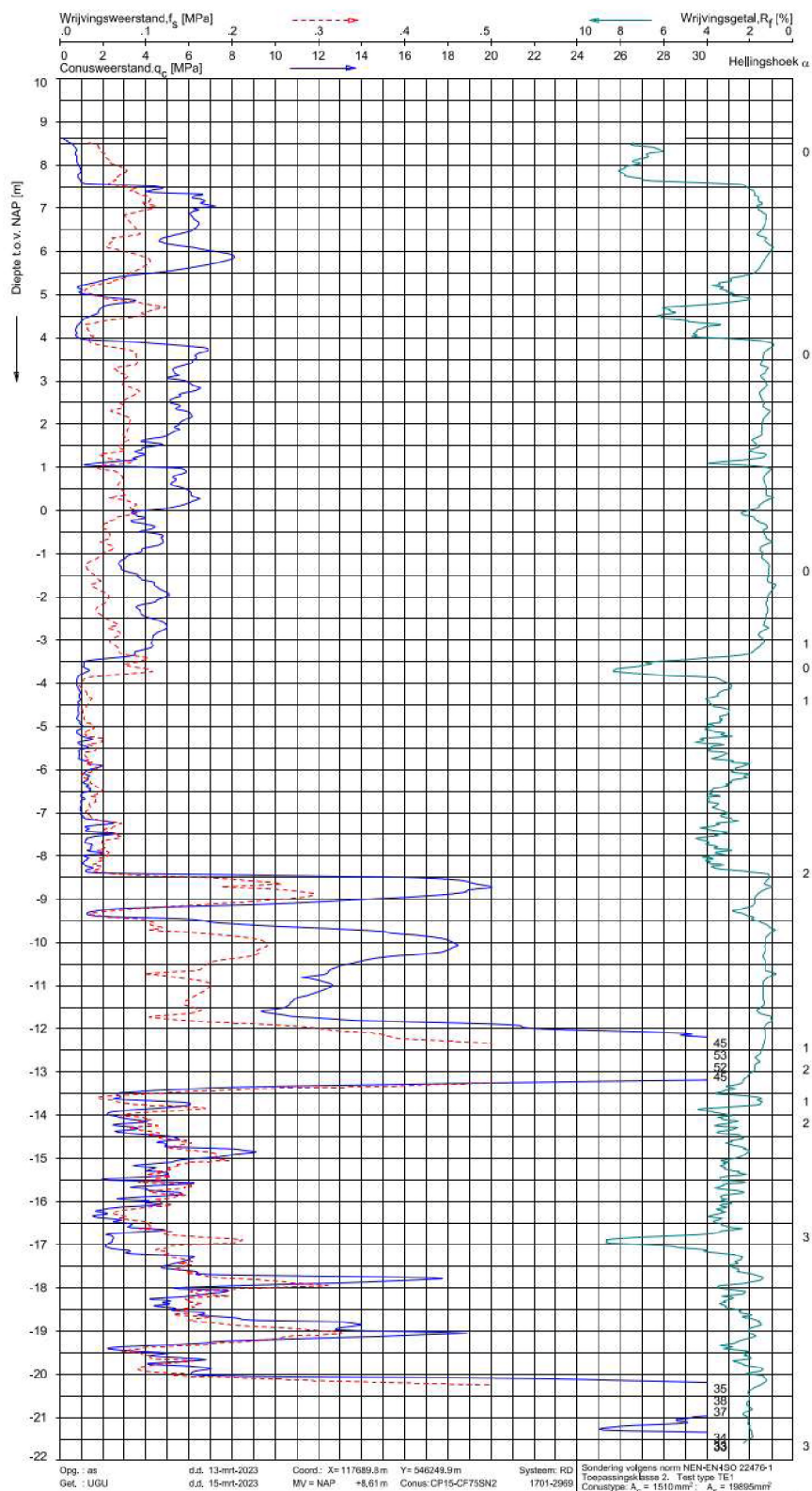
-1.0 [crs: RD]

Surface level [m + NAP]

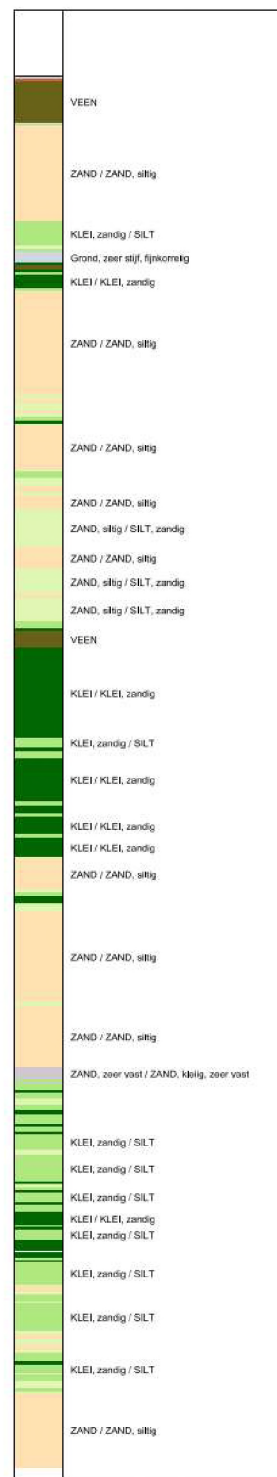
-1.0

[See other investigations](#)





Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data
 van de sondering, geldig onder
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

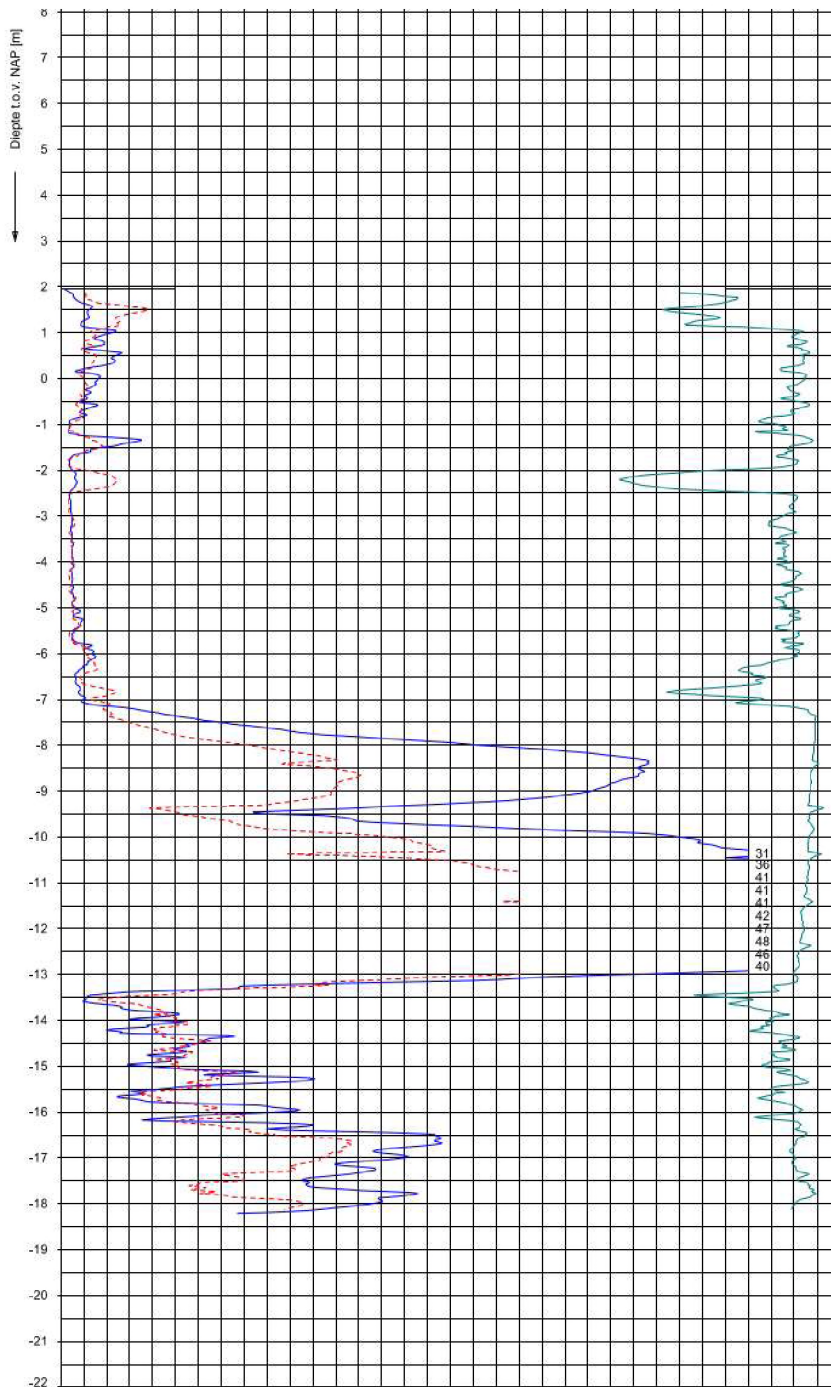


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK STBI BALGZANDDIJK

Opdr. 2423-230755
 Sond. DKM019

fugro

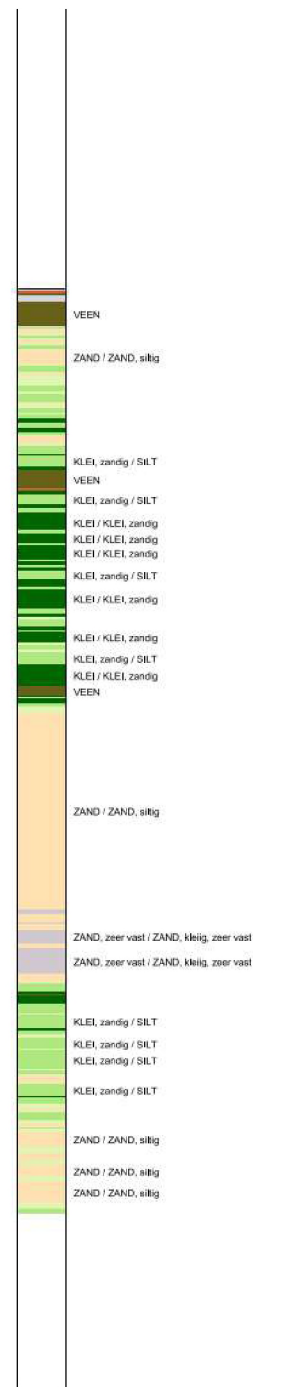


Opg : asclam
 Get. : UGU
 d.d. 21-mrt-2023
 d.d. 23-mrt-2023
 Coord.: X= 117866.1m
 MV = NAP
 Y= 546234.9m
 Conus: CP15-CF736N2
 Systeem: RD
 1701-2893
 Sounding volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 2, Test type TE1
 Conus type $A_{90} = 1510 \text{ mm}^2$; $A_{95} = 19895 \text{ mm}^2$

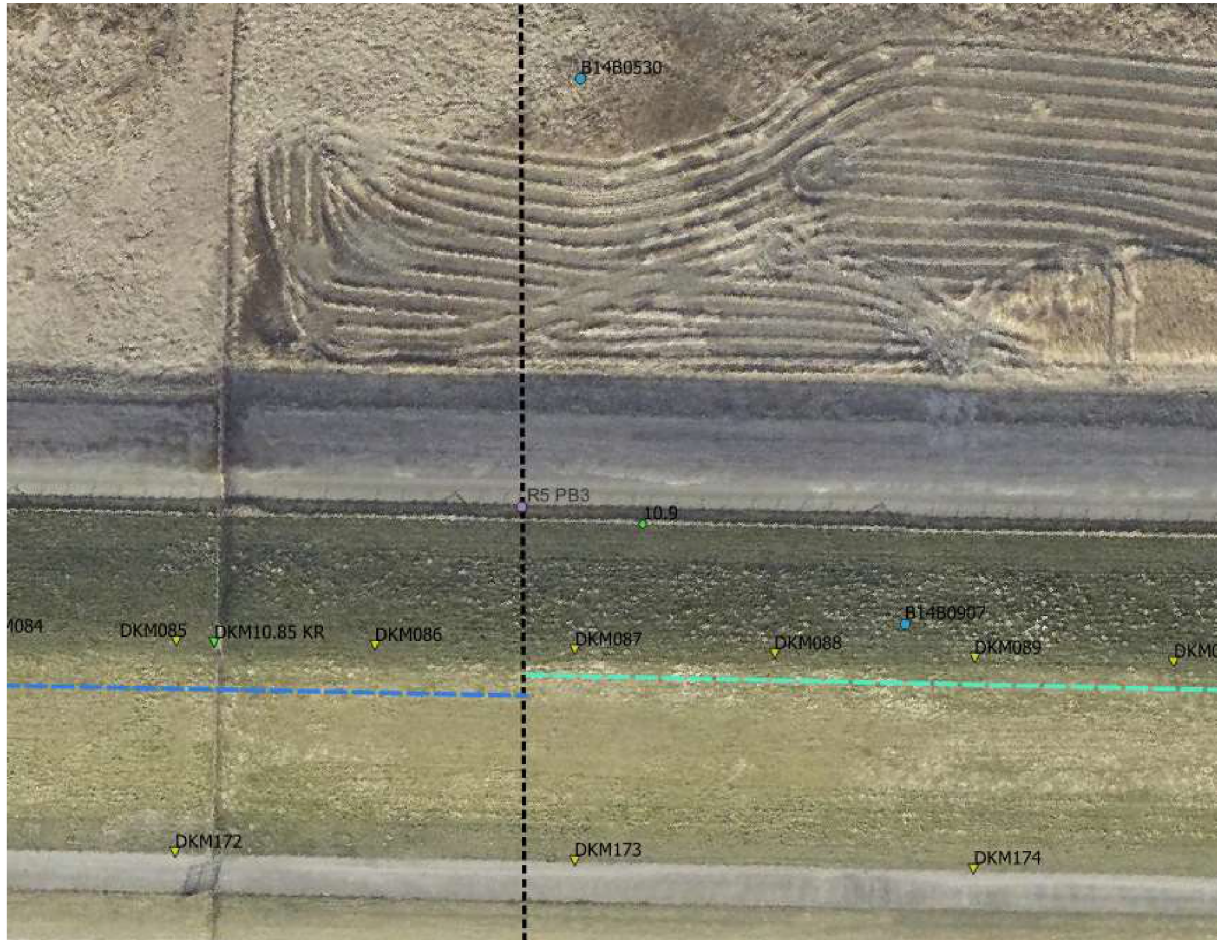
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK STBI BALGZANDDIJK

Opdr. 2423-230755
 Sond. DKM133



RAAI 5:



Soil investigation

[BOREHOLE #221015] - B14B0530

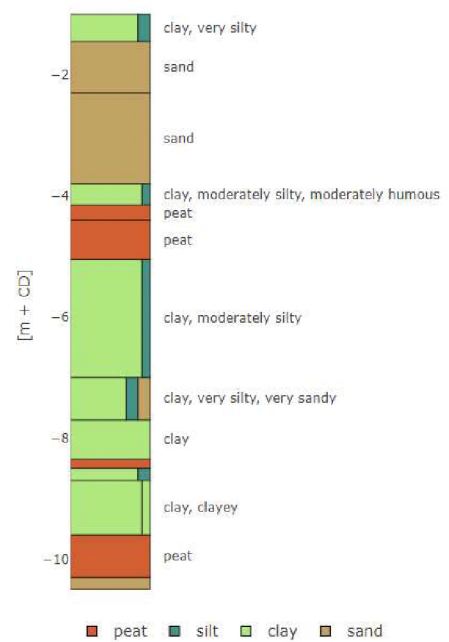
[BOREHOLE](#) [BRO](#) [see on map](#)

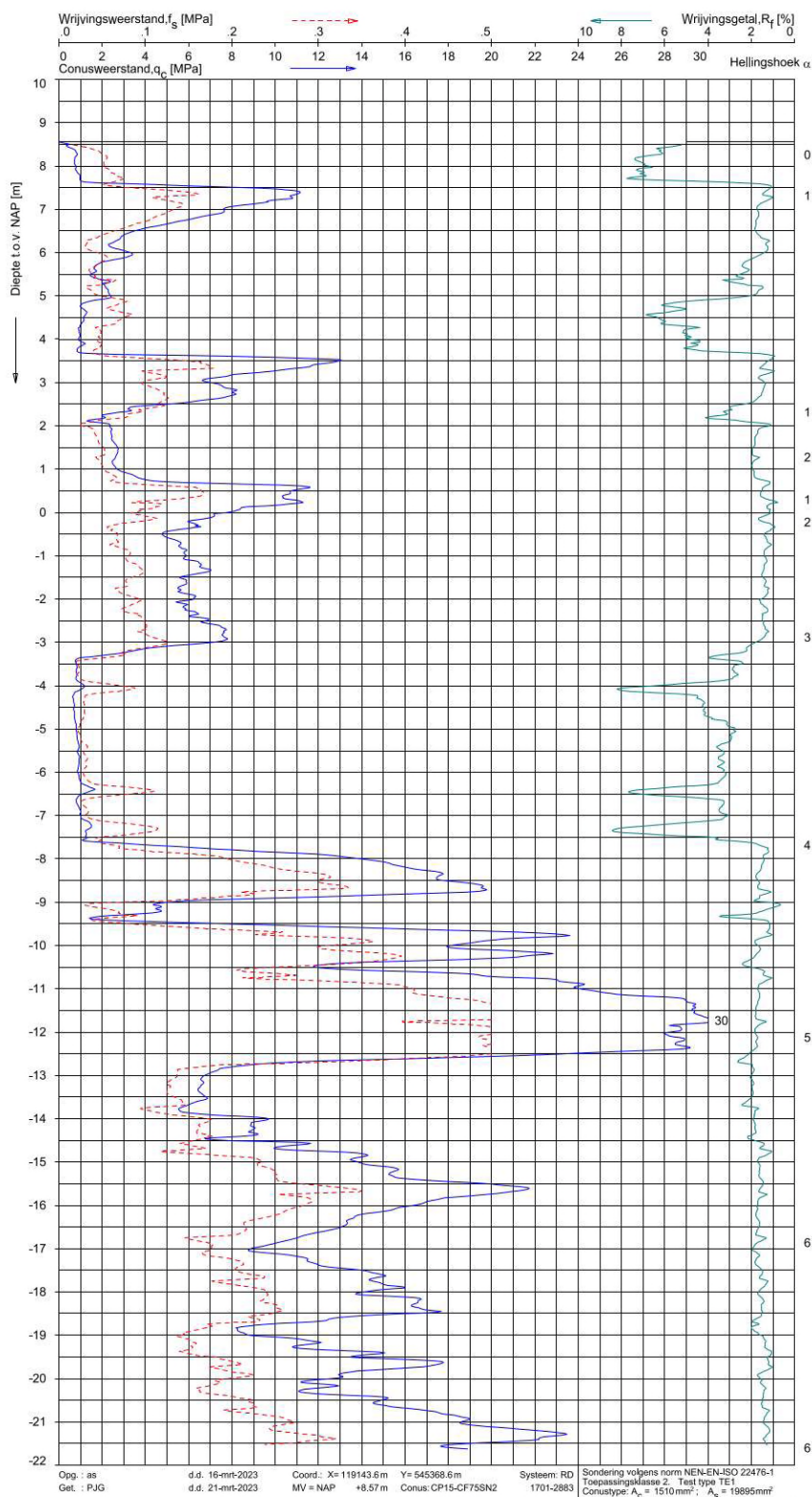
Metadata of this investigation.

Coordinates γ - [crs: RD]

Surface level [m + NAP] -1.0

[See other investigations](#)





Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

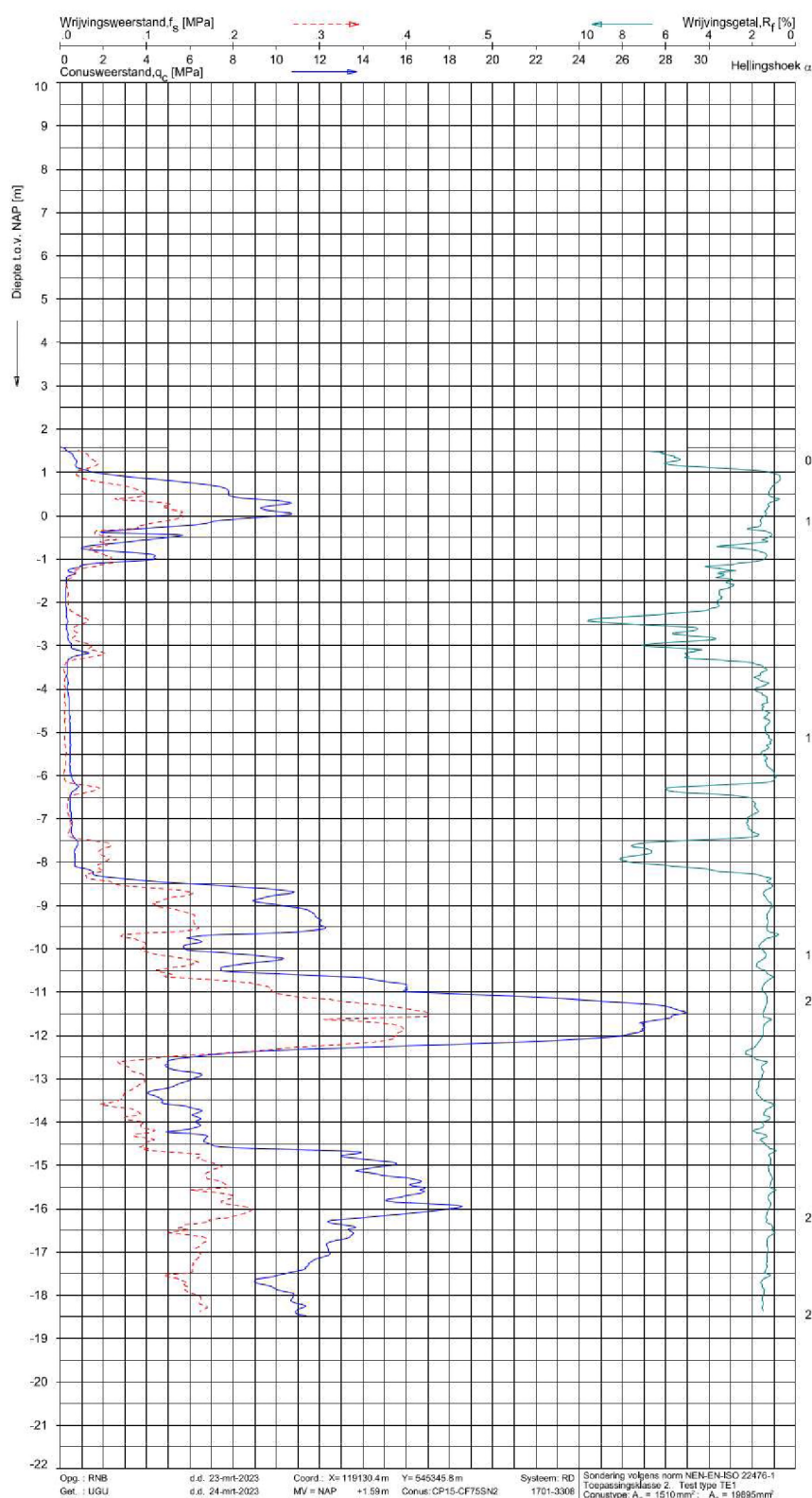


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

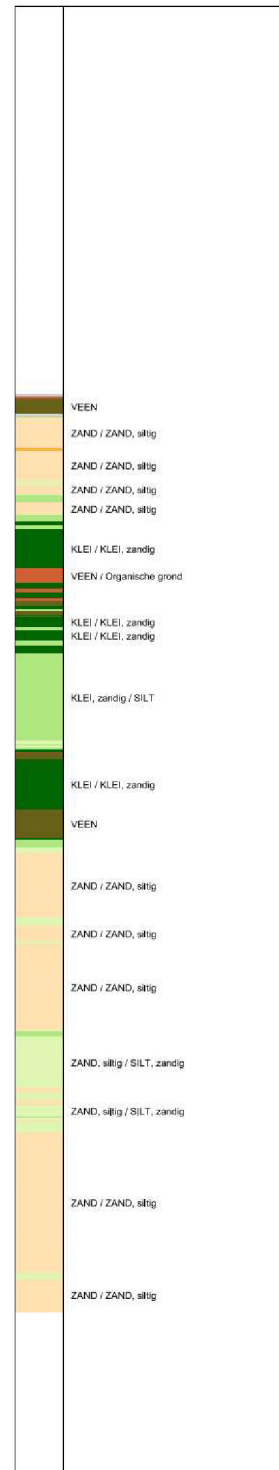
GEOTECHNISCH ONDERZOEK STBI BALGZANDDIJK

Opdr. 2423-230755
Sond. DKM087





Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK STBI BALGZANDDIJK

Opdr. 2423-230755
Sond. DKM173

fugro

IV

BIJLAGE: TOM VOOR GOLFKLAPPEN OP ASFALTBEKLEDING

Raai	Profiel	Van dp	Tot DP	Uitvoeringp nt	onderrand asfalt 2023	bodemdalin g	Onderrand asfalt 2073	Maximale FL (inclusief toeslag)	E.T. (onderrand asfalt hoger dan max FL)	Toets op Maat (golfkappen bij hoge FL)
1	DP 4.6.prfl	4.6	4.7	WZ_1.13-5.dk	2.33	0.10	2.23	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 4.7.prfl	4.7	4.8	WZ_1.13-5.dk	1.90	0.10	1.80	2.82	Valdoet niet	valdoet niet
1	DP 4.8.prfl	4.8	4.9	WZ_1.13-5.dk	1.85	0.10	1.75	2.82	Valdoet niet	valdoet niet
1	DP 4.9.prfl	4.9	5	WZ_1.13-5.dk	2.15	0.10	2.05	2.82	Valdoet niet	valdoet niet
1	DP 5.0.prfl	5	5.1	WZ_1.13-5.dk	2.14	0.10	2.04	2.82	Valdoet niet	valdoet niet
1	DP 5.1.prfl	5.1	5.2	WZ_1.13-5.dk	2.19	0.10	2.09	2.82	Valdoet niet	valdoet niet
1	DP 5.2.prfl	5.2	5.3	WZ_1.13-5.dk	2.21	0.10	2.11	2.82	Valdoet niet	valdoet niet
1	DP 5.3.prfl	5.3	5.4	WZ_1.13-5.dk	2.19	0.10	2.09	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 5.4.prfl	5.4	5.5	WZ_1.13-5.dk	2.23	0.10	2.13	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 5.5.prfl	5.5	5.6	WZ_1.13-5.dk	2.27	0.10	2.17	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 5.6.prfl	5.6	5.7	WZ_1.13-5.dk	2.33	0.10	2.23	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 5.7.prfl	5.7	5.8	WZ_1.13-5.dk	2.28	0.10	2.18	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 5.8.prfl	5.8	5.9	WZ_1.13-5.dk	2.23	0.10	2.13	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 5.9.prfl	5.9	6	WZ_1.13-5.dk	2.25	0.10	2.15	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 6.0.prfl	6	6.1	WZ_1.13-5.dk	2.24	0.10	2.14	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 6.1.prfl	6.1	6.2	WZ_1.13-5.dk	2.28	0.10	2.18	2.82	Valdoet niet	Valdoet
1	DP 6.2.prfl	6.2	6.3	WZ_1.13-5.dk	2.33	0.10	2.23	2.82	Valdoet niet	Valdoet
2	DP 6.3.prfl	6.3	6.4	WZ_1.13-5.dk	2.31	0.10	2.21	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
2	DP 6.4.prfl	6.4	6.5	WZ_1.13-5.dk	2.27	0.10	2.17	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
2	DP 6.5.prfl	6.5	6.6	WZ_1.13-5.dk	2.30	0.10	2.198	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
2	DP 6.6.prfl	6.6	6.7	WZ_1.13-5.dk	2.38	0.10	2.28	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
2	DP 6.7.prfl	6.7	6.8	WZ_1.13-5.dk	2.33	0.10	2.23	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
2	DP 6.8.prfl	6.8	6.9	WZ_1.13-5.dk	2.35	0.10	2.25	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
2	DP 6.9.prfl	6.9	7	WZ_1.13-5.dk	2.37	0.10	2.27	2.14	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.0.prfl	7	7.1	WZ_1.13-5.dk	3.26	0.10	3.16	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.1.prfl	7.1	7.2	WZ_1.13-5.dk	3.18	0.10	3.08	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.2.prfl	7.2	7.3	WZ_1.13-5.dk	3.09	0.10	2.99	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.3.prfl	7.3	7.4	WZ_1.13-5.dk	3.13	0.10	3.03	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.4.prfl	7.4	7.5	WZ_1.13-5.dk	3.21	0.10	3.11	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.5.prfl	7.5	7.6	WZ_1.13-5.dk	3.22	0.10	3.12	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.6.prfl	7.6	7.7	WZ_1.13-5.dk	3.22	0.10	3.12	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.7.prfl	7.7	7.8	WZ_1.13-5.dk	3.04	0.10	2.94	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.8.prfl	7.8	7.9	WZ_1.13-5.dk	2.92	0.10	2.82	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 7.9.prfl	7.9	8	WZ_1.13-5.dk	3.09	0.10	2.99	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 8.0.prfl	8	8.1	WZ_1.13-5.dk	3.13	0.10	3.03	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
3	DP 8.1.prfl	8.1	8.2	WZ_1.13-5.dk	3.14	0.10	3.04	2.39	Valdoet	Valdoet aan E.T.
4	DP 8.2.prfl	8.2	8.3	WZ_1.13-5.dk	3.11	0.10	3.01	2.535	Valdoet	Valdoet aan E.T.
4	DP 8.3.prfl	8.3	8.4	WZ_1.13-5.dk	3.13	0.10	3.03	2.68	Valdoet	Valdoet aan E.T.
4	DP 8.4.prfl	8.4	8.5	WZ_1.13-5.dk	3.10	0.10	3.00	2.825	Valdoet	Valdoet aan E.T.
4	DP 8.5.prfl	8.5	8.6	WZ_1.13-5.dk	3.13	0.10	3.03	2.97	Valdoet	Valdoet aan E.T.
4	DP 8.6.prfl	8.6	8.7	WZ_1.13-5.dk	3.18	0.10	3.08	3.115	Valdoet niet	Valdoet
4	DP 8.7.prfl	8.7	8.8	WZ_1.13-5.dk	3.21	0.10	3.11	3.26	Valdoet niet	Valdoet
4	DP 8.8.prfl	8.8	8.9	WZ_1.13-5.dk	3.21	0.10	3.11	3.405	Valdoet niet	Valdoet
4	DP 8.9.prfl	8.9	9	WZ_1.13-5.dk	3.11	0.10	3.01	3.55	Valdoet niet	Valdoet
4	DP 9.0.prfl	9	9.1	WZ_1.13-5.dk	3.22	0.10	3.12	3.695	Valdoet niet	Valdoet
4	DP 9.1.prfl	9.1	9.2	WZ_1.13-5.dk	3.16	0.10	3.06	3.84	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 9.2.prfl	9.2	9.3	WZ_1.13-5.dk	3.1	0.10	3.00	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.3.prfl	9.3	9.4	WZ_1.13-5.dk	3.06	0.10	2.96	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.4.prfl	9.4	9.5	WZ_1.13-5.dk	3.1	0.10	3.00	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.5.prfl	9.5	9.6	WZ_1.13-5.dk	3.01	0.10	2.91	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.6.prfl	9.6	9.7	WZ_1.13-5.dk	3.03	0.10	2.93	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.7.prfl	9.7	9.8	WZ_1.13-5.dk	3.05	0.10	2.95	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.8.prfl	9.8	9.9	WZ_1.13-5.dk	3.02	0.10	2.92	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 9.9.prfl	9.9	10	WZ_1.13-5.dk	3.05	0.10	2.95	4	Valdoet niet	valdoet niet
5	DP 10.0.prfl	10	10.1	WZ_1.13-5.dk	3.05	0.10	2.95	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.1.prfl	10.1	10.2	WZ_1.13-5.dk	3.14	0.10	3.04	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.2.prfl	10.2	10.3	WZ_1.13-5.dk	3.07	0.10	2.97	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.3.prfl	10.3	10.4	WZ_1.13-5.dk	2.99	0.10	2.89	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.4.prfl	10.4	10.5	WZ_1.13-5.dk	3.07	0.10	2.97	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.5.prfl	10.5	10.6	WZ_1.13-5.dk	3.19	0.10	3.09	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.6.prfl	10.6	10.7	WZ_1.13-5.dk	3.18	0.10	3.08	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.7.prfl	10.7	10.8	WZ_1.13-5.dk	3.11	0.10	3.01	4	Valdoet niet	Valdoet
5	DP 10.8.prfl	10.8	10.9	WZ_1.13-5.dk	2.98	0.10	2.88	4	Valdoet niet	Valdoet
6	DP 10.9.prfl	10.9	11	WZ_1.13-5.dk	2.96	0.10	2.86	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.0.prfl	11	11.1	WZ_1.13-5.dk	3.05	0.10	2.95	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.1.prfl	11.1	11.2	WZ_1.13-5.dk	3.1	0.10	3.00	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.2.prfl	11.2	11.3	WZ_1.13-5.dk	3.1	0.10	3.00	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.3.prfl	11.3	11.4	WZ_1.13-5.dk	2.59	0.10	2.49	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.4.prfl	11.4	11.5	WZ_1.13-5.dk	2.58	0.10	2.48	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.5.prfl	11.5	11.6	WZ_1.13-5.dk	2.59	0.10	2.49	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.6.prfl	11.6	11.7	WZ_1.13-5.dk	2.55	0.10	2.45	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.7.prfl	11.7	11.8	WZ_1.13-5.dk	2.62	0.10	2.52	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.8.prfl	11.8	11.9	WZ_1.13-5.dk	2.77	0.10	2.67	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 11.9.prfl	11.9	12	WZ_1.13-5.dk	2.94	0.10	2.84	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 12.0.prfl	12	12.1	WZ_1.13-5.dk	3.01	0.10	2.91	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 12.1.prfl	12.1	12.2	WZ_1.13-5.dk	2.92	0.10	2.82	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 12.2.prfl	12.2	12.3	WZ_1.13-5.dk	2.82	0.10	2.72	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 12.3.prfl	12.3	12.4	WZ_1.13-5.dk	3.06	0.10	2.96	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
6	DP 12.4.prfl	12.4	12.5	WZ_1.13-5.dk	2.96	0.10	2.86	4.05	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 12.5.prfl	12.5	12.6	WZ_1.13-5.dk	3	0.10	2.90	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 12.6.prfl	12.6	12.7	WZ_1.13-5.dk	3.03	0.10	2.93	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 12.7.prfl	12.7	12.8	WZ_1.13-5.dk	3.01	0.10	2.91	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 12.8.prfl	12.8	12.9	WZ_1.13-5.dk	3.02	0.10	2.92	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 12.9.prfl	12.9	13	WZ_1.13-5.dk	3.045	0.10	2.95	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.0.prfl	13	13.1	WZ_1.13-5.dk	2.86	0.10	2.76	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.1.prfl	13.1	13.2	WZ_1.13-5.dk	2.24	0.10	2.14	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.2.prfl	13.2	13.3	WZ_1.13-5.dk	2.32	0.10	2.22	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.3.prfl	13.3	13.4	WZ_1.13-5.dk	2.51	0.10	2.41	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.4.prfl	13.4	13.5	WZ_1.13-5.dk	2.82	0.10	2.72	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.5.prfl	13.5	13.6	WZ_1.13-5.dk	3.06	0.10	2.96	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.6.prfl	13.6	13.7	WZ_1.13-5.dk	3.18	0.10	3.08	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.7.prfl	13.7	13.8	WZ_1.13-5.dk	3.08	0.10	2.98	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.8.prfl	13.8	13.9	WZ_1.13-5.dk	3.1	0.10	3.00	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 13.9.prfl	13.9	14	WZ_1.13-5.dk	3.18	0.10	3.08	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.0.prfl	14	14.1	WZ_1.13-5.dk	3.31	0.10	3.21	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.1.prfl	14.1	14.2	WZ_1.13-5.dk	2.27	0.10	2.17	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.2.prfl	14.2	14.3	WZ_1.13-5.dk	3.3	0.10	3.20	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.3.prfl	14.3	14.4	WZ_1.13-5.dk	3.41	0.10	3.31	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.4.prfl	14.4	14.5	WZ_1.13-5.dk	3.36	0.10	3.26	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.5.prfl	14.5	14.6	WZ_1.13-5.dk	3.32	0.10	3.22	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
7	DP 14.6.prfl	14.6	14.7	WZ_1.13-5.dk	3.26	0.10	3.16	4.8	Valdoet niet	valdoet niet

7	DP_14.7.prf	14.7	14.8	WZ_1.13-5.dk	3.31	0.10	3.21	4.8	Valdoet niet	valdoet niet
8	DP_14.9.prf	14.9	15		Geen asfalt	0.10		2.22	Geen asfalt	Geen asfalt
8	DP_15.0.prf	15	15.1		Geen asfalt	0.10		2.22	Geen asfalt	Geen asfalt
8	DP_15.1.prf	15.1	15.2		Geen asfalt	0.10		2.22	Geen asfalt	Geen asfalt
8	DP_15.2.prf	15.2	15.3		Geen asfalt	0.10		2.22	Geen asfalt	Geen asfalt
8	DP_15.3.prf	15.3	15.4		Geen asfalt	0.10		2.22	Geen asfalt	Geen asfalt
8	DP_15.4.prf	15.4	15.5		Geen asfalt	0.10		2.22	Geen asfalt	Geen asfalt
8	DP_15.5.prf	15.5	15.6		4.48	0.10	4.38	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_15.6.prf	15.6	15.7		2.37	0.10	2.27	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_15.7.prf	15.7	15.8		2.42	0.10	2.32	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_15.8.prf	15.8	15.9		2.4	0.10	2.30	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_15.9.prf	15.9	16		2.42	0.10	2.32	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_16.0.prf	16	16.1		2.41	0.10	2.31	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_16.1.prf	16.1	16.2		2.39	0.10	2.29	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
8	DP_16.2.prf	16.2	16.3		2.42	0.10	2.32	2.22	Valdoet	Valdoet aan E.T.
9	DP_16.3.prf	16.3	16.4		2.38	0.10	2.28	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_16.4.prf	16.4	16.5		2.36	0.10	2.26	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_16.5.prf	16.5	16.6		2.45	0.10	2.35	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_16.6.prf	16.6	16.7		2.44	0.10	2.34	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_16.7.prf	16.7	16.8		2.41	0.10	2.31	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_16.8.prf	16.8	16.9		2.44	0.10	2.34	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_16.9.prf	16.9	17		2.3	0.10	2.20	2.42	Valdoet niet	valdoet niet
9	DP_17.0.prf	17	17.1		2.35	0.10	2.25	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.1.prf	17.1	17.2		2.36	0.10	2.26	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.2.prf	17.2	17.3		2.46	0.10	2.36	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.3.prf	17.3	17.4		2.38	0.10	2.28	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.4.prf	17.4	17.5		2.43	0.10	2.33	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.5.prf	17.5	17.6		2.28	0.10	2.18	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.6.prf	17.6	17.7		2.38	0.10	2.28	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.7.prf	17.7	17.8		2.35	0.10	2.25	2.42	Valdoet niet	Valdoet
9	DP_17.8.prf	17.8	17.9		2.39	0.10	2.29	2.42	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_17.9.prf	17.9	18		2.4	0.10	2.30	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_18.0.prf	18	18.1		2.34	0.10	2.24	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_18.1.prf	18.1	18.2		2.35	0.10	2.25	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_18.2.prf	18.2	18.3		2.42	0.10	2.32	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_18.3.prf	18.3	18.4		2.4	0.10	2.30	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_18.4.prf	18.4	18.5		2.36	0.10	2.26	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_18.5.prf	18.5	18.6		2.39	0.10	2.29	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_18.6.prf	18.6	18.7		2.4	0.10	2.30	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_18.7.prf	18.7	18.8		2.3	0.10	2.20	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_18.8.prf	18.8	18.9		2.3	0.10	2.20	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_18.9.prf	18.9	19		2.28	0.10	2.18	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.0.prf	19	19.1		2.3	0.10	2.20	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.1.prf	19.1	19.2		2.32	0.10	2.22	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.2.prf	19.2	19.3		2.33	0.10	2.23	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.3.prf	19.3	19.4		2.33	0.10	2.23	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.4.prf	19.4	19.5		2.39	0.10	2.29	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.5.prf	19.5	19.6		2.38	0.10	2.28	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.6.prf	19.6	19.7		2.36	0.10	2.26	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.7.prf	19.7	19.8		2.32	0.10	2.22	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.8.prf	19.8	19.9		2.34	0.10	2.24	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_19.9.prf	19.9	20		2.395	0.10	2.30	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_20.0.prf	20	20.1		2.45	0.10	2.35	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.1.prf	20.1	20.2		2.41	0.10	2.31	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_20.2.prf	20.2	20.3		2.39	0.10	2.29	2.83	Valdoet niet	valdoet niet
10	DP_20.3.prf	20.3	20.4		2.5	0.10	2.40	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.4.prf	20.4	20.5		2.45	0.10	2.35	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.5.prf	20.5	20.6		2.46	0.10	2.36	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.6.prf	20.6	20.7		2.49	0.10	2.39	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.7.prf	20.7	20.8		2.48	0.10	2.38	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.8.prf	20.8	20.9		2.44	0.10	2.34	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_20.9.prf	20.9	21		2.45	0.10	2.35	2.83	Valdoet niet	Valdoet
10	DP_21.0.prf	21	21.1		2.48	0.10	2.38	2.83	Valdoet niet	Valdoet
11	DP_21.1.prf	21.1	21.2		2.41	0.10	2.31	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_21.2.prf	21.2	21.3		2.48	0.10	2.38	2.87	Valdoet niet	Valdoet
11	DP_21.3.prf	21.3	21.4		2.49	0.10	2.39	2.87	Valdoet niet	Valdoet
11	DP_21.4.prf	21.4	21.5		2.4	0.10	2.30	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_21.5.prf	21.5	21.6		2.62	0.10	2.52	2.87	Valdoet niet	Valdoet
11	DP_21.6.prf	21.6	21.7		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_21.7.prf	21.7	21.8		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_21.8.prf	21.8	21.9		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_21.9.prf	21.9	22		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_22.0.prf	22	22.1		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_22.1.prf	22.1	22.2		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_22.2.prf	22.2	22.3		2.4	0.10	2.30	2.87	Valdoet niet	Valdoet
11	DP_22.3.prf	22.3	22.4		1.52	0.10	1.42	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_22.4.prf	22.4	22.5		2.23	0.10	2.13	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_22.5.prf	22.5	22.6		2.19	0.10	2.09	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_22.6.prf	22.6	22.7		1.98	0.10	1.88	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_22.7.prf	22.7	22.8		2.3	0.10	2.20	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_22.8.prf	22.8	22.9		2.29	0.10	2.19	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_22.9.prf	22.9	23		2.34	0.10	2.24	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_23.0.prf	23	23.1		2.31	0.10	2.21	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_23.1.prf	23.1	23.2		geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.2.prf	23.2	23.3		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.3.prf	23.3	23.4		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.4.prf	23.4	23.5		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.5.prf	23.5	23.6		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.6.prf	23.6	23.7		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.7.prf	23.7	23.8		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.8.prf	23.8	23.9		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_23.9.prf	23.9	24		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_24.0.prf	24	24.1		Geen asfalt	0.10		2.87	Geen asfalt	Geen asfalt
11	DP_24.1.prf	24.1	24.2		2.23	0.10	2.13	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.2.prf	24.2	24.3		2.21	0.10	2.11	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.3.prf	24.3	24.4		2.21	0.10	2.11	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.4.prf	24.4	24.5		2.3	0.10	2.20	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.5.prf	24.5	24.6		2.21	0.10	2.11	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.6.prf	24.6	24.7		2.24	0.10	2.14	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.7.prf	24.7	24.8		2.23	0.10	2.13	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.8.prf	24.8	24.9		2.2	0.10	2.10	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_24.9.prf	24.9	25		2.73	0.10	2.63	2.87	Valdoet niet	Valdoet
11	DP_25.0.prf	25	25.1		2.21	0.10	2.11	2.87	Valdoet niet	valdoet niet
11	DP_25.1.prf	25.1	25.2		2.25	0.10	2.15	2.87	Valdoet niet	valdoet niet

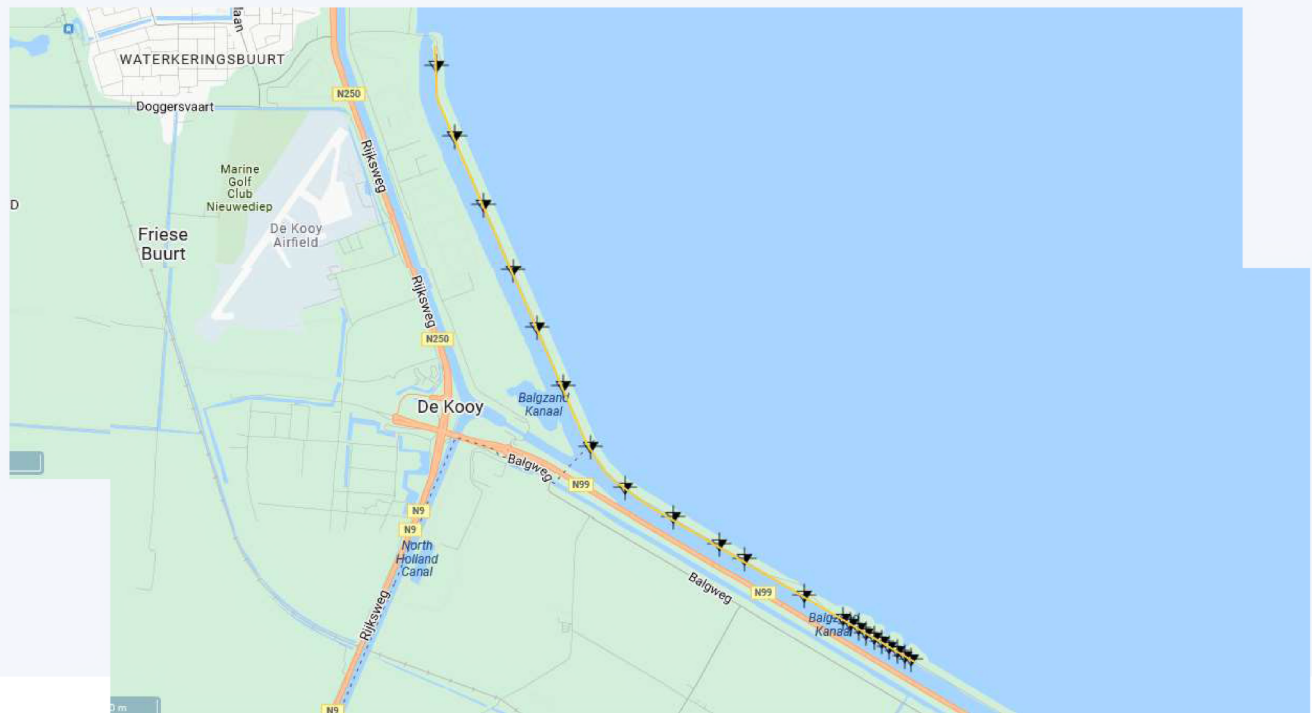
11	DP_25.2.prfi	25.2	25.3		2.22	0.10	2.12	2.87	Vol doet niet	voldoet niet
11	DP_25.3.prfi	25.3	25.4		2.27	0.10	2.17	2.87	Vol doet niet	voldoet niet
11	DP_25.4.prfi	25.4	25.5		2.42	0.10	2.32	2.87	Vol doet niet	Voldoet



BIJLAGE: GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL TRACÉ

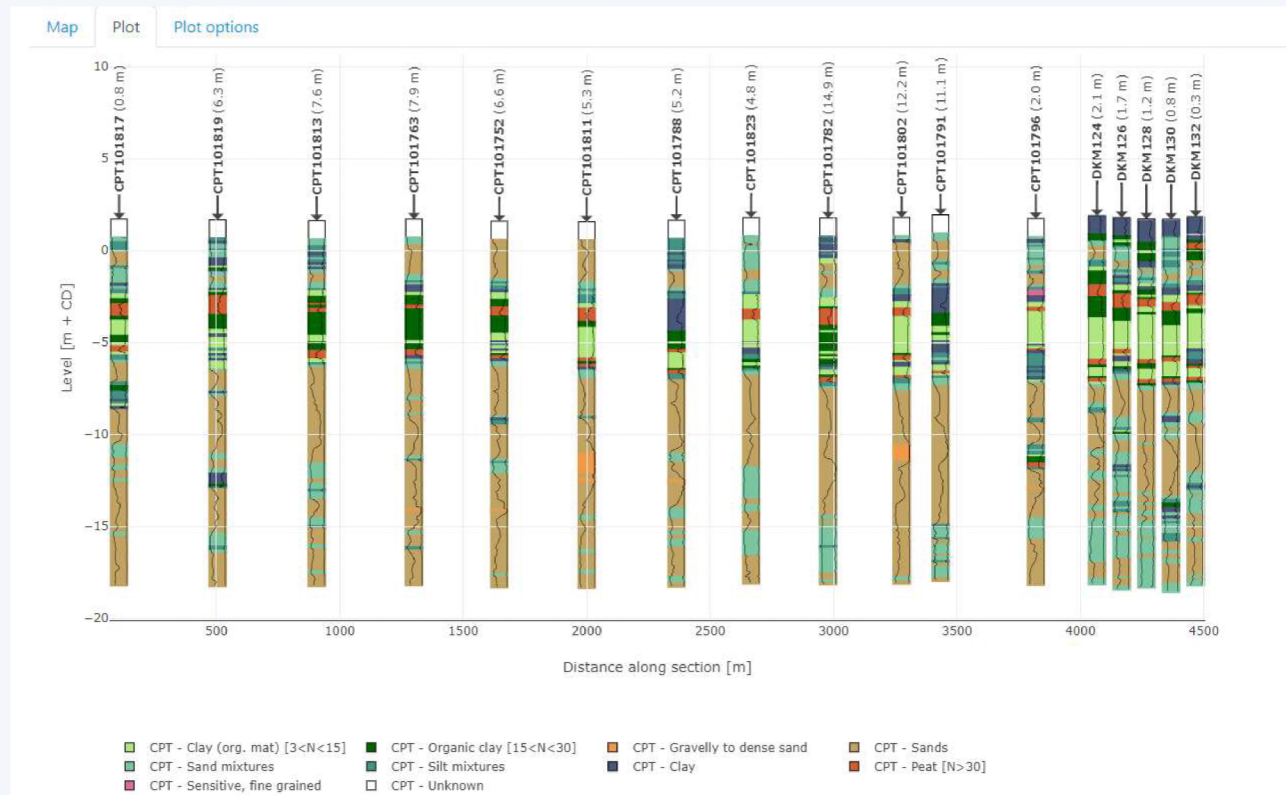
Raai 1 – 2 – 3 – 4

Overzicht langsprofiel



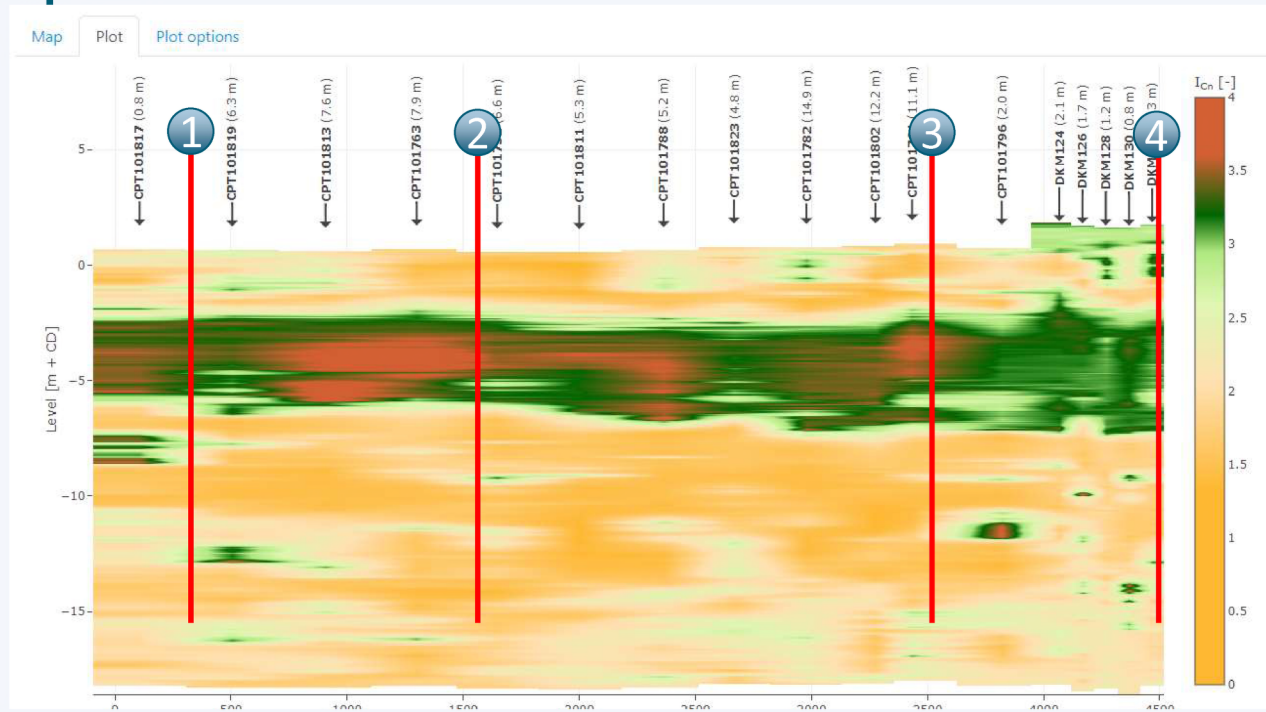
Raai 1 – 2 – 3

BH plot



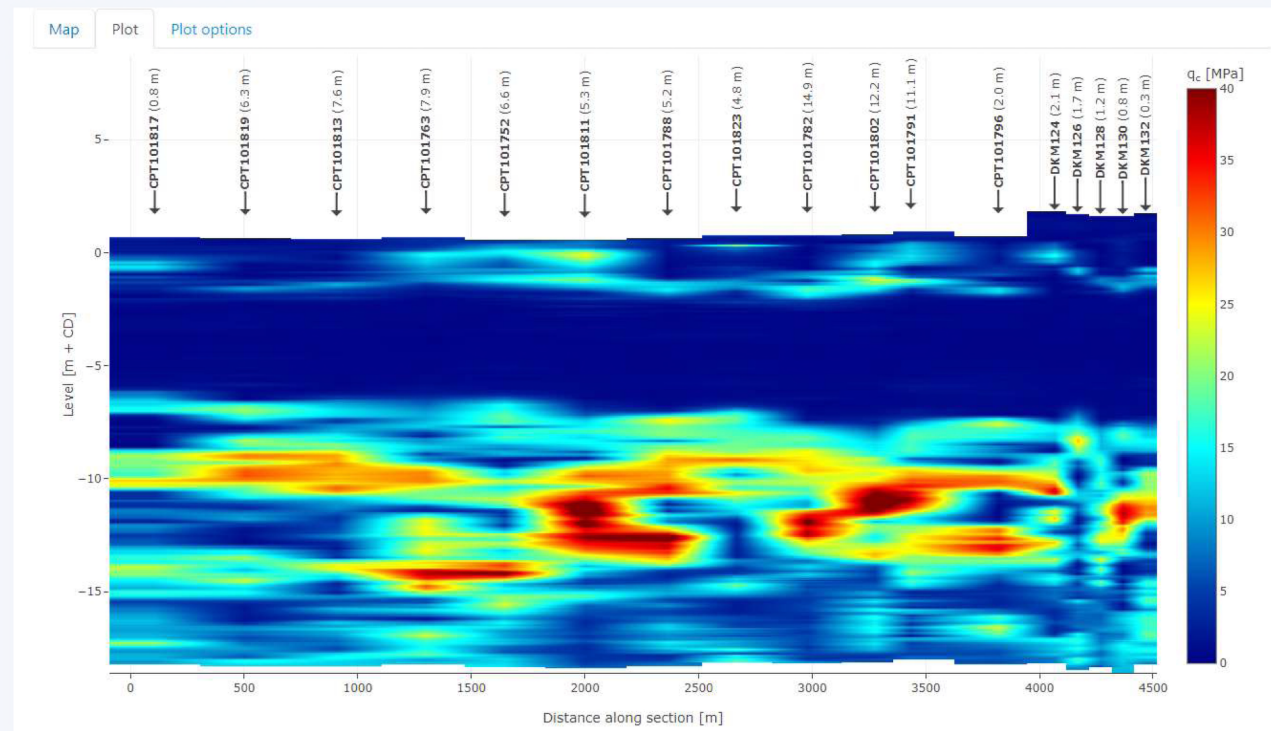
Raai 1 – 2 – 3 – 4

Ic plot



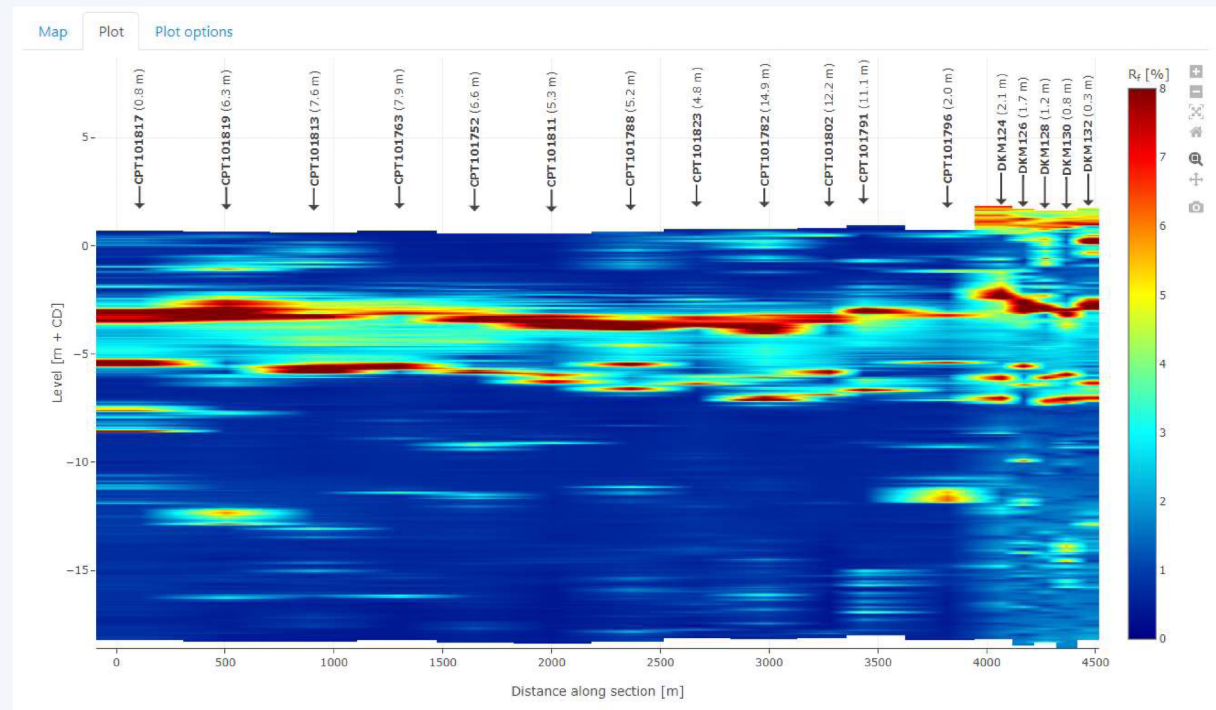
Raai 1 – 2 – 3 – 4

Qc plot



Raai 1 – 2 – 3 – 4

Rf plot



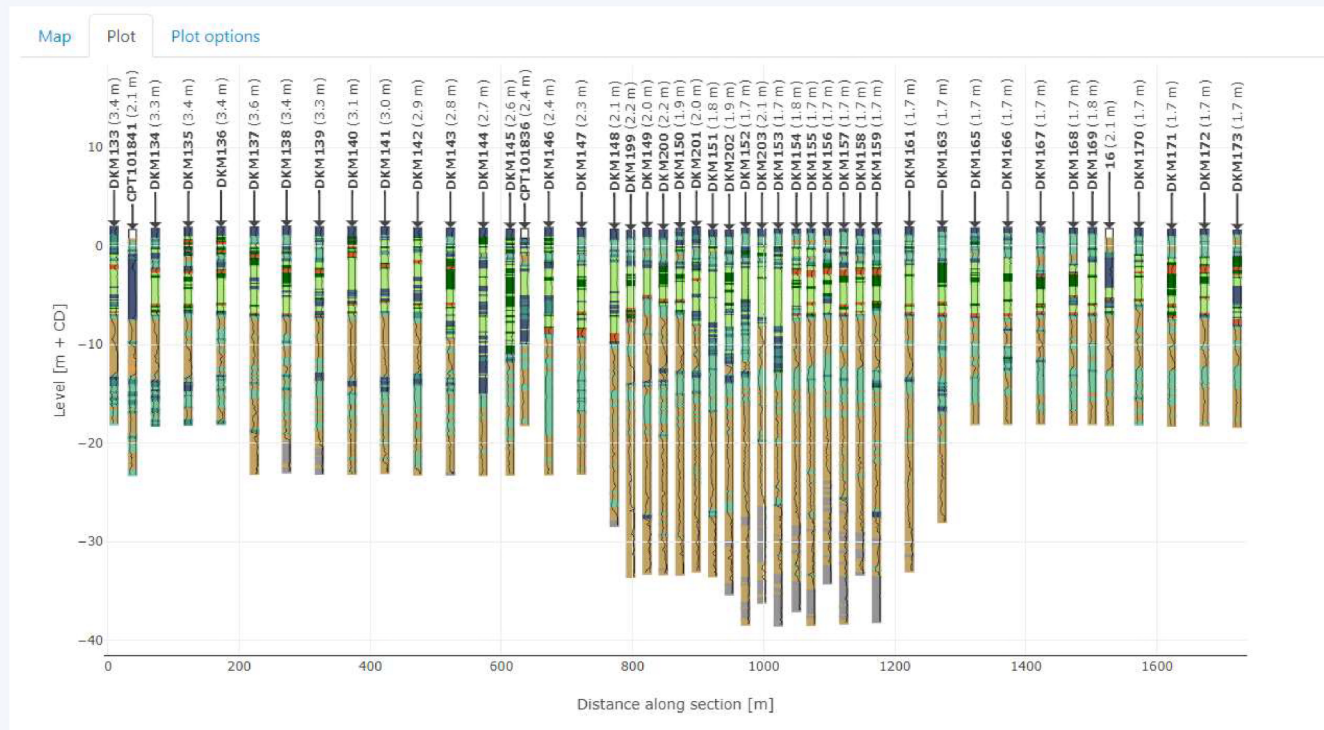
Raai 4 – 5

Overzicht langspiegel



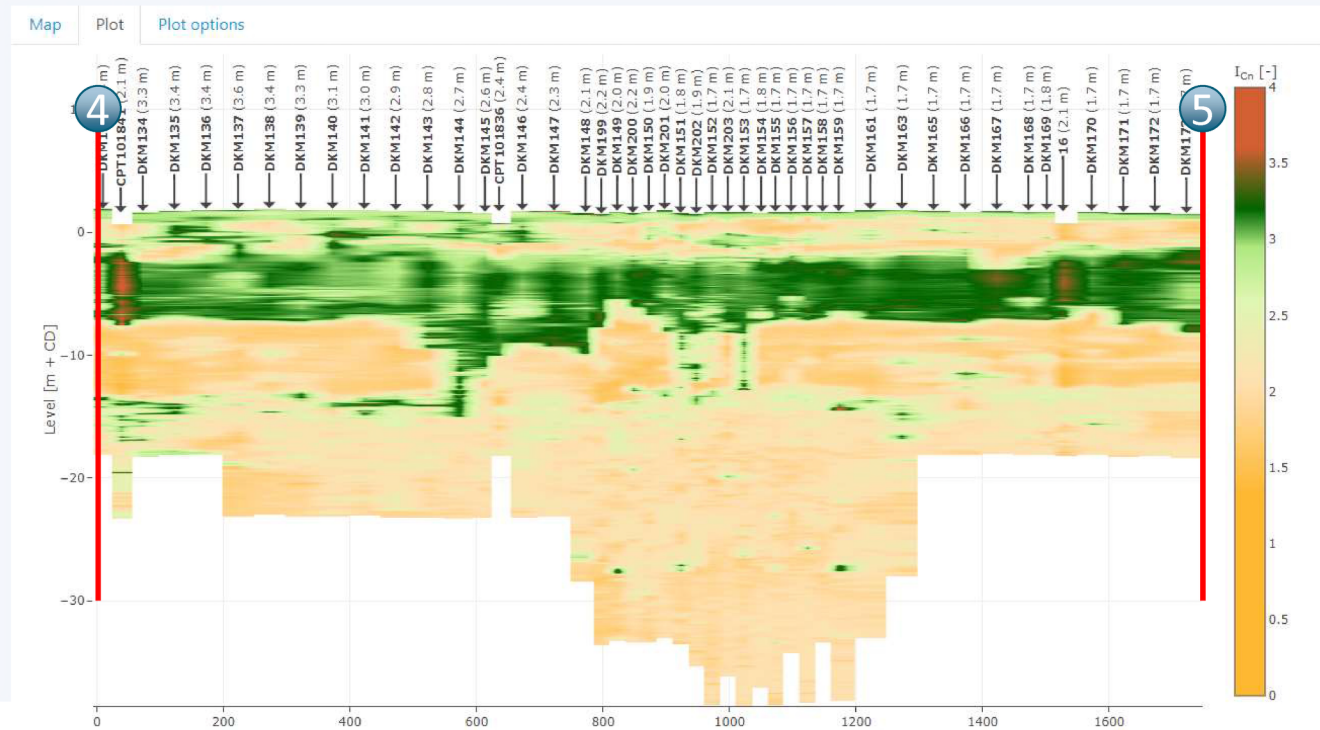
Raai 1 – 2 – 3

BH plot



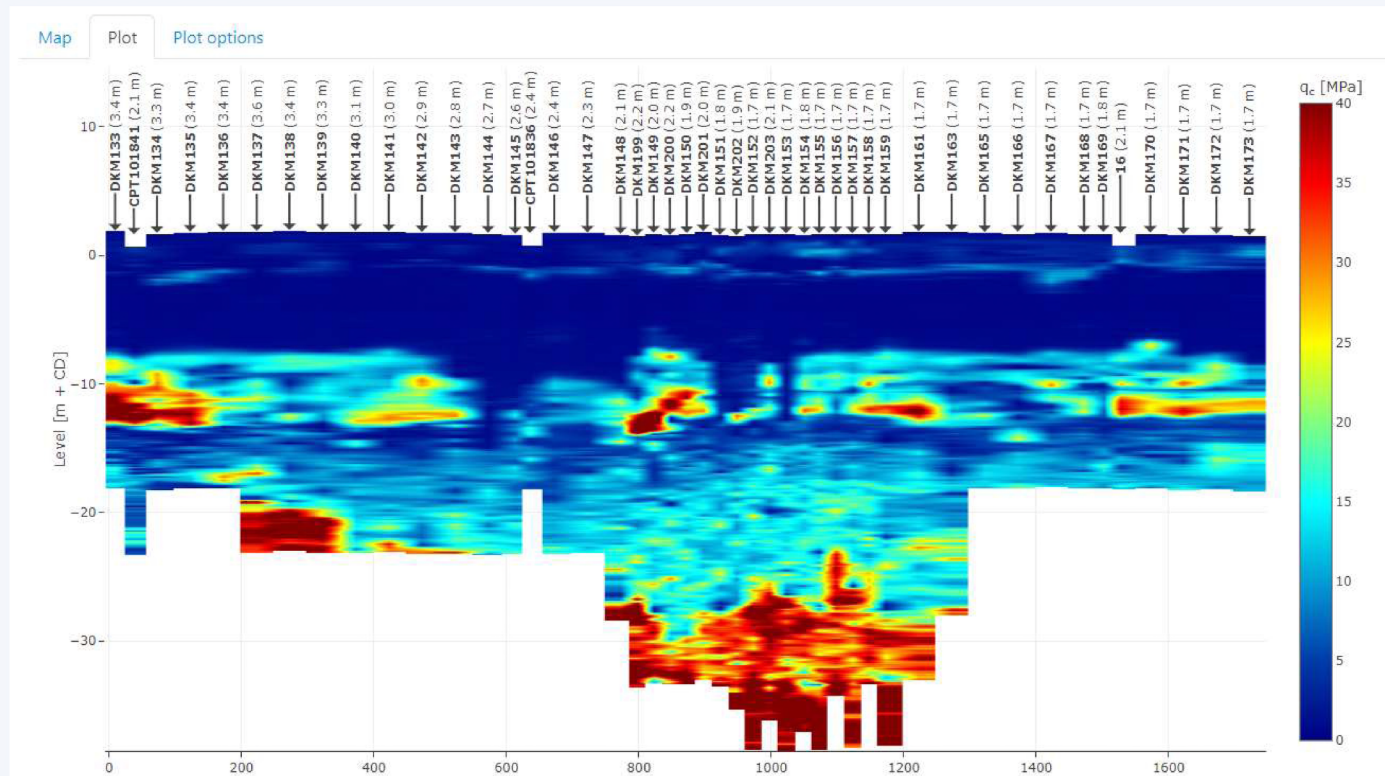
Raai 4 – 5

Ic plot



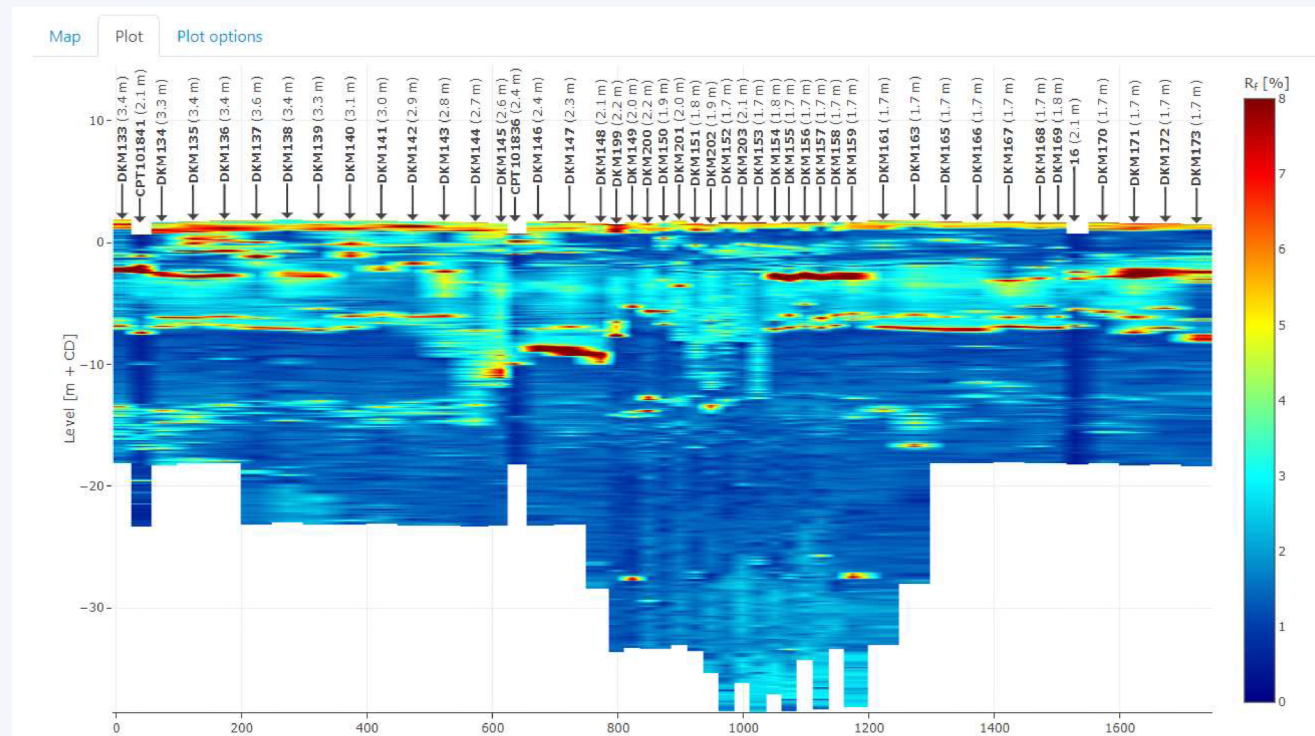
Raai 4 – 5

Qc plot



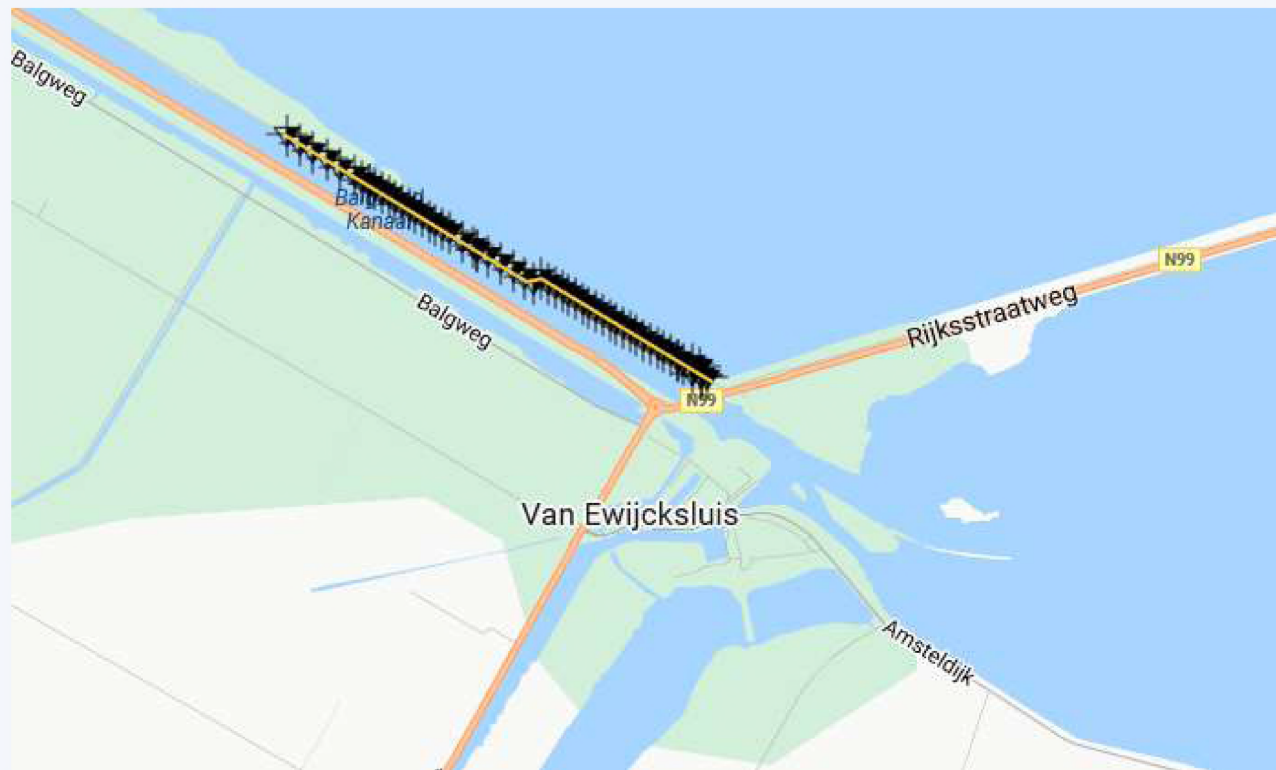
Raai 4 – 5

Rf plot



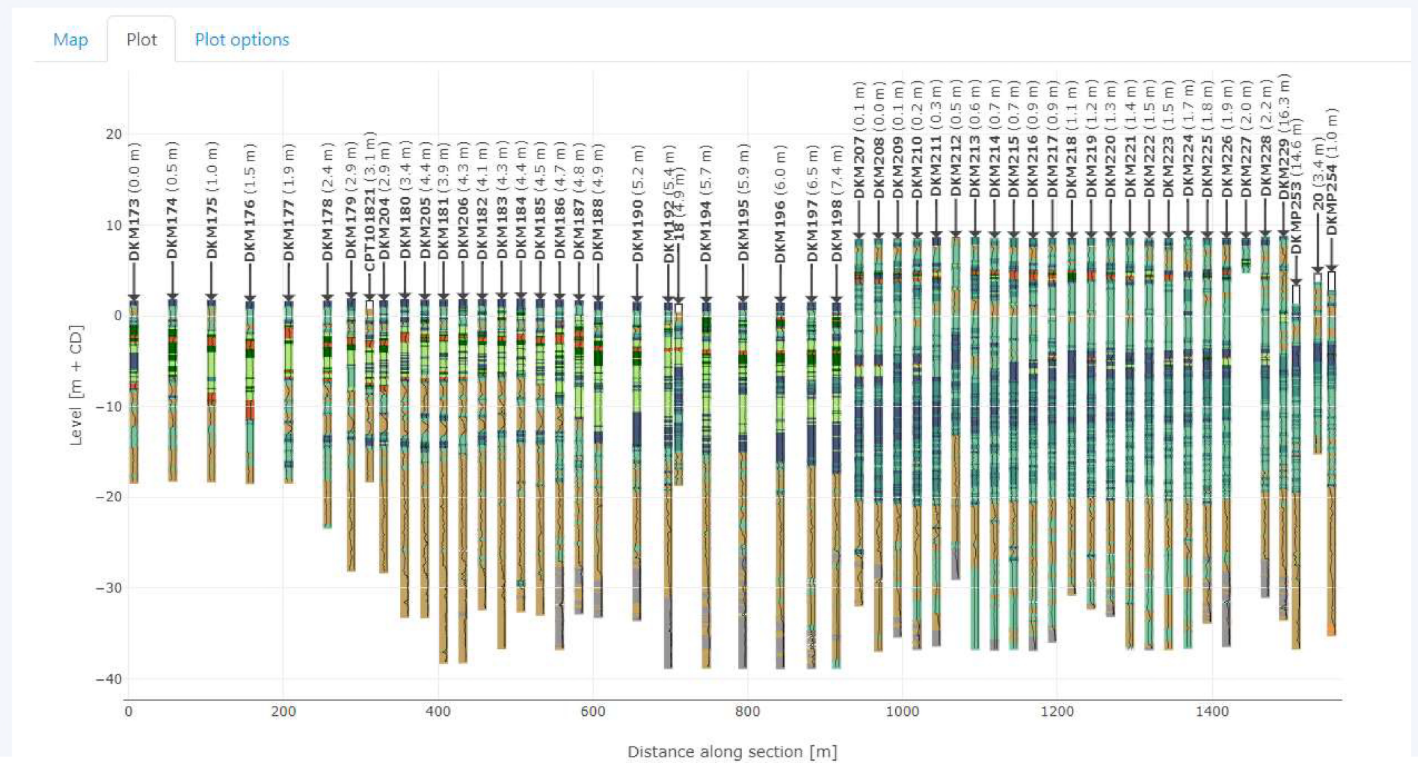
Raai 5 – 6

Overzicht langspiegel



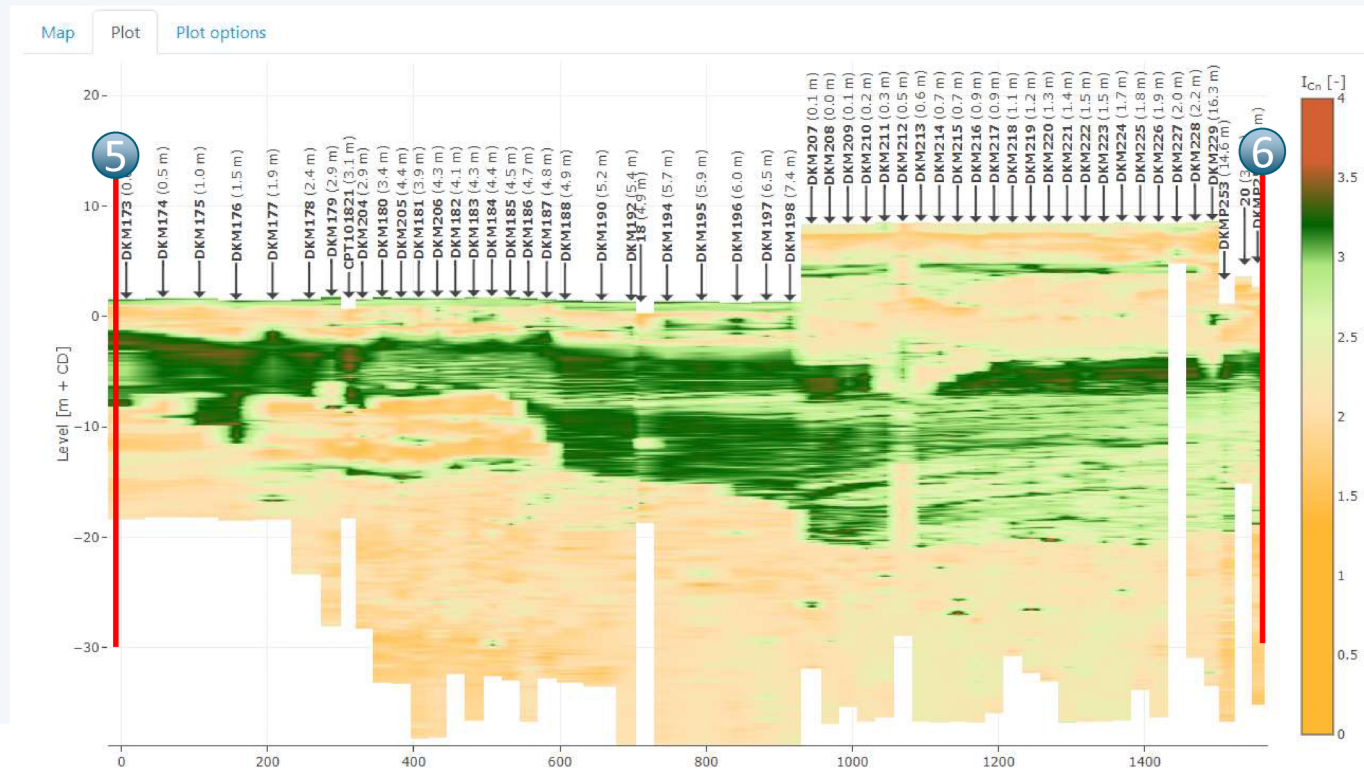
Raai 5 – 6

BH plot



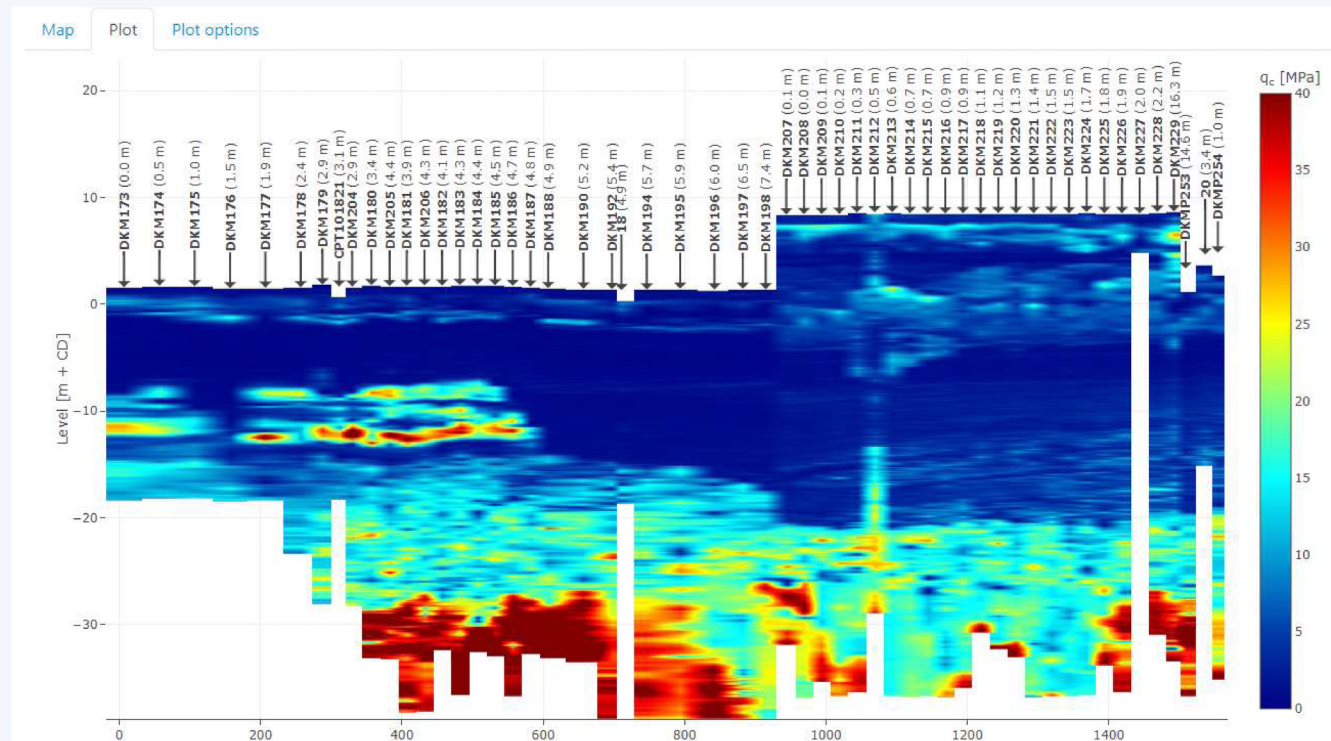
Raai 5 – 6

Ic plot



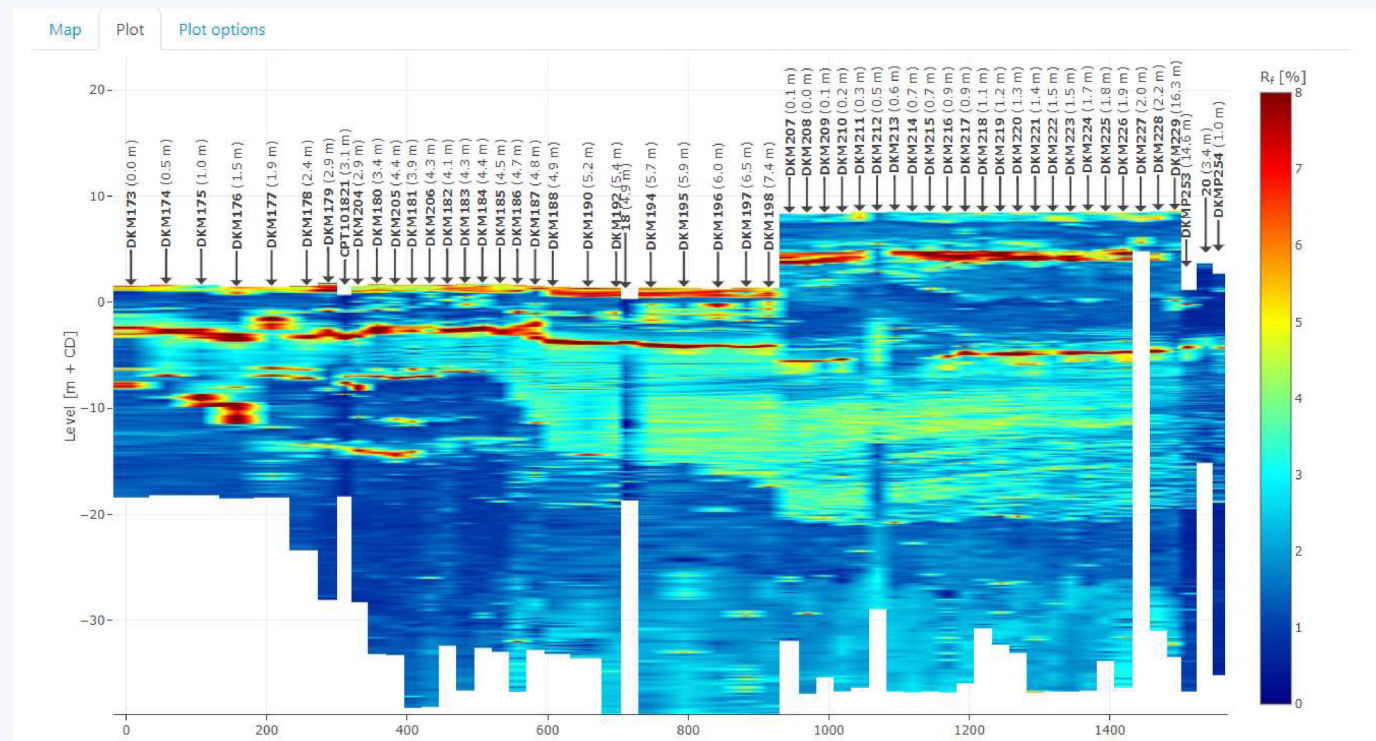
Raai 5 – 6

Qc plot



Raai 5 – 6

Rf plot



Raai 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11

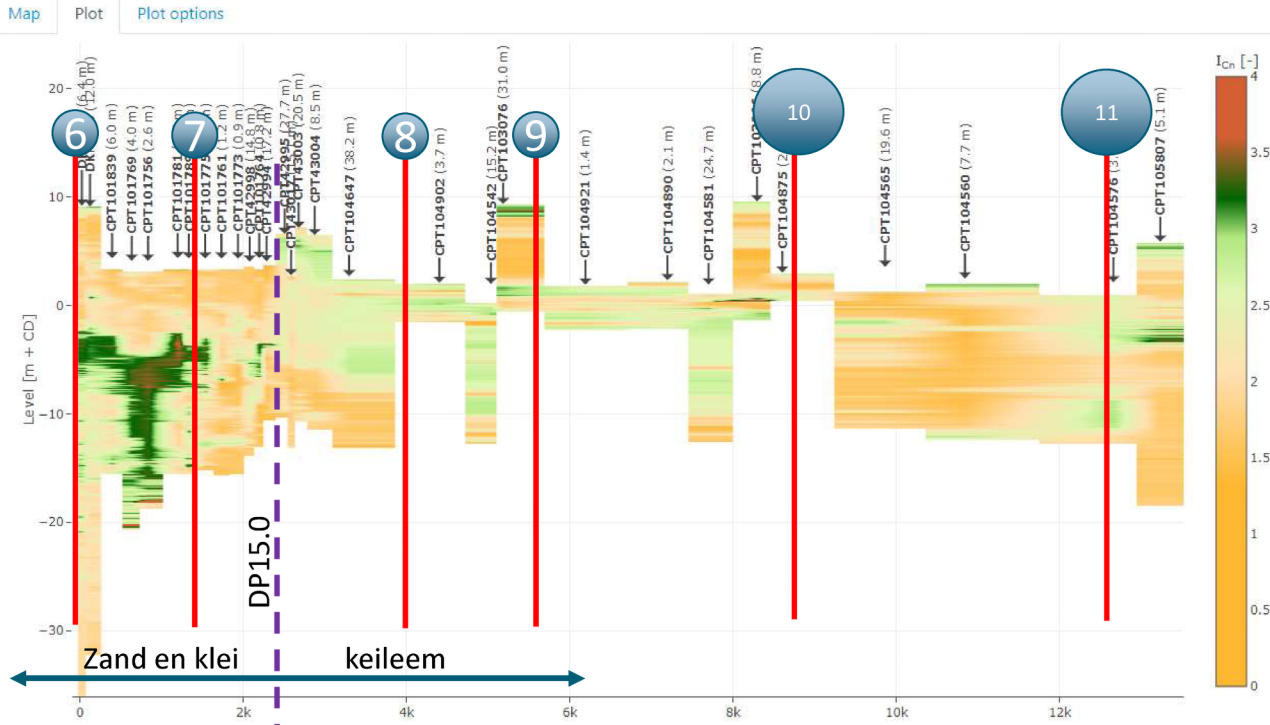
Overzicht langsprofiel



BH plot

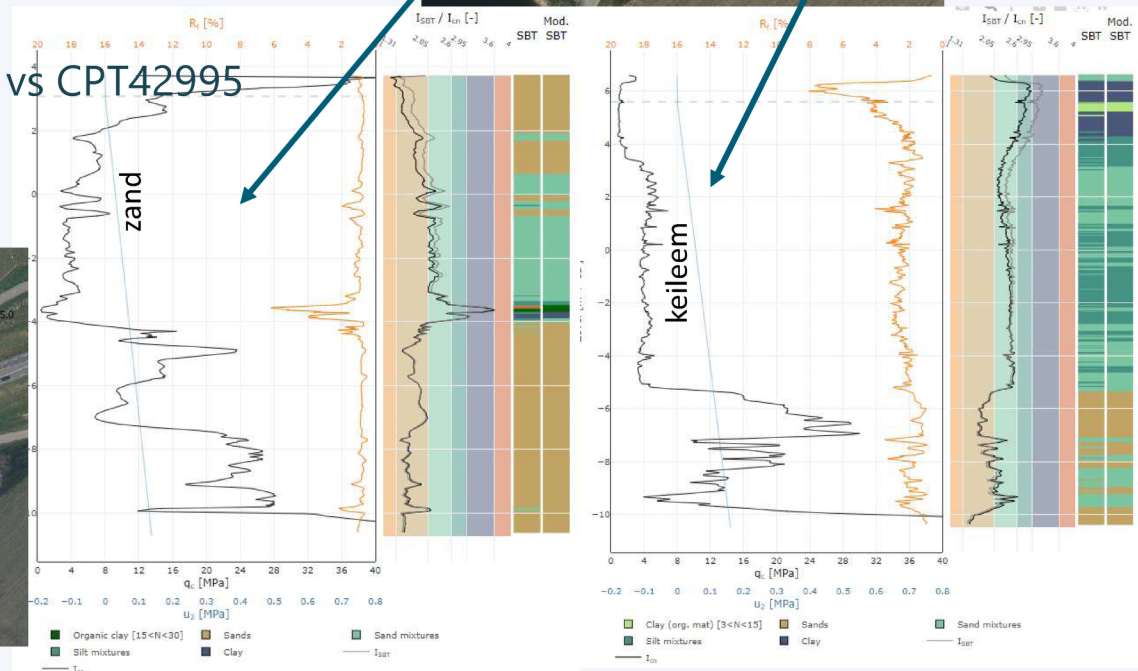
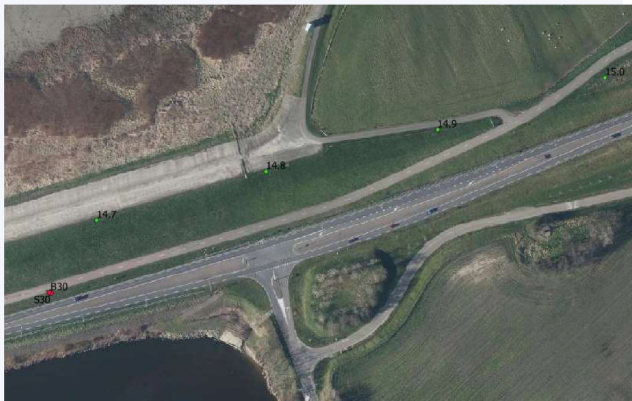


Ic plot



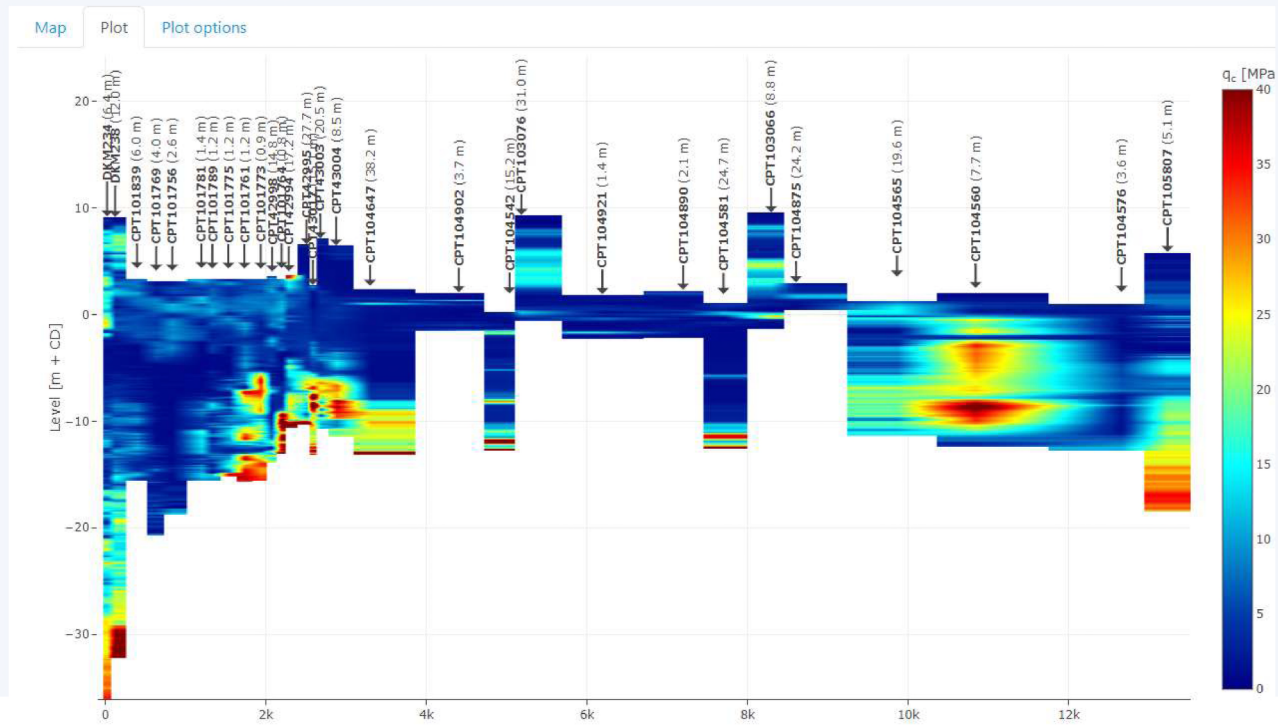
Raai 7 – 8

Sondering S30(CPT42994) vs CPT42995



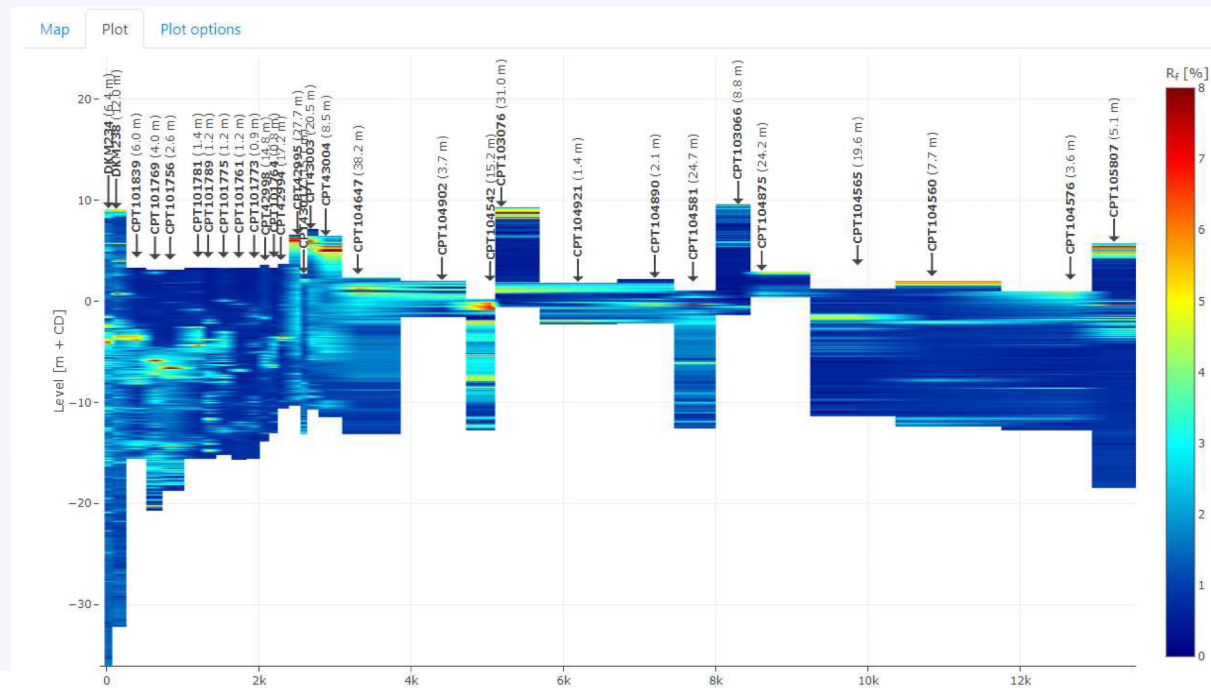
Raai 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11

Qc plot



Raai 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11

Rf plot



VI

BIJLAGE: VERSLAG OVERLEG GEOHYDROLOGISCHE ANALYSE DODH

VERSLAG

Onderwerp	Overleg geohydrologische analyse DODH	
Project	Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder	
Projectcode	128893	
Datum overleg	16 augustus 2023	
Plaats	Teams (online)	
Referentie	128893/23-013.696	
Auteur(s)	L. Westrik, R. de Boer	
Datum verslag	25 augustus 2023	
Bijlage(n)	Presentatie overleg geohydrologische analyse d.d.16 augustus 2023	
Aanwezig	Hoogheemraadschap Noorder Kwartier	Thomas Rus, Niels Ten Hage, Roy Mom (Infram-Hydren), Silvo de Haas
	Deltares	André van Hoven
	Witteveen+Bos	Robert de Boer, Bas Seesing, Thomas Naves, Lucas Westrik
Afwezig	Hoogheemraadschap Noorder Kwartier	Jaap Kottier
Kopie	Aan- en afwezig	

Agenda

- aanleiding en doel overleg;
- samenvatting conclusies analyse (concept 02);
- besprekpunten:
 - excel reviewtabel;
 - overall;
- vervolgproces DODH.

Doel

- 1 bespreken relevante punten uit reviews;
- 2 bespreken overige openstaande punten;
- 3 consensus over conclusies;
- 4 consensus bereiken over vervolgstappen.

Samenvatting conclusie concept 02 versie notitie

- notitie gebaseerd op kalibratie raai 6 (is de raai met minst goeie kalibratie op de januari 2019 storm);
- de kalibratie van raai 6 is opnieuw uitgevoerd door een aantal uitgangspunten te wijzigen:
 - zetsteen: doorlatend aangenomen (was als ondoorlatend aangenomen in origineel model);
 - zeespiegelstijging meegenomen op MHW;
 - opgelegde minimale waterstand (NAP +1,40 m) uit het model gehaald;

- invloed kalibratie (0,5 m) en zeespiegelstijging (0,2m), totale toename FL op buitentalud ten aanzien van origineel model is 0,7 m en 0,9m rekenwaarde;
- daarnaast is gekeken of het terecht is dat sommige raaien aan elkaar gekoppeld zijn zonder een Plaxflowmodel op te stellen: Raai 2 en 3 vastgesteld op basis van model raai 1. Raai 4 en 5 vastgesteld op basis van raai 6.

Vraag André van Hoven over raai 6 en 7: dichte binnenkant zit in feite in beide modellen (vanwege 'closed boundary'). Dat wordt bevestigd. Daarmee is raai 7 (met keileem) modelmatig niet onderscheidend van raai 6.

- raai 11: geen model en geen peilbuisgegevens. In verkenning is voor raai 11 hetzelfde aangenomen als voor raai 10. De bodemopbouw toont verschillen tussen de raaien. Daarom heeft W+B een extra onzekerheidsmarge voor raai 11 meegenomen.

Hoofdconclusie nieuwe FL

De analyse heeft geleid tot een verhoging van de FL over het gehele traject. Dit komt door de herziene kalibratie, zeespiegelstijging en een hogere onzekerheidsmarge. De aanpassing van de FL heeft significante gevolgen voor de ontwerpopgave voor onderrand asfaltbekleding. De scope wordt een stuk groter.

Belangrijkste bespreekpunten vanuit review Vakgroep Waterveiligheid HHNK en Deltares

- *raai 8 en 10 zie je op de foto van Inpijn een basalt/ basalt bekleding tot net onder PB2. Bij raai 9 staat begroeiing, waarschijnlijk echter ook een zetting. Dat lijkt mij ook essentieel voor de schematisering, zoals wordt aangetoond in de gevoeligheidsberekening. Ik ben benieuwd wat de overwegingen van RHDHV waren om het dicht te schematiseren, is de zetting misschien ingegoten? Of was een dichte teen nodig om de peilbuismetingen hier te verklaren? Dat laatste zou je bij de gevoeligheidsberekening moeten kunnen zien.*

Bas: het ondoorlatend aannemen van het onderste deel van het talud met een klein spleetje in de teen is bij raai 8 en 9 een modelmatig trucje om de juiste response in het model te krijgen. Dit lijkt niet overeen te komen met de fysische werkelijkheid, maar geeft wel een goeie fit in het model met de peilbuismetingen. Of de kalibratie dan correct is, dat is de vraag, daarop komen we later op terug.

Opmerking van André over figuur 8.3 in de notitie: Figuur laat zien dat aanpassingen in de doorlatendheid van het zetsteen significante gevolgen heeft voor de respons van de freatische lijn bij MHW. En omdat je de fysische werkelijkheid anders zou schematiseren (een doorlatender talud met zetsteen in plaats van asfalt) moet je deze modellen opnieuw kalibreren.

- *uit expertsessie Den Helder: Mark Klein Breteler geeft aan dat bij de verdere modellering het van belang is om te kijken of je begrijpt of kan onderbouwen waarom het ene profiel goed reageert en het andere niet. Als het niet verklaarbaar is, dan moet je uitgaan van de **worst case** situatie.*

We kunnen tot op zekere hoogte onderbouwen waarom het ene profiel goed reageert en het andere niet. De metingen (met een goede storm) zijn daarvoor bruikbaar, en die geven duidelijk weer dat er een zeker mate van weerstand is. Daarover zijn we het eens. Hoe die weerstand dan vervolgens geschematiseerd en gekalibreerd zijn niet, zie het vorige punt.

Opmerking André: schrijf op hoe we omgaan met veiligheid, wat is de veiligheidsfilosofie? Je gebruikt voor de modellering een waterstand bij norm voor het zichtjaar 2073 + je past onzekerheidsmarge toe (praktische omgang met onzekerheid per locatie). Daarnaast zit er een onzekerheidsmarge op de FL en zijn een aantal raaiavakken conservatief (op basis van hoogste FL aangrenzende raai). Let op: hier zijn voor het opstellen van de freatische lijn en voor het ontwerp van de asfaltbekleding geen formele richtlijnen voor.

Opmerking Roy: voor de Toets-op-Maat (ToM) Asfalt wordt alleen gekeken naar doorsnedeniveau. Er is nog geen vertaling naar trajectniveau. Roy merkt op dat de aankomende jaren nog moet worden uitgewerkt. Maar ook hier zijn nog geen concrete richtlijnen voor.

W+B gaat in de volgende versie van de notitie duidelijk opschrijven hoe wordt omgegaan met de veiligheidsfilosofie. Modelkalibratie naar eer en geweten, extrapolatie naar 2073 hoogwater situatie en

vervolgens omgang met onzekerheden (variatiestudie waar een bandbreedte voor de onzekerheden uit moet komen). De variatiestudie leidt uiteindelijk tot een goeie onderbouwing van de toegepaste onzekerheid per raai. Het duidelijk verwoorden van de veiligheidsfilosofie geeft een herleidbaar verhaal voor de gemaakte keuzes. De keuze voor het meenemen van veiligheden moet verder worden uitgewerkt. Onzekerheidsmarge moet variabel per raai op basis van onder andere beschikbaarheid peilbuismetingen, wel of geen PlaxFlow model, wel of geen kalibratie en wel of geen MHW berekening gemaakt. Per raai: systematische uitwerking van veiligheidsfilosofie (best guess en onzekerheidsmarge). Dit maakt de keuzes beter uitlegbaar en herleidbaar. Geeft onderbouwing voor het toepassen van een grote/kleine onzekerheidsmarge.

Thomas: met de kalibratie doen we een 'best guess'. Raai 6 is opnieuw gekalibreerd, de overige raaien (nog) niet.

- *is het nodig om extra raaien te kalibreren om een beter onderbouwde FL te krijgen en de onzekerheden voor zover mogelijk weg te nemen?*

Afspraak raai 9: opnieuw kalibreren, spleet uit model en talud doorlatend maken om de impact op FL te kwantificeren. Raai 8 is qua bodemopbouw en gelijk aan raai 9 dus na het opnieuw kalibreren van raai 9 zijn de resultaten van raai 8 ook vernieuwd.

Voor wat betreft de raai 1. De response voor raai 1 is zeer laag. De vraag is hoeveel een extra kalibratie hier gaat uithalen. Aan de andere kant zijn er twijfels over de impact van de kalibratie, met name omdat daar de oude bekleding doorloopt tot de buitenteen.

Roy: je kan ook kijken naar hoe hoog de FL mag worden voordat je een opgave krijgt. Op basis daarvan kan je inschatten of deze waarde van de FL ook bereikt kan worden op basis van de onzekerheden.

Robert: lastig uit te leggen waarom bepaalde raaien wel opnieuw worden gedaan en waarom sommige niet. Na het opnieuw kalibreren van raai 1 worden ook gelijk de resultaten van raai 2 en 3 vernieuwd, want de conclusie is dat deze raaien reageren op een zelfde manier als raai 1.

Afspraak raai 1: dit model gaan we ook opnieuw kalibreren met doorlatender talud om de impact op FL te kwantificeren.

Met het extra kalibreren van raai 1 en 9 zijn de, mogelijk te gunstig geschematiseerde, raaien van het hele traject afgedekt. Bij raai 1 (en dus raai 2 en 3) en raai 9 (en dus 8) is de verwachting dat de resultaten niet conservatief genoeg zijn en daarmee nu mogelijk een te lage freatische lijn wordt berekend. Bij opnieuw gekalibreerde modellen 1 en 9 zou de freatische lijn hoger kunnen uitkomen is de verwachting. Bij overige raaien 7 en 10 zit er genoeg conservatisme in de huidige aanpak omdat deze goed overeen komen met andere bestaande modellen.

- *raai 4: moet voor deze raai een nieuw model worden opgesteld?*

In principe moet je grotere onzekerheden meenemen als er geen model wordt opgesteld. Bij raai 4 is nu een hogere toeslag voor onzekerheid meegenomen in het voorstel (FL gelijk aan raai 6, echter is de waterstand in de peilbuis van raai 4 significant lager). Thomas Naves denkt dat een goede kalibratie lastig wordt en heeft voorkeur voor extra onzekerheid mee te nemen. Er is geen plaxflow model voor raai 4. Dat zou betekenen dat een nieuwe model opgesteld moet worden.

André: hanteer een zuivere methode. Raai 4 heeft de grootste response in PB3 (peilbuis ter plaatse van berm buitentalud). Deze grote respons moet goed doorkomen in de onzekerheid. Model opstellen kan ervoor zorgen dat de onzekerheid wordt ingeperkt. Dit is een projectmatige afweging. Daarvoor moet je kijken naar gevolgen voor scope als onzekerheidsmarges afnemen en dat afwegen tegen de moeite die je moet doen om het model op te stellen. Het is ook belangrijk dat de onzekerheden consistent met de andere raaien worden meegenomen (op basis respons die tijdens de gemeten storm in de peilbuizen gemeten is).

Advies vakgroep: nieuw model opstellen voor raai 4. Niels: bodemopbouw van de dijk is een zeer belangrijke factor om de verschillen in de response in de raaien te verklaren. Kalibratie kan voor onderbouwing zorgen voor de afwijkingen in de peilbuismetingen.

Afweging tussen winst en inspanning. Het is een optie om eerst te kijken naar de gevolgen van de scope bij een kleinere onzekerheidsmarge.

Robert: wat is de verwachting van de gevolgen van extra kalibratie: kan de onzekerheid ook omhoog gaan? Als dat het geval dan zouden we sowieso moeten kalibreren. Thomas: we hebben nu conservatief aangenomen. De verwachting is niet dat je hoger gaat uitkomen als een nieuwe kalibratie voor raai 4 wordt gedaan.

André: door de hoge respons waag ik dat te betwijfelen. De respons in raai 4 is hoogste in PB3 dat overal is gemeten. Daarom zou de FL nog hoger kunnen uitpakken.

Afspraak: er is uiteindelijk consensus dat het opstellen van een nieuw model 4 de moeite waard is. Er is veel respons in peilbuis (hoogte respons in PB3 van alle raaien). Het opstellen van een model kan zorgen voor onderbouwing van deze hoge respons. De onzekerheden zijn op dit moment te groot. Daarom gaat er een nieuw model 4 opgesteld worden.

- *vertaling van raaien naar dijkvak-indeling?*

Op dit moment hebben de grenzen van de raaien doorgetrokken op basis van de slechtste waarden van aanliggende raaien en is er onderscheid gemaakt in bodemopbouw ter plaatse van DP14.9 (einde van de Amsteldiepdijk). De onderbouwing voor begrenzing raaien moet uitgebreider en beter (visueel) worden onderbouwd. Om de homogeniteit binnen raaien aan te tonen. Keuze voor grenzen raaien kunnen we dan beter onderbouwen. GTL geeft goed inzicht in de bodemopbouw van de dijk. Doorlatendheid steenzetting is dominant en moet ook worden meegenomen in de onderbouwing en visualisering van de begrenzing van de raaien. Daarbij moet meegenomen worden: een afwijkende bodemopbouw, opbouw van het talud of steenzetting. Dit kan allemaal met een geotechnisch lengteprofiel met vakgrenzen raaien worden weergegeven.

Afspraak: W+B gaat dit verwerken.

- *conservatisme van de onzekerheidstoeslag (van grofweg 0,3 - 1,3 m). Is die conservatief en zo ja, hoe conservatief?*

Reeds besproken. André: de onzekerheidstoeslag moet locatiespecifiek worden bepaald, dan heb je een herleidbaar verhaal. De waarde van 0,3 m voelt, inclusief onderbouwing en met de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses, best logisch aan. Wanneer afgesproken analyses worden uitgevoerd (kalibraties en nieuwe model 4 en de toevoeging van de veiligheidsfilosofie) staat er een heel logisch een herleidbaar verhaal.

Het verhaal richting het HWBP moet zijn: we hebben een grote storm gemeten, beter dan dit kan je je eigenlijk niet wensen. Het had dus nog veel conservatiever kunnen zijn als er een veel lagere storm was gemeten. Daarom is het hele verhaal wat er straks staat een sterk verhaal.

- *Niels: invloed van gras op boventalud. Extra infiltratie van water zorgt voor hogere freatische lijn?*

André: ervaring is dat deze invloed in de orde van grootte van cm is. Maar het is makkelijk in de modellen te checken bij de gevoeligheidsberekeningen. Daarvoor neem je aan dat de oploopzone (gras) enkele uren onder water staat in het model.

Afspraak: checken wat de invloed is meenemen op de onzekerheidstoeslag als relevant. Daarvoor ook checken tot waar de oploopzone loopt.

Vervolgacties en afspraken

- duidelijk opschrijven hoe we omgaan met de veiligheidsfilosofie (best guess model + onzekerheidstoets die per raai kan variëren);
- raai 9 : model opnieuw kalibreren (spleet uit model en talud doorlatend maken om model beter te kalibreren);
- raai 1: opnieuw kalibreren om verhaal scherp te krijgen met éénduidige aanpak;
- nieuw model voor raai 4 opstellen;
- van alle (nieuwe) modellen die nog worden gekalibreerd worden ook maatgevend hoogwater (MHW) voor het jaar 2073 simulaties doorerekend;
- geotechnisch lengteprofiel opstellen met duidelijker grenzen tussen raaien. Hierin ook andere kenmerken van de schematisaties weergeven;
- er wordt een gevoeligheidssom voor infiltratie uitgevoerd en waar nodig meegenomen in de resultaten.
- resultaten worden verwerkt in cpt03 notitie;
- André hoeft (nog) geen reactie te geven op de reviewtabel aangezien deze opnieuw wordt ingediend, samen met de notitie cpt03, wanneer bovenstaande acties zijn afgerond.

Bovenstaande acties moeten zo spoedig mogelijk ingezet worden, maar vallen buiten de scope van het lopende meerwerk. Daarom gaat W+B dit intern en met HHNK bespreken om hier een plan voor op te stellen. Hiervoor komt z.s.m. een voorstel. Daarna zullen de activiteiten worden opgestart en de resultaten zullen in cpt03 versie van de notitie worden verwerkt en gerapporteerd. Deze notitie (inclusief geüpdatet reviewtabel met antwoorden) gaat het formele reviewproces in met alle reviewers André van Hoven en de leden van de Vakgroep Waterveiligheid.



BIJLAGE: PRESENTATIE OVERLEG GEOHYDROLOGISCHE ANALYSE D.D. 16 AUGUSTUS 2023

DODH geohydrologische analyse

Dijkversterking DODH – overleg 16-8

Inhoud

- Aanleiding en doel overleg
- Samenvatting conclusies analyse (cpt02)
- Bespreekpunten
 - Excel reviewtabel
 - Overall
- Vervolgproces DODH

Aanleiding

1. Cpt01 notitie opgeleverd, met (nog aan te scherpen) conclusies
2. Review door André van Hoven en Vakgroep Waterveiligheid
3. Verwerking cpt01:
 1. review André verwerkt
 2. review Vakgroep niet verwerkt
4. Cpt02 notitie opgeleverd, met aangescherpte conclusies, geschematiseerde freatische lijn, vakindeling en impact op scope DODH
5. Conclusies cpt02 besproken met IPM-team HHNK (met openstaande punten vakgroep)
6. Kwaliteit staat boven planning
7. Dit overleg is ingepland om consensus te krijgen onder technische specialisten

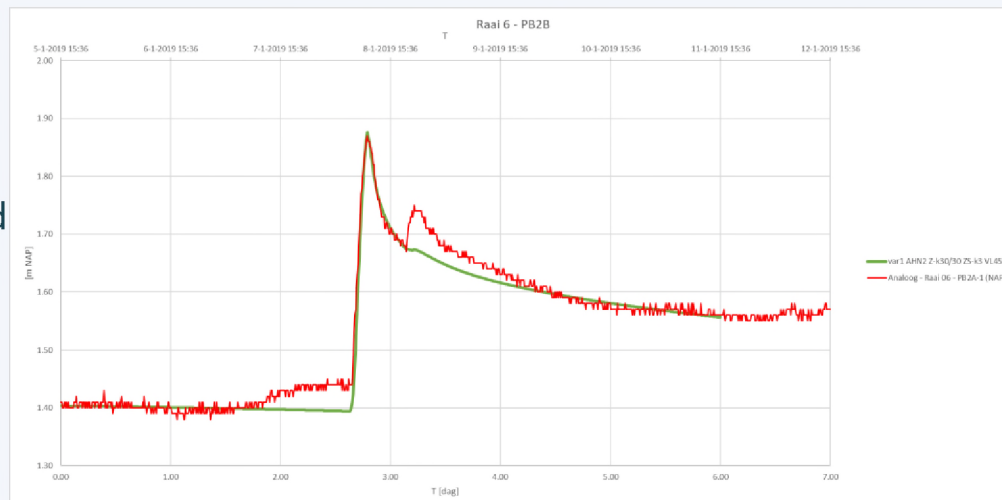
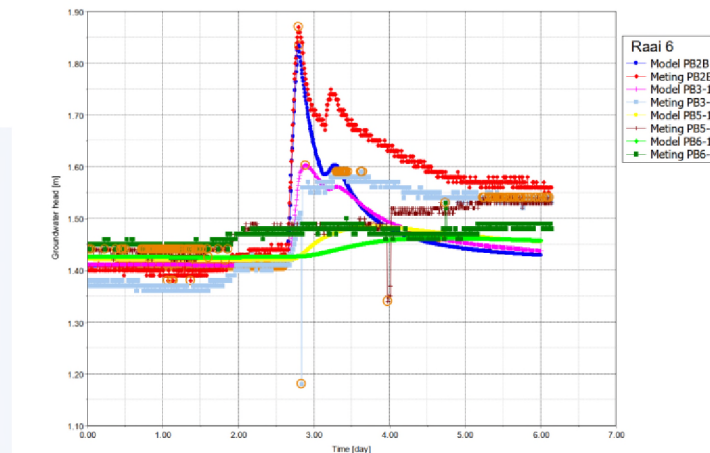
Doel

1. Bespreken relevante punten uit review André van Hoven (Deltares)
2. Bespreken relevante punten uit review Vakgroep Waterveiligheid (HHNK)
3. Bespreken overige openstaande vragen
4. Consensus krijgen over de conclusies
5. Definiëren van te nemen stappen tot afronding geohydrologische analyse (procesafpraak)

Samenvatting conclusies analyse (concept02)

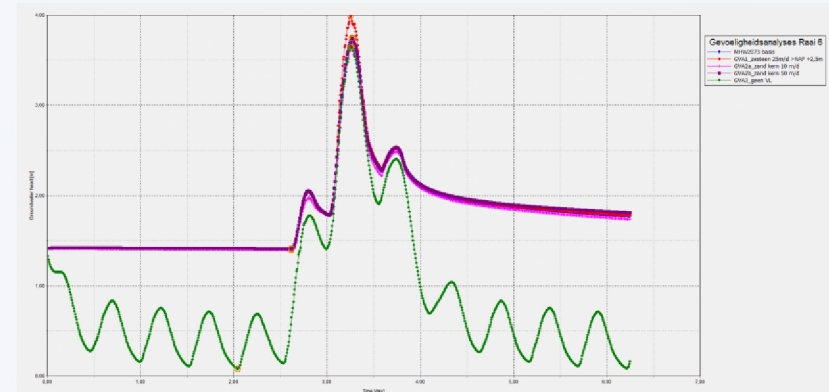
Raai 6 kalibratie

- Kalibratie peilbuismetingen storm januari 2019
- PB2B → meetbuis buitentalud t.b.v. asfalt ontwerp
- Aangepaste verbeterde kalibratie:
 1. Zetsteen – waterdoorlatend buitentalud
 2. Voorland gemodelleerd
 3. Gemeten buitenwaterstand



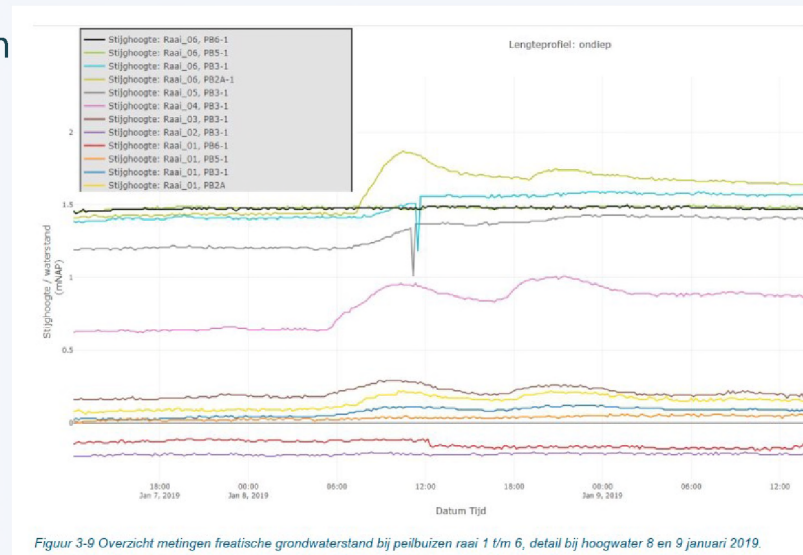
Conclusie Raai 6 hoogwater (MHW)

- Max freatische waterstand in de dijk bij MHW bij PB2B: NAP +4,2m (was in verkenning NAP +3,3m)
- Dit is inclusief 0,5m zeespiegelstijging (invloed 0,2m)



Conclusies projecties Raai 2, 3, 4 en 5

- Vergelijking op basis van bodemopbouw, hoogte VL en respons peilbuis
- Projectie raai 1 op raai 2 en 3:
 - Logisch
- Projectie raai 6 op raai 4 en 5:
 - Raai 5 is logisch
 - Raai 4 wijkt af van Raai 5 en 6, maar is o.b.v. onzekerheden bodemopbouw gelijk gehouden aan raai 6 (= o.b.v. peilbuismetingen conservatief)



Figuur 3-9 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6, detail bij hoogwater 8 en 9 januari 2019.

Conclusies Raai 1 en 8 t/m 10

- Kalibratie zien er goed uit
- Modellen zijn niet opnieuw gekalibreerd
- Toeslag voor gevoeligheden
- Toeslag zeespiegelstijging

Conclusies Raai 7

- Kalibratie + MHW berekening beschikbaar uit verkenningsfase
- Lijkt op raai 6 qua bodemopbouw (zandondergrond en betonzuilen op staalslakken) → zelfde model
- Peilbuismetingen geven hogere waterstand bij raai 7
- Hogere waterstand en toeslag zeespiegelstijging wordt opgeteld bij raai 6

Conclusies Raai 11

- Raai 10 en raai 11 hebben beide een toplaag van zand met daaronder keileem → zelfde modelresultaten
- Onzekerheid is groot, er zijn geen bruikbare peilbuismetingen. De grootse onzekerheid zit in de doorlatendheid van het buitentalud, daarom hogere onzekerheidsmarge van 1,3m (invloed van hoge doorlatendheid buitentalud)

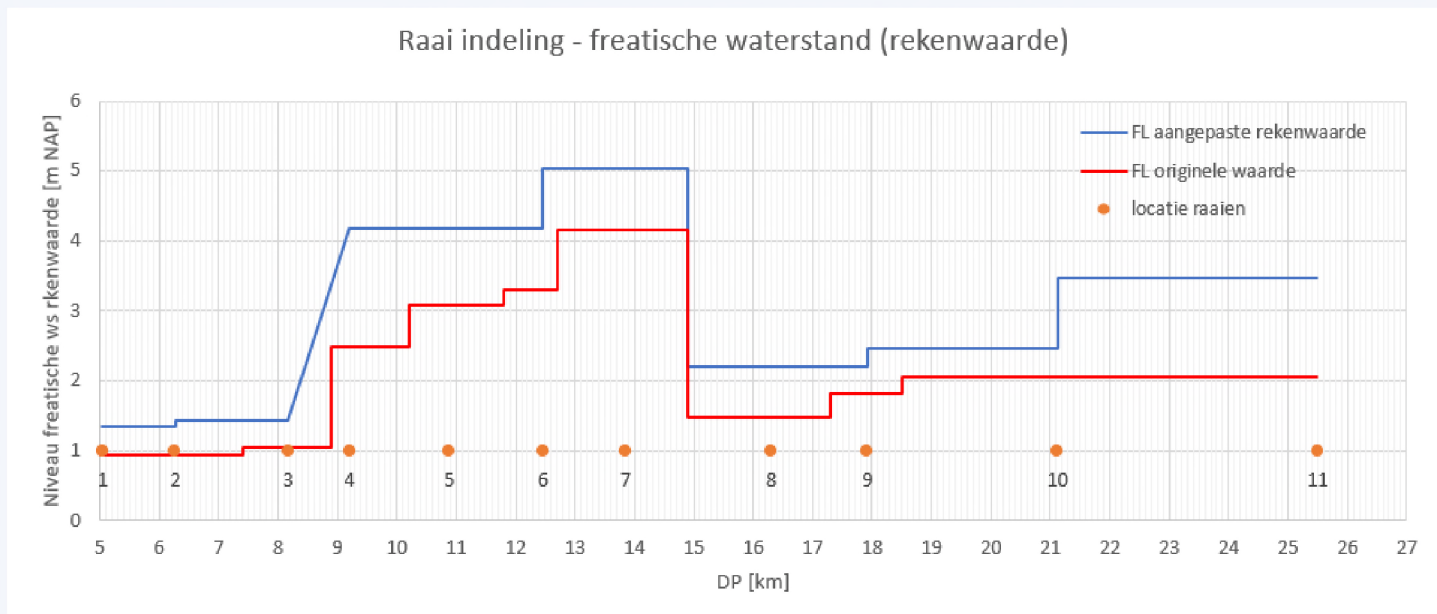
Eindconclusies

- Kalibratie Raai 1 en 8 t/m 10 zien er goed uit
- Kalibratie Raai 6 is opnieuw uitgevoerd
 - R4 t/m 6: freatische lijn MHW NAP +4,2m
 - R7: NAP freatische lijn MHW +5,0m
- Toeslag voor gevoeligheden +0,3m op alle raaien
 - Behalve bij R11 → +1,3m (geen metingen dus hoge onzekerheid)
- Toeslag voor zeespiegelstijging +0,2m op alle raaien

Aanbevelingen – freatische lijn MHW per raai

Raai	Dijktracé	Dijkpaal	Max. ws PB2B verkenning [m NAP]	Aanbevolen Rekenwaarde PB2B [m NAP]
1	BZD	5,05	+0,84	+1,3
2	BZD	6,27	+0,54	+1,0
3	BZD	8,17	+0,94	+1,4
4	BZD	9,18	+2,39	+4,2
5	BZD	10,88	+2,99	+4,2
6	BZD	12,46	+3,19	+4,2
7	ADD	13,85	+4,06	+5,0
8	WZW	16,33	+1,38	+1,9
9	WZW	17,92	+1,71	+2,2
10	WZW	21,12	+1,96	+2,5
11	WZW	25,50	-	+3,5

Aanbevelingen – vakindeling

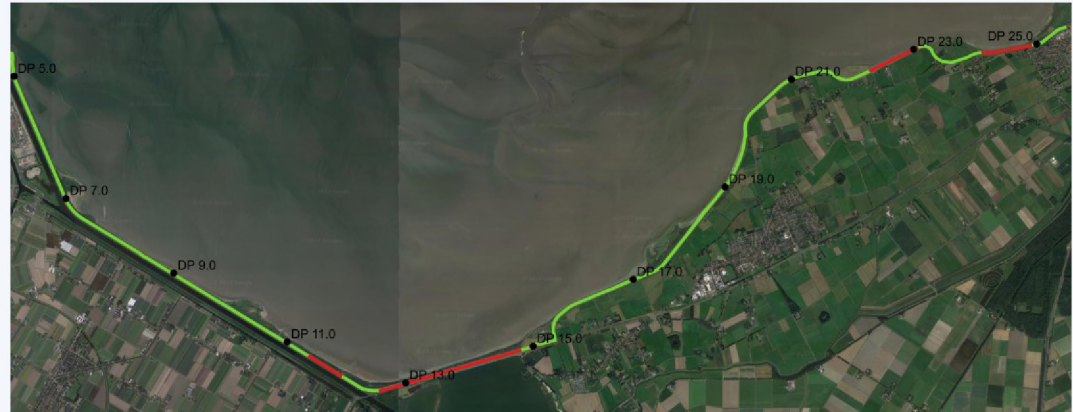


Impact op scope

- Originele opgave onderrand asfaltbekleding (dijkvak = 100 m)

Tabel 10.3 Originele veiligheidsopgave asfaltbekleding (Onderrand asfaltbekleding sectie 2 en Asfalt einde levensduur sectie 5)

Van dijkpaal	Tot dijkpaal	Deelsectie	Aantal dijkvakken
11.4	12.00	2A	6
12.60	13.00	2C	4
13.00	13.5	2B	5
13.5	14.9	2C	14
22.275	23.1	5A	9
24.175	24.95	5B	9
	TOTAAL		45



Impact op scope (2)

- Opgave bij voorgestelde freatische lijn (dijkvak = 100 m)

Tabel 10.4 Veiligheidsopgave na aanpassing freatische lijn en begrenzing raaien (onderrand asfaltbekleding)

Van Dijkpaal	Tot dijkpaal	Aantal dijkvakken
8.9	14.9	60
21.1	21.6	5
22.2	23.0	8
24.0	25.5	15
	TOTAAL	88



Impact op scope (3)

Scope onderrand asfaltbekleding					
Van DP	Tot DP	Lengte [km]	Originele scope	Nieuwe scope	Opmerkingen
4.6	8.9	4.3	nee	nee	Geen wijzigingen
8.9	11.4	2.5	nee	ja	nieuwe scope
11.4	12	0.6	ja	ja	sectie 2
12	12.6	0.6	nee	ja	nieuwe scope
12.6	14.9	2.3	ja	ja	sectie 2
14.9	21.1	6.2	nee	nee	geen wijzigingen
21.1	21.6	0.5	nee	ja	nieuwe scope
21.6	22.3	0.7	nee	nee	geen asfalt aanwezig
22.3	23.1	0.8	nee	ja	heeft al scope voor asfalt einde levensduur (sectie 5A)
23.1	24.2	1.1	nee	nee	geen asfalt aanwezig
24.2	24.95	0.75	nee	ja	heeft al scope voor asfalt einde levensduur (sectie 5B)
24.95	25.5	0.55	nee	ja	nieuwe scope

Bespreekpunten Excel reviewtabel

Bespreekpunten overall

1. Grondonderzoek meenemen o.b.v. van aangeleverde archiefdocumenten?
 1. → vrij snelle actie: checken en meenemen in cpt03. Zit op het eerste gezicht al in de analyse en in de modellen
2. Betere vertaling van raaien naar vakindeling?
 1. → te bespreken
3. Kalibreren van meer modellen?
 1. → lange actie: voorstel om raai 9 (of 8) te doen, spleet uit model en talud doorlatend maken.
 2. → Raai 1 t/m 3 lijken minder geschikt want al veel doorlatendheid.
4. Nieuw model 4?
 1. → lange actie. Naar verwachting lastig goede kalibratie te maken ivm hogere tweede piek.

Bespreekpunten overall

1. Is extra onderzoek de moeite waard en levert het daadwerkelijk meer zekerheid op?
2. Is de aanpak conservatief en hoe conservatief (raakvlak met HWBP-spoor)?
 1. Achten we de onzekerheidstoeslag 0,3 m representatief voor alle raaien (1 t/m 10) en hoe voelt deze waarde?

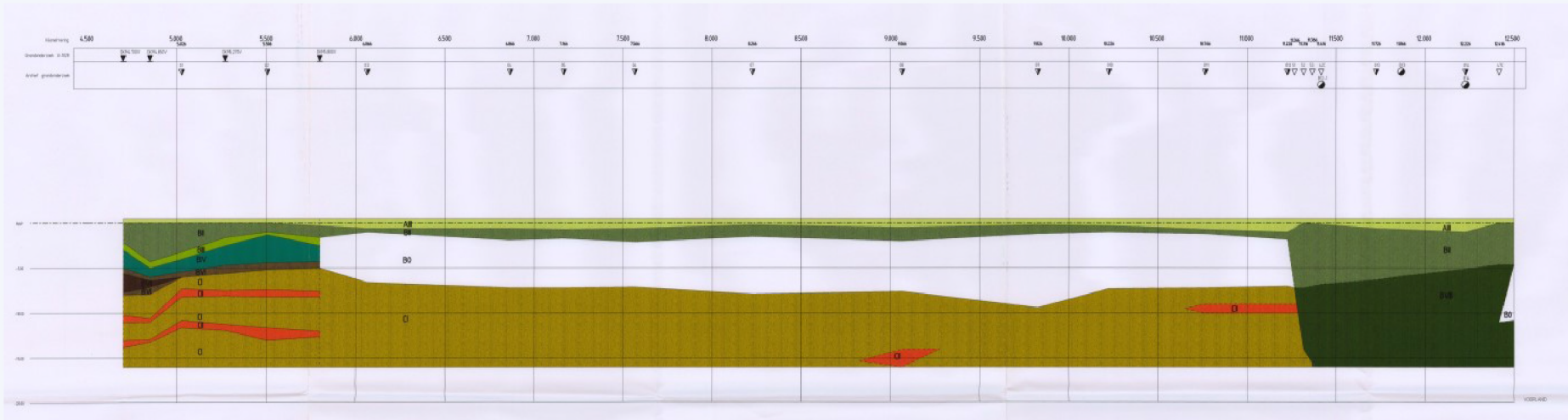
Vervolgproces DODH

1. Aanvullende werkzaamheden uitvoeren (deels) zoals vakgroep voorstelt:
 - Veel extra tijd nodig om FL definitief vast te stellen (nieuwe VTW, nieuwe analyse)
 - Mogelijk meer zekerheid maar niet gegarandeerd
 - Waarschijnlijk (significante) uitbreiding scope
 - Welke punten wel/niet?
2. Freatische lijn hanteren zoals nu voorgesteld
 - Minder uitloop in planning
 - Significante uitbreiding scope

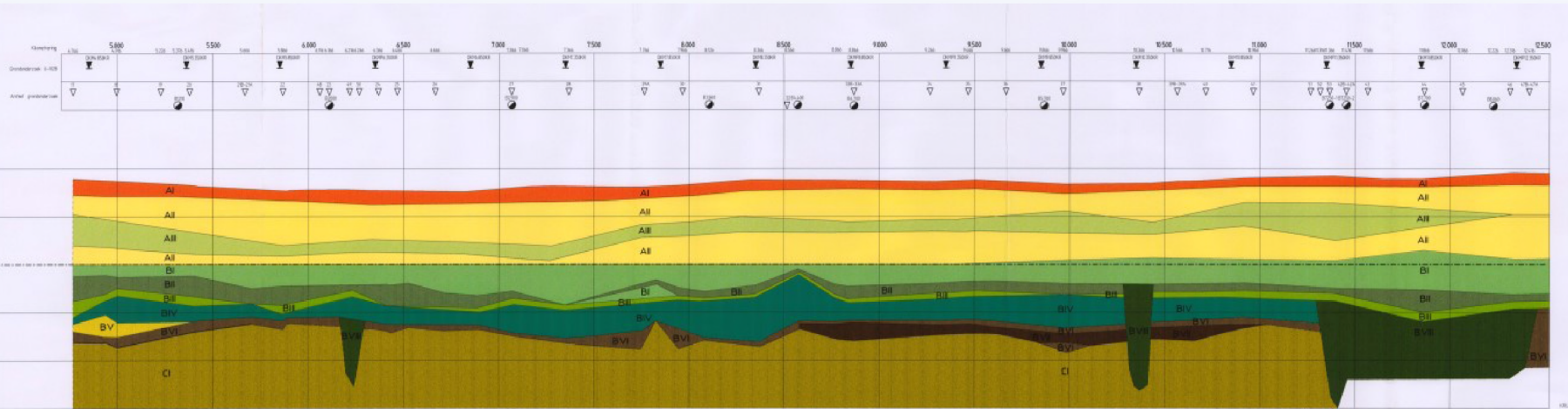
www.witteveenbos.com



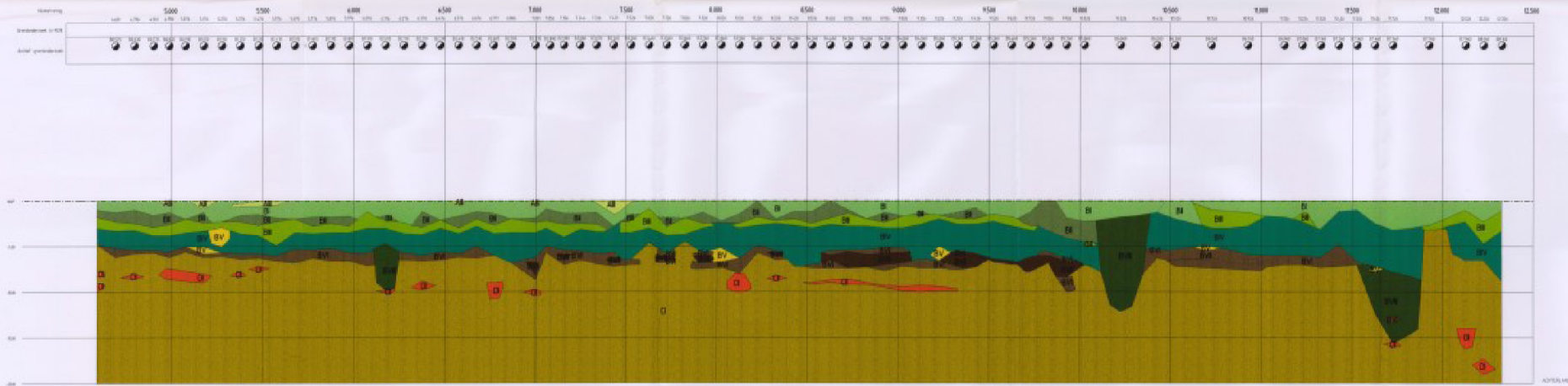
GLT raai 1 t/m6 - voorland



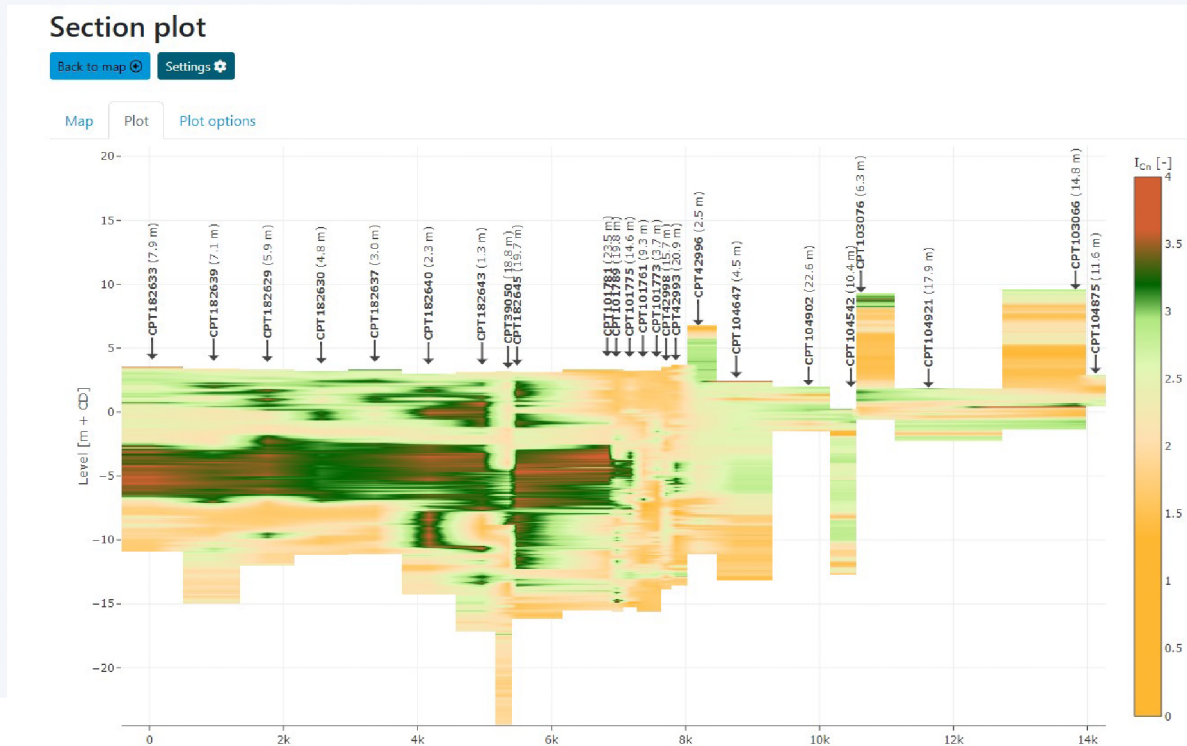
GLT raai 1 t/m6 - kruin



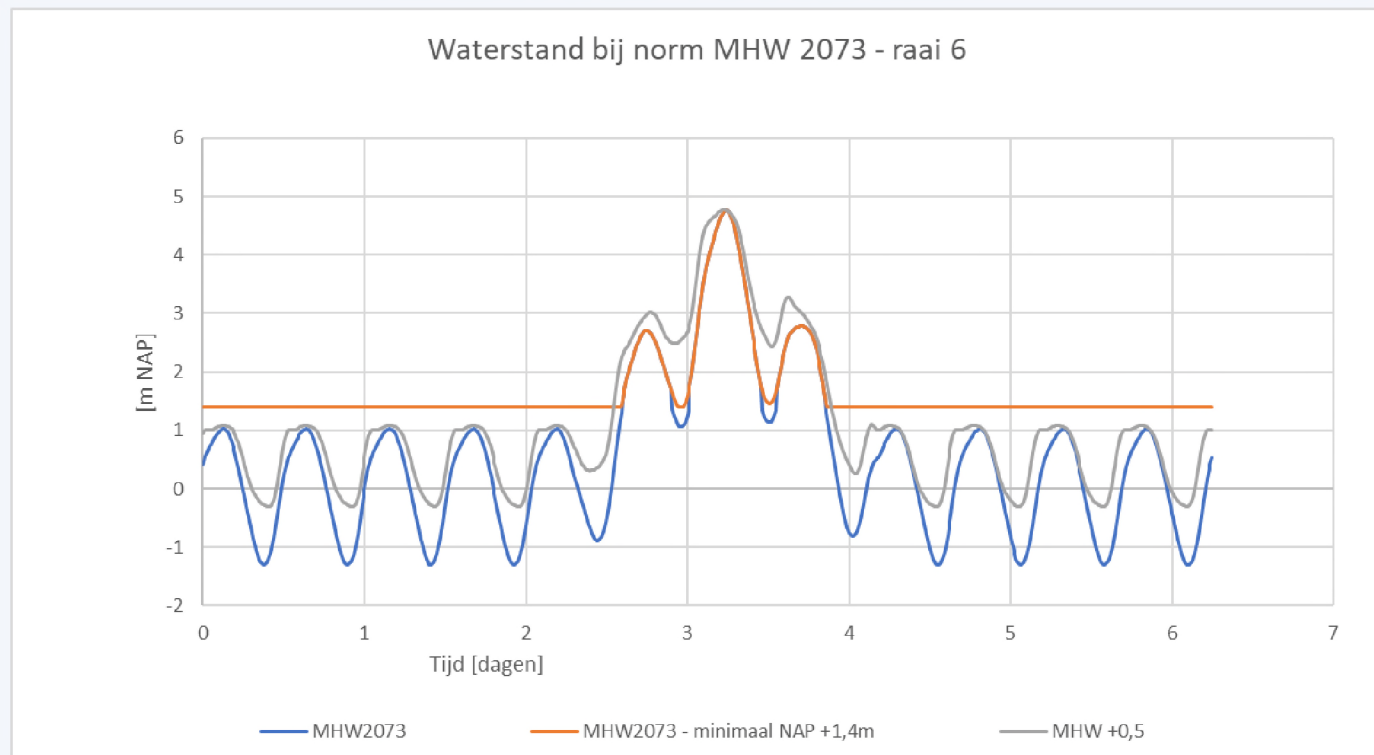
GLT raai 1 t/m6 - achterland



GLT raai 1 t/m11 – Ic index



MHW raai 6



VII

BIJLAGE: ADVIES ADO: BEPALEN FREATISCHE LIJN VOOR BEOORDELING EN ONTWERP BUITENBEKLEDING OP DIJKTRAJECT DEN OEVER - DEN HELDER

Aan Jaap Kottier (HHNK)
Van Adviesteam Dijkontwerp
Door Albert Wiggers, Ben Rijnveld
Betrokken
Review Bob van Bree
Kopie aan -
Datum 1-12-2023
Versie AD-advies 285 Freatische lijn Den Oever – Den Helder
Onderwerp Bepalen van freatische lijn voor beoordeling en ontwerp buitenbekleding op dijktraject Den Oever – Den Helder

1 Inleiding

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) heeft aan het Adviesteam Dijkontwerp gevraagd om een kritische blik te werpen op de wijze waarop de freatische lijn is bepaald voor het verifiëren van de stabiliteit van de asfaltbekleding van de zeedijk tussen Den Oever en Den Helder. Dit project bevindt zich in de planuitwerkingsfase en stelt in deze fase het definitief ontwerp (DO) op. Onderdeel van de ontwerpopgave is de asfaltbekleding.

De bepaling van de freatische lijn op basis van peilbuismetingen en grondwaterstromingsberekeningen is beschreven in de rapportage Geohydrologische analyse Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder (Witteveen en Bos 10 november 2023). Dit rapport geeft een beschrijving van analyses op doorsnedeniveau voor enkele geselecteerde meettraaien, de vertaling hiervan naar de dijkvakken en het effect op de dijkversterkingsopgave. Op basis van de berekeningen wordt geconcludeerd dat het onderste deel van de asfalt bekleding op een strekking van 8,4km niet voldoet. In het aangeleverde rapport is de analyse van de freatische lijn aangepast ten opzichte van een eerdere analyse in de Verkenningsfase, naar aanleiding van opmerkingen van HHNK. In de verkenningsfase bedroeg de versterkingsopgave in relatie tot de stabiliteit van de asfaltbekleding 2,9km. Het Adviesteam heeft niet gekeken naar het verschil tussen de aangeleverde rapportage en eerdere versies. Het Adviesteam heeft op hoofdlijnen naar de uitgevoerde analyses gekeken en geen review uitgevoerd van de berekeningen zelf.

2 Bevindingen

2.1 Beslisvraag

Geadviseerd wordt om de beslisvraag op te nemen in de inleiding van de rapportage en de opzet en analyses te relateren aan deze beslisvraag. Het doel van het rapport is om ondersteuning te bieden bij het beantwoorden van de vraag of, en over welk deel, de bestaande asfaltbekleding zonder aanpassing kan worden gehandhaafd en dus buiten de versterkingsscope valt. Er is noodzaak tot versterken wanneer falen van de asfaltbekleding direct is gerelateerd aan de overstromingskans. Dat lijkt hier het geval.

Opgemerkt wordt dat uit het aangeleverde stuk niet kan worden opgemaakt hoe de potentiële asfaltopgave zich verhoudt tot de totale versterkingsopgave ter plaatse van het buitenbeloop. Inzicht in de volledige opgave plaatst de impact van de potentiële asfaltopgave in perspectief. Dat inzicht helpt bij het bepalen of het nader aanscherpen van de beoordeling op een specifiek onderdeel, zoals de asfaltbekleding, nog doelmatig is.

2.2 Omgaan met onzekerheden

Bij de beantwoording van deze beslisvraag speelt het omgaan met onzekerheden een belangrijke rol. In het rapport ligt de nadruk op het zo nauwkeurig mogelijk trachten te bepalen van de freatische lijn en de beantwoording van de beslisvraag is hier direct aan gekoppeld. Het hanteren van een onzekerheidsmarge bovenop de, met het model voorspelde, hoogte van de freatische lijn doet recht aan de onzekerheid bij de vertaling van metingen (maximale buitenwaterstand ca. NAP+2,5m) naar extreme condities voor het hele traject (WBN = ca. NAP +4,8m). In het rapport is de onzekerheidsmarge onderbouwd door middel van een gevoeligheidsanalyse waarbij voor meerdere doorsneden met randvoorwaarden en parameters wordt gevarieerd. Het Adviesteam vindt het een logische en pragmatische werkwijze om onzekerheden expliciet te maken. Het is echter moeilijk om de gepresenteerde absolute onzekerheidsmarges te duiden. Het zou helpen wanneer in het rapport ook duidelijk wordt aangegeven hoe deze marges zich verhouden tot de respons van de freatische lijn op de buitenwaterstand voor de verschillende doorsneden en of de marges ook logischerwijs passen binnen een fysische bandbreedte.

Bij het toekennen van onzekerheidsmarges aan de diverse doorsneden en vakken heeft het ontbreken van meetgegevens op een meetraai een relatief grote invloed. In sommige gevallen lijkt dat niet helemaal logisch zoals bij meetraai 11 waar de grootste onzekerheidsmarge (0,60m) is aangehouden vanwege het ontbreken van een meetgegevens tijdens de storm, terwijl de gebiedskenmerken bij deze meetraai vergelijkbaar zijn met meetraai 9 waar de kleinste onzekerheidsmarge (0,10m) is aangehouden.

2.3 Vertaling doorsnede naar rest van gebied

De nadruk ligt in de rapportage op de analyses voor de geselecteerde doorsneden. Vervolgens worden deze resultaten vertaald naar een vakindeling. Wanneer de meetresultaten van de verschillende meettraaien worden vergeleken dan valt op dat de metingen en geëxtrapoleerde freatische waterstanden onderling sterk verschillen. Uit de rapportage wordt niet geheel duidelijk of er vanuit geohydrologische gebiedskenmerken een logische verklaring kan worden gevonden voor deze verschillen en of deze kenmerken zijn gebruikt bij het vaststellen van vakbegrenzingsen. In het rapport is de onderbouwing bij de vakbegrenzingsen namelijk wisselend en niet altijd duidelijk. Bijvoorbeeld bij DP9 is een lineair verloop aangehouden tussen 2 vakken, waarbij het onduidelijk is of dit vanuit de fysica logisch is. Geadviseerd wordt om de vakindeling te baseren op de geohydrologische kenmerken en op basis daarvan de verschillen in meet- en analyseresultaten te duiden. Vervolgens kan op basis hiervan de ontwerpwaarde voor de freatische waterstand per vak worden afgeleid.

3 Referenties

Witteveen en Bos. 10 november 2023. „Geohydrologische analyse Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.”

VIII

BIJLAGE: ADVIES ADO: ONTWERPVERIFICATIE ASFALTBEKLEDING DEN OEVER - DEN
HELDER

Aan Jaap Kottier (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Van Adviesteam Dijkontwerp
Door Ruben Jongejan, Jan-Kees Bossenboek
Betrokken -
Review Ben Rijneveld, Albert Wiggers
Kopie aan -
Datum 14-02-2024
Versie AD298-1-1
Onderwerp Ontwerpverificatie asfaltbekleding Den Oever-Den Helder

1. Inleiding

1.1 Aanleiding en adviesvraag

In het kader van dijkversterkingsproject Den Oever-Den Helder wordt op verschillende locaties gekeken naar de stabiliteit van de asfaltbekleding. Daarbij wordt onder andere gekeken naar het ontstaan van een S-profiel ten gevolge van golfterugtrekking doordat de zandige ondergrond lokaal verweekt (het faalmechanisme Asfalt S-profiel, ASP).

Het Adviesteam Dijkontwerp is door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) gevraagd of het voldoende conservatief is dat er binnen de rekenregel voor ASP wordt gerekend zonder lengte-effectfactor en zonder faalkansbegroting. In het kader van de adviesvraag heeft HHNK met het Adviesteam de geohydrologische analyses gedeeld die zijn opgesteld voor de planuitwerking van de Dijkversterking Den Oever-Den Helder [1].

1.2 Verloop adviestraject: bijstelling vraagstelling

Op 5 februari heeft een overleg plaatsgevonden tussen HHNK, W+B en het Adviesteam Dijkontwerp. Daarin is de vraag nader toegelicht door HHNK. Hieruit kwam naar voren dat de vragen over het faalkansbudget en de lengte-effectfactor vooral voortkwamen uit ongemak over de omgang met de onzekerheid rond de schematisering van de freatische lijn bij de Waterstand Bij Norm (WBN). De positie van de freatische lijn bij WBN is een belangrijke parameter in ASP-verificaties. Over de bepaling van de freatische lijn heeft het Adviesteam ook eerder advies uitgebracht [2].

Voor het faalmechanisme ASP is alleen een eenvoudige rekenregel beschikbaar. Eenvoudige rekenregels worden geacht ruimschoots voldoende veilig te zijn, zonder dat ze zijn opgehangen aan specifieke faalkanseisen. De rekenregel betreft dus een beslisregel waarmee aangetoond kan worden dat de bijdrage van het faalmechanisme ASP aan de overstromingskans verwaarloosbaar is (of niet). Er kan met de rekenregel dus geen faalkans worden geschat of worden getoetst aan een specifieke faalkanseis. De overschrijdingskans van de Waterstand Bij Norm waarmee in de eenvoudige rekenregel voor ASP wordt gerekend heeft dan ook niet de betekenis van een faalkanseis op doorsnedeniveau. Omdat de eenvoudige rekenregel voor ASP niet afhankelijk is van een faalkanseis, is het weinig zinvol om een

faalkanseis voor ASP op doorsnedeniveau te bepalen, door het definiëren van een faalkansbudget en een lengte-effectfactor.

Zoals hierboven is weergegeven, hebben de vraagstelling en het advies een andere wending genomen dan aanvankelijk was voorzien. Afgesproken is dat het Adviesteam Dijkontwerp zijn voornaamste adviezen in een adviesmemo zou vastleggen, na bredere bespreking in het Adviesteam. De onderstaande lijst aanbevelingen is daarvan het resultaat.

2. Aanbevelingen

Het Adviesteam doet de volgende aanbevelingen:

1. Beschouw de consequenties van de onzekerheid over de freatische lijn op de besluitvorming

Het Adviesteam beveelt aan om na te gaan welke beslissingen afhankelijk zijn van de schematisering van de freatische lijn (bijv. aanlegniveau, dikte nieuwe bekleding) en na te gaan wanneer wezenlijk andere keuzes gemaakt worden. Als duidelijk is waar de kantelpunten zitten, kan beter worden aangegeven of/wanneer een schematisering 'goed genoeg' is (zie ook [2]).

2. Maak in de consequentieanalyse onderscheid tussen beoordeling en ontwerp

Het Adviesteam beveelt aan om in de consequentieanalyse onderscheid te maken tussen de beoordeling van de huidige bekleding (scope-bepaling) en het ontwerp van verbetermaatregelen. Een conservatieve keuze kan bijvoorbeeld grote consequenties hebben voor de vraag óf er versterkt moet worden, maar weinig consequenties hebben voor de vraag h_{oe} een versterking er dan uit komt te zien. Bij het ontwerp spelen namelijk ook aspecten zoals maakbaarheid, beheerbaarheid en LCC die ervoor kunnen zorgen dat de precieze schematisering er weinig toe doet. Andersom is uiteraard ook mogelijk: als er evident sprake is van een veiligheidstekort, dan zal de precieze schematisering weinig invloed hebben op de uitkomsten van een beoordeling, terwijl dat voor het ontwerp mogelijk anders ligt.

3. Breng de onzekerheid over de freatische lijn systematisch in kaart

De onzekerheid over de freatische lijn bij WBN kent verschillende oorzaken. Zo is er onzekerheid over de ondergrondcondities tussen de locaties waar meetresultaten beschikbaar zijn. Deze onzekerheid hangt samen met natuurlijke variaties in de ondergrond en variaties in aangebracht materiaal, bijvoorbeeld als er in het verleden schades zijn hersteld. In een eerder advies van het Adviesteam is hier uitgebreider bij stilgestaan en is geadviseerd om op basis van geohydrologische kenmerken een vakindeling te maken en op basis daarvan de verschillen in meet- en analyseresultaten te duiden [2]. Ook is er onzekerheid ten aanzien van de extrapolatie van de freatische lijn naar buitenwaterstanden die niet eerder zijn waargenomen. Deze onzekerheid zal toenemen als de doorlatendheid hoger op het talud anders kan zijn, bijvoorbeeld vanwege scheuren of overgangen. Verder kan er onzekerheid zijn over bijvoorbeeld het waterstandsverloop en de verzadingsgraad voorafgaand aan hoogwater. Dit zijn uiteraard slechts illustraties. Het is goed denkbaar dat er nog andere bronnen van onzekerheid zijn.

Het Adviesteam beveelt aan om met input van de beheerder de bronnen van onzekerheid te benoemen (per vak, zie ook [2]), en het resultaat vast te leggen in tabelvorm. Geef vervolgens per bron van

onzekerheid aan: (1) hoe waarschijnlijk een afwijking op de verwachting is, (2) hoe groot deze dan is/kan zijn, (3) wat het potentiële effect is op de freatische lijn, (4) of/hoe deze onzekerheid eventueel nog is weg te nemen, en (5) hoe met deze onzekerheid is omgegaan bij beoordeling/ontwerp. Een dergelijk overzicht is een handig communicatiemiddel. Het ook kan helpen om te voorkomen dat belangrijke bronnen van onzekerheid over het hoofd worden gezien en het kan helpen om een afgewogen set uitgangspunten te kiezen (bijv. niet bovenmatig conservatief). Ten aanzien van dit laatste beveelt het Adviesteam aan om ook te duiden wat de aangehouden veilige marges ten aanzien van de positie van de freatische lijn betekenen in termen van de respons op de buitenwaterstand (zie ook [2]).

4. Houd het praktisch en vermijd ingewikkelde statistische analyses zoveel mogelijk

Het Adviesteam beveelt aan om de omgang met onzekerheden te laten passen bij het karakter van de rekenregel voor ASP, en niet in groter detail te treden dan past bij het karakter van de rekenregel. In de eenvoudige rekenregel voor ASP wordt pragmatisch (zonder nadere onderbouwing) gekeken naar de freatische lijn bij de Waterstand Bij Norm. Bij hogere of lagere waterstanden is de freatische lijn ongetwijfeld anders. Verder is de benodigde mate van zekerheid over de freatische lijn bij WBN in de eenvoudige rekenregel niet nader gespecificeerd (50%, 95%, 1%-waarde?). Een 'physics of failure'-model waarmee voor uiteenlopende situaties kan worden bekeken of de bekleding stabiel is, zodat ook bezwijkkansen berekend kunnen worden, is momenteel niet beschikbaar. De meerwaarde van al te precieze statistische beschrijvingen van de onzekerheid over de freatische lijn is daarmee beperkt.

5. Houd oog voor het verschil tussen de faalmechanismen ASP en AWO ten aanzien van de schematisering van de freatische lijn

De vragen van HHNK over de schematisering van de freatische lijn spitsten zich toe op ASP. Ook binnen verificaties van de weerstand van een asfaltbekleding tegen opdrukken (het faalmechanisme AWO) wordt echter met een freatische lijn gerekend. Volledigheidshalve merkt het Adviesteam hierover het volgende op.

Een belangrijk verschil tussen ASP en AWO is dat het bezwijken van de bekleding door het ontstaan van een S-profiel (ASP) gerelateerd is aan de freatische lijn *tijdens* een storm. Het bezwijken van de bekleding door opbarsten is gerelateerd aan de freatische lijn *na* een storm. Het is in beginsel conservatief om te veronderstellen dat de freatische lijn na een val van de buitenwaterstand gelijk blijft. In AWO-verificaties kan dus gemakshalve (veilig) worden uitgegaan van de freatische lijn in de dijk bij de Waterstand Bij Norm. Echter, als in dat geval AWO en niet ASP de drager van de opgave/ontwerpkeuzes blijkt te zijn, dan is het raadzaam om na te gaan of het niet te conservatief is om te veronderstellen dat de freatische lijn in de dijk na een val vanaf de Waterstand Bij Norm net zo hoog is als tijdens de WBN zelf.

3. Referenties

- [1] Witteveen+Bos, 22 december 2023, Planuitwerking Dijkversterking Den Oever - Den Helder, referentie 128893/23-020.791.
- [2] Adviesteam Dijkontwerp, 01-12-2023, AD-advies 285, Bepalen van freatische lijn voor beoordeling en ontwerp buitenbekleding op dijktraject Den Oever – Den Helder.

